

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

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

Linguística, Letras e Artes

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

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E PERFIL DE MICRODUREZA DE AÇO API 5L X80 OBTIDO POR PROCESSO TMCR

Cláudio Beserra Martins Júnior
Ana Larissa Soares Cruz
Ermeson David dos Santos Silva
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes
Vinícius Pereira Bacurau
Maria das Dores Bandeira Barroso
Rosilda Benício de Souza
Edvânia Trajano Teó ilo

DOI 10.22533/at.ed.6222105041

CAPÍTULO 2..... 14

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1035 PELO PROCESSO GMAW

Charlon Widson Leite Costa
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105042

CAPÍTULO 3..... 29

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1035 UTILIZADO EM MOTOCICLETAS

Andrews Raphael da Silva Vieira
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa
Gilberto García Del Pino
Reinaldo de Almeida Rodrigues
Denise Andrade do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.6222105043

CAPÍTULO 4..... 40

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO CRIOGÊNICO PROFUNDO NAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE E NA ESTABILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE FORMA DA LIGA Cu-14Al-4Ni COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA

Marcelo Nava
Emmanuel Pacheco Rocha Lima

DOI 10.22533/at.ed.6222105044

CAPÍTULO 5..... 63

ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM PLACA NÃO ABSORVÍVEL PARA OSTEOSSÍNTESE

Luís Eduardo da Cunha Ferro

Jorge de Souza e Silva Neto
Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti
Rosemere de Araújo Alves Lima
Marília Garcia Diniz

DOI 10.22533/at.ed.6222105045

CAPÍTULO 6..... 76

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS DE AÇO EM ATMOSFERAS INDUSTRIAIS E MARINHAS COM SISTEMA DE TINTA BASE AQUOSA ACRÍLICA

Idalina Vieira Aoki
Fernando Cotting
Paulo Cezar Maziero Tiano

DOI 10.22533/at.ed.6222105046

CAPÍTULO 7..... 92

COLORAÇÃO DO TITÂNIO COM LASER E RUGOSIDADE

Luis Miguel Moncayo Morales
Carlos Nelson Elias
Francielly Moura de Souza Soares
Dyanni Manhães Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105047

CAPÍTULO 8..... 100

AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE CORROSÃO INFLUENCIADA MICROBIOLOGICAMENTE EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Mariana Isabeli Valentim
José Carlos Alves Galvão
Karoline Caetano da Silva
Rozane de Fatima Turchiello Gomez

DOI 10.22533/at.ed.6222105048

CAPÍTULO 9..... 111

ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE CROMO NA LAMA DE ACIARIA POR MEIO DE BRIQUETES AUTORREDUTORES À BASE DE CARBONO

Raphael Mariano de Souza
Diego Santa Rosa Coradini
José Roberto de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.6222105049

CAPÍTULO 10..... 120

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

André Ben-Hur da Silva Figueiredo
Hélio de Carvalho Vital
Ricardo Pondé Weber
Édio Pereira Lima Júnior
João Gabriel Passos Rodrigues
Letícia dos Santos Aguilera

Ronaldo Sergio de Biasi

DOI 10.22533/at.ed.62221050410

CAPÍTULO 11..... 133

INFLUÊNCIA DA TÉCNICA “TWO STEPS SINTERING” NA REDUÇÃO DA POROSIDADE DAS CERÂMICAS VERMELHAS

André Lucas Reboli Pagoto

Valdi Antonio Rodrigues Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050411

CAPÍTULO 12..... 138

COMPARAÇÃO ENTRE POLI (acrilonitrila-co-butadieno-co-estireno) (ABS) E POLIPROPILENO (PP). POR QUE POLÍMEROS COM ÍNDICE DE FLUIDEZ SIMILARES NÃO APRESENTAM O MESMO DESEMPENHO TÉRMICO E MECÂNICO?

Rogério Massanori Sakahara

Wang Shu Hui

Daniel José da Silva

Luiz Henriques

DOI 10.22533/at.ed.62221050412

CAPÍTULO 13..... 151

UMA SÍNTESE DOS AVANÇOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS DE POLIURETANO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DA ÁGUA

Karen de França Gonçalves

Luiz Fernando do Nascimento Vieira

Ricardo Pondé Weber

Sergio Neves Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.62221050413

CAPÍTULO 14..... 164

FIBRA DE BAMBU: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães

Marcelo Barbosa Furtini

Josy Antevêli Osajima

José Benedito Guimarães Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050414

CAPÍTULO 15..... 174

MEMBRANAS DE QUITOSANA-BIOATIVO NATURAL PARA USO POTENCIAL COMO CURATIVOS

Itamara Farias Leite

Wwandson Felipe Wanderley

Alanne Tamize de Medeiros Salviano

DOI 10.22533/at.ed.62221050415

CAPÍTULO 16..... 187

SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA MEMBRANA BIOLÓGICA

OBTIDA A PARTIR DA FIBROÍNA PRESENTE NO CASULO DO BICHO DA SEDA

Ingrid Russoni de Lima

Mara Carolina do Carmo Paresque

Lucas Furtado Loesh Pereira

Bonifácio de Oliveira Fialho

Heleno Souza da Silva

Renata Antoum Simão

José Adilson de Castro

Gláucio Soares Fonseca

DOI 10.22533/at.ed.62221050416

SOBRE OS ORGANIZADORES200

ÍNDICE REMISSIVO.....201

UMA SÍNTESE DOS AVANÇOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS DE POLIURETANO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DA ÁGUA

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

Karen de França Gonçalves

Instituto Militar de Engenharia (IME)
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8718262123188272>

Luiz Fernando do Nascimento Vieira

Marinha do Brasil
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3267057221504460>

Ricardo Pondé Weber

Instituto Militar de Engenharia (IME)
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4148488718320073>

Sergio Neves Monteiro

Instituto Militar de Engenharia (IME)
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/296218332241202>

RESUMO: O derramamento de resíduos oleosos na água é um problema ambiental recorrente em todo o mundo e possui impactos catastróficos para os ecossistemas marinhos. Este artigo enseja revisar os principais avanços em materiais compósitos de poliuretano para remoção de óleo da água. Para este fim, procedeu-se uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa. Os avanços foram identificados a partir de uma revisão da literatura sobre o tema. Como resultado, os parâmetros de adsorção e ângulo de contato com a água para

27 trabalhos foram sumarizados em uma tabela, bem como os principais pontos na criação de espumas adsorventes foram discutidos. Este trabalho é relevante no sentido de consolidar trabalhos dispersos evidenciando os resultados alcançados por diversas pesquisas, servindo de ponto de partida para novos estudos.

PALAVRAS-CHAVE: Esponjas de Poliuretano, Remoção de Óleo da Água, Materiais Compósitos.

A REVIEW OF ADVANCES IN COMPOSITE POLYURETHANE MATERIALS IN OIL-WATER SEPARATION

ABSTRACT: Oil spill is a frequently environmental problem and It has catastrophic impacts on marine ecosystems. This article aims to review the main advances in polyurethane composite materials in oil-water separation. So, an exploratory research with a qualitative approach was carried out. The advances were identified from a literature review. As a result, the parameters of adsorption and contact angle with water for 27 works were summarized in a table, as well as the main points in the creation of adsorbent foams were discussed. This work is relevant in the sense of consolidating dispersed works showing the results achieved by several researches, serving as a starting point for new studies.

KEYWORDS: Polyurethane sponge, Oil-water separation, Composite materials.

1 | INTRODUÇÃO

O derramamento de resíduos oleosos na água é um problema ambiental recorrente em

todo o mundo e possui impactos catastróficos para os ecossistemas marinhos (Anju & Renuka, 2020; Min *et al.*, 2019; Ge, 2016; Shanhu *et al.*, 2015; Jamsaz *et al.*, 2020; Yuying *et al.*, 2020; Lei *et al.*, 2017; Ge *et al.*, 2015; Fenner *et al.*, 2018).

Considerando apenas os derramamentos de óleo de navios tanque. Nas últimas 5 décadas, aproximadamente 5.86 milhões de toneladas de óleo em todo mundo foram perdidos como resultado de acidentes (ITOF, 2020). Em 2019, a contaminação de aproximadamente 3000 km da costa nordeste do Brasil e em 2018 o vazamento de 113.000 toneladas do navio tanque Sanchi (ITOF, 2020) reforçam a atualidade do tema e a necessidade do desenvolvimento e pesquisa que minimizem os impactos.

Uma diversidade de tecnologias, incluindo métodos físicos, químicos e biológicos foram desenvolvidos para o tratamento de água contaminada. Contudo, muito desses métodos como a queima controlada, o uso de dispersantes químicos e solidificantes, além da alta perda e operação não portátil, ocasionam poluição secundária e problemas ecológicos adicionais (Shanhu *et al.*, 2015; Jamsaz *et al.*, 2020; Yuying *et al.*, 2020).

O advento de novos materiais tem possibilitado o surgimento de métodos mais eficientes para separação do óleo e da água com alta eficiência e reduzida poluição. Entre esses materiais a esponja de PU se destaca como um polímero poroso, com reduzido peso e baixo custo para produção em escala o que confere suas aplicações promissoras para sorção, filtração e separação (Shanhu *et al.*, 2015; Jamsaz *et al.*, 2020; Yuying *et al.*, 2020). Contudo, a sua natureza hidrofílica impõe um baixo desempenho para a separação óleo-água. Desta forma, uma série de pesquisas com intuito de aprimorar as propriedades do PU para esta finalidade foram realizadas.

Assim, existem muitos trabalhos sobre a modificação da superfície da esponja de PU para melhorar seu desempenho de adsorção. Contudo, esses relatórios são dispersos, o que não conduz a uma compreensão abrangente das informações relacionadas sobre os resultados alcançados (Min *et al.*, 2019).

Nesse sentido, o objetivo geral desta pesquisa é apresentar uma revisão dos atuais avanços proporcionados pela adição de materiais ao PU para uso na separação de óleo-água.

Sendo assim, este estudo definiu o seguinte problema de pesquisa: quais resultados foram alcançados na criação de materiais compósitos de PU para separação óleo-água?

Com intuito de responder esta pergunta, uma detalhada revisão da bibliografia disponível foi procedida. A pesquisa em lide se justifica por evidenciar os avanços no campo da ciência dos materiais para solução de problemas da humanidade. Tornando-se relevante por resumir e consolidar trabalhos científicos que podem servir de insumo e inspiração para novos achados.

2 | REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Uso do PU como adsorvente na separação óleo-água

Diversas técnicas e materiais podem ser utilizados na separação do óleo da água na remediação de acidentes o que inclui métodos físicos, químicos e biológicos. Dentre estes métodos o uso de adsorventes se destaca por remover manchas de óleo sem efeitos colaterais para o ambiente, baixo custo e boa reciclabilidade (Min et al., 2019; Yuying et al., 2020; Tao *et al.*, 2019).

Um material adsorvente ideal para a separação óleo-água deve possuir excelente repelência à água, desempenho superior de adsorção, excelente reutilização e baixo custo. No entanto, muitos materiais adsorventes convencionais, como fibras vegetais, lã, argila organofílica modificada, grafite esfoliada e materiais à base de celulose possuem diversas desvantagens, incluindo baixa eficiência na adsorção de óleo, baixa reciclagem e alto custo. Desta forma, é necessário explorar adsorventes que superem estas desvantagens (Min et al., 2019).

Recentemente, o PU atraiu grande atenção para a separação óleo-água, devido ao seu baixo custo, boa flexibilidade e estrutura tridimensional. Infelizmente, a esponja de PU é uma substância naturalmente hidrofílica, com alta molhabilidade, em razão dos seus grupos carboxil e amino, tendo, assim, um pequeno ângulo de contato com a água (Min et al., 2019).

Portanto, estudos recentes têm focado na modificação superficial da esponja de PU, visando alterar a característica hidrofílica inerente para hidrofóbica. Essa modificação concederia a esponja alta capacidade de adsorção de óleo e boa repelência à água, tornando-a eficaz na remoção de derramamento de óleo. Com este intuito, vários materiais foram estudados para aprimorar as esponjas comerciais, incluindo silano (Shuai *et al.*, 2016), sílica (Huiwen et al., 2018; Xiaotan et al., 2017), óxido de ferro (Zeng-Tian, 2018; Wu *et al.*, 2015; Can *et al.*, 2015), Paligorsquite (Li *et al.*, 2016), grafeno (Anju & Renuka, 2020; Rahmani *et al.*, 2017) entre outros.

2.2 Conceitos fundamentais na avaliação de adsorventes

O escopo desta pesquisa visa apresentar os progressos alcançados na modificação de esponjas de PU com o propósito de separação óleo-água. Para atingir tal fim, dois conceitos são fundamentais na definição de adsorventes eficientes: a hidrofobicidade, medida pelo ângulo de contato da água (WCA); e adsorção (g/g).

A molhabilidade de uma superfície é estudada há muito tempo, podendo ser avaliada pelo desempenho estático e dinâmico de uma gota de líquido em uma superfície (Sethi et al., 2019). O umedecimento da superfície ocorre quando as gotas de água se espalham na superfície e o espalhamento é, geralmente, devido à presença de moléculas de alta energia

na superfície, que tem uma alta afinidade com a água e pela rugosidade da superfície (Yuying *et al.*, 2020; Sethi *et al.*, 2019).

Em 1805, Young (1805) propôs a primeira equação fundamental que quantificou a molhabilidade de uma superfície, a partir do ângulo de contato estático (Sethi *et al.*, 2019). O ângulo de contato (CA) e por extensão o ângulo de contato com a água (WCA), refere-se ao ângulo θ entre a tangente da interface gás-líquido (γ_{lv}) e o limite sólido-líquido (γ_{sl}) na linha de contato trifásica gasosa, líquida e sólida (Figura 1 (a)) (Yuying *et al.*, 2020).

O CA do líquido na superfície do material sólido é um parâmetro vital para quantificar a molhabilidade do líquido na superfície do material. O ângulo de contato estático da água em uma superfície é determinado pela equação de Young (Eq. 1) na gota repousada na superfície, conforme mostrado na Fig. 1(a).

$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} - \gamma_{lv} \cos \theta = 0 \quad (1)$$

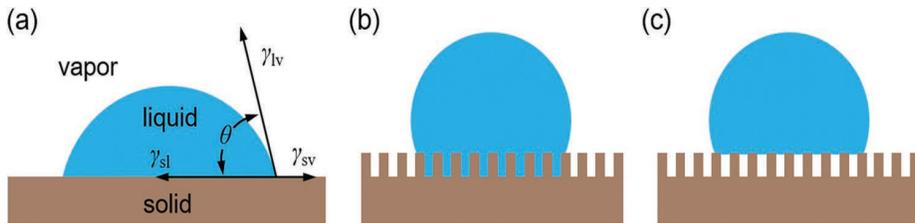


Figura 1- Ilustração esquemática dos comportamentos típicos de molhabilidade de uma gota em uma superfície sólida com e sem rugosidade. (a) modelo de Young, (b) modelo de Wenzel e (c) modelo de Cassie (Yuying *et al.*, 2020).

Logo, o ângulo de contato é usado para indicar o grau em que o líquido se espalha sobre as superfícies de materiais sólidos. Por definição, se o WCA for menor que 90° ($\theta < 90^\circ$), trata-se de uma superfície hidrofílica. Em outras palavras, para os líquidos é relativamente fácil de molhar o sólido. Portanto, quanto menor o WCA, maior a molhabilidade (Yuying *et al.*, 2020; Kumar & Nanda, 2019).

Por outro lado, se o WCA for maior que 90° ($\theta > 90^\circ$), esta superfície sólida é hidrofóbica e, portanto, não é fácil de molhar. Desta forma, ao se tratar de um adsorvente para separação óleo-água, espera-se que a esponja ideal tenha o maior ângulo de contato possível com água e o menor possível com o óleo, sendo assim hidrofóbica e oleofílica (Yuying *et al.*, 2020; Kumar & Nanda, 2019).

Em particular, se uma superfície possui WCA menor que 10° ($\theta < 10^\circ$) ela é considerada superhidrofílica, em contraste, quando o WCA é maior ou igual a 150° ($\theta \geq 150^\circ$) em que é chamada de superhidrofóbica (Yuying *et al.*, 2020; Kumar & Nanda, 2019).

Uma superfície ideal perfeitamente lisa não existe (Yuying *et al.*, 2020), portanto, além do modelo de Young, dois outros são importantes, pois abordam sobre a rugosidade

e porosidade da superfície que afeta o comportamento da gotícula, são eles o estado de umedecimento uniforme (Yuying *et al.*, 2020) ou estado de Wenzel (Wenzel, 1936) e o estado de umedecimento composto heterogêneo ou estado de Cassie-Baxter (Cassie & Baxter, 1944), representados na figura 1 (b) e (c) respectivamente.

O estado de Wenzel define que a superfície molhada com rugosidade é uma superfície homogênea sem bolsas de ar entre as ranhuras, como mostrado na Fig. 1 (b). Quando uma gota é colocada na superfície, parte dela penetra nas ranhuras o que, posteriormente, reduz o ângulo de contato estático e aumenta o ângulo de deslizamento que representa o ângulo de inclinação do sólido (Yuying *et al.*, 2020; Sethi *et al.*, 2019). O aumento do ângulo de deslizamento deve-se ao travamento da gota entre as ranhuras que é chamado de fixação (Sethi *et al.*, 2019). Wenzel (1936) propôs, então, a Eq. 2.

$$\cos \theta_w = r \cos \theta \quad (2)$$

Onde θ_w é o ângulo de contato aparente que corresponde ao estado de equilíbrio estável, r é o fator de rugosidade e θ é o ângulo de contato de Young (Sethi *et al.*, 2019). O fator de rugosidade é definido como a razão entre a área verdadeira e a área aparente da superfície sólida (Ge, 2016; Yuying *et al.*, 2020; Sethi *et al.*, 2019). O valor do fator de rugosidade é sempre maior que 1 para superfícies rugosas (Ge, 2016; Yuying *et al.*, 2020; Sethi *et al.*, 2019). De acordo com Wenzel (Wenzel, 1936), a rugosidade da superfície aumenta a magnitude das propriedades de umedecimento do sólido. Se um sólido tem uma superfície hidrofílica, então ela será mais hidrofílica caso a rugosidade aumente. Por outro lado, se uma superfície lisa é hidrofóbica ela terá essa propriedade aumentada com o aumento da rugosidade.

O último modelo a ser discutido foi proposto por Cassie e Baxter (Cassie & Baxter, 1944). Ele expande o conceito de superfícies rugosas (ásperas) de Wenzel para superfícies porosas, (Cassie & Baxter, 1944) definindo que a superfície rugosa é de natureza heterogênea, com bolsas de ar presentes entre as ranhuras da rugosidade. Desta forma, a gota permanece na superfície e não penetra através dela, como mostra a Fig. 1 (c) (Ge, 2016; Yuying *et al.*, 2020; Sethi *et al.*, 2019).

Neste modelo, o ângulo de deslizamento ou histerese do ângulo de contato é baixo em comparação com o Modelo Wenzel. A equação de Cassie-Baxter é dada pela Eq. 3. Nesta equação θ_{CB} é o ângulo de contato de Cassie-Baxter, f_1 e f_2 são a fração superficial da fase 1 e fase 2, e θ_1 e θ_2 são o ângulo de contato avançado e recuado.

$$\cos \theta_{CB} = f_1 \cos \theta_1 + f_2 \cos \theta_2 \quad (3)$$

Segundo Cassie-Baxter (Ge *et al.*, 2016; Yuying *et al.*, 2020; Sethi *et al.*, 2019), quando a superfície é rugosa, mas não porosa, o f_2 é igual zero e a Eq. (3) é reduzida à equação de Wenzel (Eq. 2) com o ângulo de contato aparente de uma superfície rugosa e com o fator de rugosidade f_1 . Por fim, a transição do estado de Cassie-Baxter para o

estado de Wenzel pode ocorrer aplicando pressão na gota, variando o tamanho da gota e o impacto da gota ou por vibração (Sethi et al., 2019).

Então, a molhabilidade de superfícies sólidas é determinada pela composição química e pela estrutura topográfica das superfícies. De acordo com os conceitos acima, bons materiais absorventes de óleo devem ter uma superfície composta de materiais de baixa energia superficial e possuírem uma superfície rugosa (Ge et al., 2016).

O outro conceito fundamental na verificação da eficiência de adsorventes é a adsorção. A adsorção ocorre sempre que uma superfície sólida é exposta a um gás ou líquido: é definida como o enriquecimento do material ou o aumento da densidade do fluido nas proximidades de uma interface. Sob certas condições, há um aumento apreciável na concentração de um componente em particular e o efeito geral é então dependente da extensão da área interfacial (Rouquerol et al., 2014; Keller & Staudt, 2005). Por esse motivo, todos os adsorventes industriais têm grandes áreas de superfície específicas (geralmente muito acima de $100 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) e, portanto, são altamente porosos ou compostos de partículas muito finas (Rouquerol et al., 2014).

Cabe destacar que muitas vezes na literatura também é encontrado o termo sorção que significa o efeito simultâneo da adsorção e absorção que é a entrada do fluido nos poros do sólido (Rouquerol et al., 2014).

A adsorção é provocada pelas interações entre o sólido e as moléculas na fase fluida. Dois tipos de forças estão envolvidos, que dão origem à adsorção física (fisicosorção) ou quimiosorção. A adsorção ocorre devido ao efeito dos vários tipos de ligações entre o par adsorbato-adsorvente: interações van der Waals, ligação covalente, ácido-base, ligação de hidrogênio, entre outros. A força da ligação é extremamente importante, porque se as interações são razoavelmente fracas, pequenas quantidades de adsorvido são adsorvidas; se as interações forem fortes, será difícil conseguir a regeneração do adsorvente e, portanto, o seu reuso. (Keller & Staudt, 2005; Camacho, 2004).

Um dos objetivos principais de uma experiência de adsorção é a determinação de uma Isoterma de Adsorção, ou seja, a determinação das quantidades adsorvidas em função da pressão, (ou pressão relativa) a temperatura constante. As técnicas principais para a obtenção de uma isotérmica de adsorção são: volumetria de adsorção, gravimetria de adsorção e técnicas de fluxo.

Em geral, a técnica utilizada nas pesquisas com melhoramento da superfície do PU foi a gravimetria de adsorção e os resultados foram relatados em termos de gramas de óleo adsorvido por grama de peso adsorvente (g/g). A gravimetria trata-se de um método simples e acurado de medição o qual é calculado a partir da diferença de peso do adsorvente apurado pelo uso de uma balança (Keller & Staudt, 2005).

Neste caso, a adsorção (Q) é, portanto, a diferença entre o peso após (W_1) e antes (W_0) do contato com o óleo, como representado na equação 4:

$$Q = (W_t - W_0) / W_0 \quad (4)$$

2.3 Métodos de preparo e caracterização de esponjas superhidrofóbicas

Considerando o exposto anteriormente, existem duas abordagens principais para criar superfícies superhidrofóbicas: a primeira alterando a superfície, criando estruturas micro/nano-hierárquicas em substratos hidrofóbicos e a segunda modificando quimicamente uma superfície estruturada hierárquica com um material de baixa energia superficial, como ácido graxo, polímeros, hidrocarbonetos e fluorcarbonetos. Para tal, vários métodos de síntese dessas superfícies são relatados na literatura, como deposição eletroquímica, separação de fases, emulsão, eletrofiação, imersão, deposição por vapor químico (CVD), reação química in situ, litografia e outros (Kumar & Nanda, 2019).

A caracterização dos resultados obtidos na criação de superfícies hidrofóbicas pode ser feita por Microscopia eletrônica de varredura (SEM), Força atômica microscópica (AFM), Interferometria de luz branca (WLI) entre outros. Um dos métodos comumente empregados é método da gota sésil, neste método o CA é medido por um goniômetro em uma lente. Após uma gota ser desprendida em uma superfície por uma seringa localizada no topo da amostra uma câmera embutida de alta resolução captura a imagem da amostra de cima ou de lado. A imagem pode ser submetida a análise usando um software de análise de imagem (Jayadev *et al.*, 2019).

Já a adsorção também pode ser caracterizada por vários métodos visto que existem várias propriedades adsorventes, como densidade, área superficial, tamanho médio dos poros, distribuição do tamanho dos poros, forma e volume dos poros, entre outras, determinadas a partir de técnicas específicas como Porosimetria de Mercúrio, Análise Termogravimétrica (TGA) e Adsorção de nitrogênio em 77K (Keller & Staudt, 2005; Camacho, 2004).

Por fim, neste contexto, também se destaca a existência de normas padronizadas para medição da adsorção como a ASTM F726.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados os conceitos fundamentais, parte-se para análise dos estudos. A Tabela 1 relaciona o resultado das pesquisas apresentando o método de revestimento das esponjas de PU, bem como os resultados alcançados em termos de adsorção e WCA.

Esponja	Método	Adsorption (g/g)	WCA	Ref
GPUF	Dip coating	90–316	151°	1
FAS-17/Fe3O4-PU sponge	Dip coating/ polymerization	10–35	153.7 ± 2.7°	2
Actyflon-G502/Fe3O4-PU sponge	Dip coating	25–87	153°	3
SiO2-PFW-PU sponge	Dip coating	22–75	156°	4
SiO2/GO-PU sponge	Dip coating	80–180	145°	5
Fe3O4-PU sponge	Dip coating	39.3–46.3	154.7°	6
Al2O3/PUF	thermal treatment	37.0	144°	7
PU- PDA-HMDS	Polymerization/dip coating	21-53	153°	8
RGO@PU sponge	Dip coating/thermal treatment	4.2–37.6	153°	9
TMOS-f-rGONR@PU	Dip coating	30-68	153±2.0°	10
F-MoS2-PU	in situ chemical reaction	25-90	> 150°	11
SiO2-PDA-PU sponge	Polymerization/dip coating	18.3–46.8	154°	12
NMP/graphene PU sponge	Polymerization	40–80	151.8 ± 0.5°	13
PU@Fe3O4@SiO2@FP Sponges	CVD	13.26–44.50	157°	14
GO/PU sponge	Dip coating	25–95	153°	15
Silaned graphene PU sponge	Thermal treatment	25–44	> 160°	16
NDs-PU sponge	Dip coating	15–60	160°	17
Attapulgitte coated PU sponge	Dip coating	17–45	160°	18
SiO2-PU sponge	Dip coating	33.9–55.8	> 150°	19
Functionalized GO-PU sponge	Dip coating	16–35	152±1°	20
CNWs/GN/PU sponge	Dip coating	31–46	152°	21
(GSH)-based PU sponges	Dip coating	29.5-90	160.5°	22
Fe3O4-graphene PU sponge	In situ chemical reaction	9–27	158±1°	23
PU-(CF3)2-FeNPs-(CF3)2	Dip coating	35-77	167°	24
Cellulose-PU	-	3.91 – 12.49	89.4°	25
SHP-LDH-containing sponge	Dip coating	31.3-83.3	160.5°	26
PPy-PA PU sponge	CVD	22–62	140°	27

Ref: 1- Anju & Renuka, 2020; 2- Shanhu *et al.*, 2015; 3- Lei *et al.*, 2017; 4- Ge *et al.*, 2015; 5- Xiaomeng *et al.*, 2016; 6- Zeng-Tian *et al.*, 2018; 7- Liying *et al.*, 2018; 8- Chun *et al.*, 2019; 9- Chengbo *et al.*, 2018; 10- Fei *et al.*, 2018; 11- Tianlong *et al.*, 2020; 12- Jintao & Guihong, 2015; 13- Kong *et al.*, 2017; 14- Wu *et al.*, 2015; 15- Rahmani *et al.*, 2017; 16- Shuai *et al.*, 2016; 17- Ning *et al.*, 2017; 18- Li *et al.*, 2016; 19- Li *et al.*, 2015; 20- Huiwen *et al.*, 2018; 21- Xiaotan *et al.*, 2017; 22- Lin *et al.*, 2017; 23- Can *et al.*, 2015; 24- Guselnikova *et al.*, 2020; 25- Sittinun *et al.*, 2020; 26- Qingyuan *et al.*, 2019; 27- Khosravi & Azizian, 2015.

Tabela 1- Resultados de esponjas superhidrofóbicas

Os métodos mais comuns para criação de esponjas modificadas são o revestimento por imersão (dip coating); deposição por vapor químico (Chemical vapor deposition); Reação química in situ (In situ chemical reaction).

Na maior parte dos estudos pesquisados o método utilizado para criação das esponjas foi o revestimento por imersão, possivelmente este resultado se relacione com a facilidade do método no qual não é necessária técnica ou equipamento sofisticado. Ademais, o processo economiza tempo e leva apenas algumas horas para obter a esponja hidrofóbica. Nos processos de revestimento por imersão, as esponjas foram imersas em solução que continha materiais modificados por algumas vezes, seguidas de um processo seco e, em seguida, as esponjas hidrofóbicas foram obtidas (Min et al., 2019).

Dentre as pesquisas levantadas a maior adsorção foi obtida com uma esponja de GPUF (Anju & Renuka, 2020) que obteve uma variação de 90 a 316 g/g. A capacidade de adsorção seguiu a ordem: Clorofórmio > Óleo Diesel > Óleo Lubrificante > Óleo de Feijão > Tetrahidrofurano > Sulfóxido de dimetilo > Tolueno > Dimetilformamida > Acetona (Anju & Renuka, 2020).

Segundo Anju e Renuka (2020), o expressivo resultado se deve a combinação da hidrofobicidade das folhas de grafeno, a porosidade e oleofilicidade do PU, bem como a mesoporosidade do óxido de ferro que também contribui com a resposta magnética. Os autores consideram que esses três fatores resultam na considerável eficiência de adsorção.

Por outro lado, cabe destacar que os resultados obtidos destoam significativamente das outras pesquisas, sendo quase o dobro da pesquisa com segunda maior adsorção SiO₂/GO-PU (Xiaomeng *et al.*, 2016) em que as substâncias adsorvidas foram semelhantes. Cabe a observação que as maiores adsorções (quatro primeiras) foram obtidas em compósitos que continham grafeno.

Apesar dos resultados apresentados demonstrarem a adsorção em termos de valores e mesma unidade de medida, a comparabilidade é prejudicada no sentido que diferentes substâncias adsorvidas são testadas nas diferentes pesquisas. Embora os estudos utilizem a equação 4 no cálculo da adsorção, procedimentos diferentes são aplicados. Apenas um trabalho (Rahmani *et al.*, 2017) faz menção a modelos de teste padronizados como os da American Society for Testing and Materials (ASTM), por exemplo o ASTM F726-17- Método de teste padrão para desempenho de adsorção de adsorventes para uso em petróleo bruto e derramamentos relacionados.

Em contrapartida, o WCA das pesquisas mencionadas foi calculado, por meio do método da gota sésil a partir de equipamentos eletrônicos como: Krüss DSA 30 (Chun *et al.*, 2019; Fei *et al.*, 2018); OCA 20 (Kong et al., 2017; Wu *et al.*, 2015; Sittinun *et al.*, 2020); GBX Digidrop (Anju & Renuka, 2020; Ning *et al.*, 2017) e outros. Quase todas as esponjas encontradas nas pesquisas possuíam superhidrofobicidade (WCA > 150°). O maior WCA encontrado na pesquisa foi 167° (Guselnikova *et al.*, 2020), porém destaca-se que não foi feita menção de como este valor foi obtido.

4 | CONCLUSÃO

A poluição da água com resíduos oleosos é um problema relevante para humanidade. Como exposto ao longo da pesquisa, a ciência dos materiais é um campo fértil e com soluções promissoras no que tange a melhoria de adsorventes, principalmente o PU que foi o escopo deste artigo. Pode-se dizer que a pesquisa alcançou o objetivo geral ao revisar e resumir uma parte da literatura.

Neste sentido, os resultados alcançados sugerem a existência de diversos materiais que adicionados ao PU melhoram suas propriedades para separação óleo-água. Apesar de apresentados os resultados de forma consolidada, ressalva-se a comparabilidade dos dados em função de diferenças metodológicas dos trabalhos pesquisados.

Por fim, como proposta de pesquisas futuras, sugere-se expandir o número de pesquisas, avaliar outros materiais adsorventes como a esponja de melamina e reproduzir alguns dos experimentos mais bem sucedidos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Anju, M. and Renuka, N.K. (2020), Magnetically actuated graphene coated polyurethane foam as potential sorbent for oils and organics. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1):1752-1762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.01.012>.
- Min, P.; et al. (2019), Synthesis and application of modified commercial sponges for oil-water separation. *Chemical Engineering Journal*, 373: 213-226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.013>.
- Ge, J.; et al. (2016), Advanced Sorbents for Oil-Spill Cleanup: Recent Advances and Future Perspectives. *Adv. Mater.*, DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201601812>
- Shanhu, L.; et al. (2015), *RSC Adv.*; 5: 68293-68298. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5RA12301A>
- Jamsaz, A. and Goharshadi, E. K. (2020), Flame retardant, superhydrophobic, and superoleophilic reduced graphene oxide/orthoaminophenol polyurethane sponge for efficient oil/water separation. *Journal of Molecular Liquids*, 307: 112979. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112979>
- Yuying, D.; et al. (2020), Recent development of super-wettable materials and their applications in oil-water separation. *Journal of Cleaner Production.*; 266: 121624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121624>.
- Lei, L.; et al. (2017), A facile method to fabricate the superhydrophobic magnetic sponge for oil-water separation. *Materials Letters*, 195: Pages 66-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.02.100>.

Ge, B.; et al. (2015) A superhydrophobic monolithic material with tunable wettability for oil and water separation. *Journal of Materials Science*, 50: 2365–2369. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8756-4>

Fenner, B. R.; et al. (2018), Comparative analysis among coating methods of flexible polyurethane foams with graphene oxide, *Journal of Molecular Liquids*, 271: 74-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.08.113>.

ITOF. Oil Tanker Spill Statistics 2019. 2020; Disponível em: https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_brochure_2020_for_web.pdf

Xiaomeng, L.; et al. (2016), Constructing polyurethane sponge modified with silica/graphene oxide nanohybrids as a ternary sorbent. *Chemical Engineering Journal*, 284: 478-486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.09.002>.

Zeng-Tian, L.; et al. (2018), Effective preparation of magnetic superhydrophobic Fe₃O₄/PU sponge for oil-water separation. *Applied Surface Science*. 427 (parte B): 56-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.08.183>.

Liyang, K.; et al. (2018), Fabrication of hydrophobic and oleophilic polyurethane foam sponge modified with hydrophobic Al₂O₃ for oil/water separation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 58: 369-375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.09.050>.

Chun, L.; et al. (2019), Facile fabrication of superhydrophobic polyurethane sponge towards oil-water separation with exceptional flame-retardant performance. *Separation and Purification Technology*. 229: 115801. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115801>.

Chengbo, et al. (2018), Facile one-pot synthesis of superhydrophobic reduced graphene oxide-coated polyurethane sponge at the presence of ethanol for oil-water separation. *Chemical Engineering Journal*. 345: 648-658. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.079>.

Fei, Q.; et al. (2018), Facile synthesis of super-hydrophobic, electrically conductive and mechanically flexible functionalized graphene nanoribbon/polyurethane sponge for efficient oil/water separation at static and dynamic states. *Chemical Engineering Journal*. 334: 2154-2166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.11.054>.

Tianlong, Y.; et al. (2020), Functionalized MoS₂/polyurethane sponge: An efficient scavenger for oil in water. *Separation and Purification Technology*. 238: 116420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116420>.

Jintao, W. and Guihong, G. (Highly recyclable superhydrophobic sponge suitable for the selective sorption of high viscosity oil from water. *Marine Pollution Bulletin*. 2015; 97(1-2): 118-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.026>.

Kong, Z.; et al. (2017), In situ fastening graphene sheets into a polyurethane sponge for the highly efficient continuous cleanup of oil spills. *Nano Res*. 10: 1756–1766. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12274-017-1484-8>

Rouquerol, F.; et al. (2014) 1 – Introduction Adsorption by Powders and Porous Solids. 2^o Ed. Academic Press. Second Edition: 1-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097035-6.00001-2>.

Wu, L.; et al. (2015), Magnetic, durable and superhydrophobic polyurethane@Fe₃O₄@SiO₂@fluoropolymer sponges for selective oil absorption and oil/water separation, *ACS Appl. Mater.* 7 (8): 4936–4946. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/am5091353>

Rahmani, Z., et al. (2017), Nanoporous graphene and graphene oxide-coated polyurethane sponge as a highly efficient, superhydrophobic, and reusable oil spill absorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 5 (5): 5025-5032. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.028>.

Shuai, Z.; et al. (2016), One-pot synthesis of robust superhydrophobic, functionalized graphene/polyurethane sponge for effective continuous oil–water separation. *Chemical Engineering Journal.* 302: 155-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.051>.

Ning, C.; et al. (2017), Polyurethane sponge functionalized with superhydrophobic nanodiamond particles for efficient oil/water separation. *Chemical Engineering Journal.* 307: 319-325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.105>.

Li, J.; et al. (2016) Robust superhydrophobic attapulgite coated polyurethane sponge for efficient immiscible oil/water mixture and emulsion separation. *J. Mater. Chem. A* 4: 15546–15553. DOI: <https://doi.org/10.1039/C6TA07535E>.

Li, J.; et al. (2015), Stable superhydrophobic and super-oleophilic silica coated polyurethane sponges for the continuous capture and removal of oils from the water surface, *New J. Chem.* (39): 9958–9962. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5NJ01565K>.

Huiwen, M.; et al. (2018), Super-hydrophobic and super-lipophilic functionalized graphene oxide/polyurethane sponge applied for oil/water separation. *Chinese Journal of Chemical Engineering.* 26 (5): 957-963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.09.004>.

Xiaotan, Z.; et al. (2017), Super-hydrophobic graphene coated polyurethane (GN@PU) sponge with great oil-water separation performance. *Applied Surface Science.* 422: 116-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.009>.

Lin, Z.; et al. (2017), Thiolated graphene-based superhydrophobic sponges for oil-water separation. *Chemical Engineering Journal.* 316: 736-743. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.030>.

Can, L.; et al. (2015), Versatile fabrication of the magnetic polymer-based graphene foam and applications for oil–water separation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 468: 10-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.12.005>.

Guselnikova, O.; et al. (2020), Magnetic polyurethane sponge for efficient oil adsorption and separation of oil from oil-in-water emulsions. *Separation and Purification Technology.* 240: 116627. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116627>.

Sittinun, A.; et al. (2020), Improving the oil sorption capability of porous polyurethane composites by the incorporation of cellulose fibers extracted from water hyacinth. *Composites Communications.* 20: 100351; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.04.017>.

Qingyuan, T.; et al. (2019), Superhydrophobic sponge containing silicone oil-modified layered double hydroxide sheets for rapid oil-water separations. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 570: 339-346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.03.031>.

Khosravi, M. and Azizian, S. (2015), Synthesis of a novel highly oleophilic and highly hydrophobic sponge for rapid oil spill cleanup ACS Appl. Mater. Interfaces 7(45): 25326–25333. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.5b07504>.

Tao, Z.; et al. (2019), Recent progress and future prospects of oil-absorbing materials. Chinese Journal of Chemical Engineering. 2019; 27(6): 1282-1295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.09.001>.

Sethi, S. K. et al. (2019), CHAPTER 1 - Fundamentals of superhydrophobic surfaces. Editor(s): Sushanta K. Samal, Smita Mohanty, Sanjay Kumar Nayak, “*Superhydrophobic Polymer Coatings*”, Elsevier, 2019; 3-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816671-0.00001-1>.

Young, T. (1805), An essay on the cohesion of fluids, Philos. Trans. R. Soc. Lond. 95 65–87, DOI: <https://doi.org/10.1098/rstl.1805.0005>.

Kumar, A. and Nanda, D. (2019), Chapter 3 - Methods and fabrication techniques of superhydrophobic surfaces, Editor(s): Sushanta K. Samal, Smita Mohanty, Sanjay Kumar Nayak, “*Superhydrophobic Polymer Coatings*”, Elsevier, 43-75, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816671-0.00004-7>.

Jayadev, D.; et al. (2019), Chapter 5 - Characterization of superhydrophobic polymer coating, Editor(s): Sushanta K. Samal, Smita Mohanty, Sanjay Kumar Nayak, “*Superhydrophobic Polymer Coatings*”, Elsevier, 2019, 91-121, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816671-0.00006-0>.

Wenzel, R.N. (1926), Resistance of solid surfaces to wetting by water, Ind. Eng. Chem. 28, 988–994.

Cassie, A.B.D. and Baxter, S. (1944), Wettability of porous surface, Trans. Faraday Soc. 40, 546–551.

Keller, J. U. and Staudt, R. (2005), Universität Siegen Germany. “*Gas adsorption equilibria Experimental Methods and Adsorptive Isotherms.*” Boston: Springer Science.

Camacho, B. C. R. (2004), Experimental Gravimetric Adsorption Equilibrium of n-Alkanes and Alkenes, Carbon Dioxide and Nitrogen in MIL-53(Al) and Zeolite 5A. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica. Faculdade de ciências e tecnologia universidade nova Lisboa.

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
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br