

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. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^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. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^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 Anteveli Osajima

José Benedito Guimarães Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050414

CAPÍTULO 15..... 174

MEMBRANAS DE QUITOSANA-BIOATIVO NATURAL PARA USO POTENCIAL COMO CURATIVOS

Itamara Farias Leite

Wwandson Felipe Wanderley

Alanne Tamize de Medeiros Salviano

DOI 10.22533/at.ed.62221050415

CAPÍTULO 16..... 187

SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA MEMBRANA BIOLÓGICA

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

Ingrid Russoni de Lima

Mara Carolina do Carmo Paresque

Lucas Furtado Loesh Pereira

Bonifácio de Oliveira Fialho

Heleno Souza da Silva

Renata Antoum Simão

José Adilson de Castro

Gláucio Soares Fonseca

DOI 10.22533/at.ed.62221050416

SOBRE OS ORGANIZADORES200

ÍNDICE REMISSIVO.....201

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

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

Mariana Isabeli Valentim

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9754370766187077>

José Carlos Alves Galvão

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8156126467168252>

Karoline Caetano da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1019527804777655>

Rozane de Fatima Turchiello Gomez

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3884155143293507>

RESUMO: Sabe-se que a degradação de equipamentos em estações de tratamento de esgoto (ETE) é uma problemática coletiva que gera prejuízos gerais significativos; o estudo e análise dos fenômenos que a ocasionam, tal qual o monitoramento de sua progressão em ambiente controlado, fundamentam novas tentativas para resolução e prevenção de tais problemáticas; especialmente na formulação e aplicação de materiais mais resistentes à oxidação e, conseqüentemente, de maior vida útil. A presença de microrganismos é um dos

elementos cruciais para o tratamento de águas residuais e, por esse motivo, as ETes — a fim de poder trazer um saneamento adequado à população — utilizam da biotecnologia para a redução de carga orgânica e tratamento dos efluentes. No entanto, esses microrganismos causam a degradação dos materiais que compõem as ETes por meio de processos de corrosão influenciada microbiologicamente (CIM); sendo esta, uma das principais causas de degradação. Alguns microrganismos de crescimento propício em tais ambientes são da família *Enterobacteriaceae*; desenvolvem-se, portanto, observações da ocorrência de CIM nos materiais: aço SAE 1010, inox AISI 304 e aço galvanizado, aplicando os métodos de cultura microbiana por *brain heart infusion*; seleção e identificação das bactérias; decapagem e ensaio de perda de massa; cálculo da taxa média de corrosão; análise em MEV e EDS. Conclui-se que a corrosão é superior em aço galvanizado, para o período de tempo estudado. Os resultados apontam para ação em consórcio de bactérias, o que deverá ser evidenciado em trabalhos posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão microbiologicamente influenciada. Corrosão metálica. Estação de tratamento de esgoto.

EVALUATION OF MICROBIOLOGICALLY INFLUENCED CORROSION PROCESSES IN SEWAGE TREATMENT PLANTS

ABSTRACT: It is known that the degradation in the sewage treatment plants' (STPs) equipments is a public problem, which generates significant

general losings. The study and review of the phenomena that causes it, such as monitoring its progression in a controlled environment, motivate new efforts to solve and prevent these problems; especially in the shaping and enforcement to materials more resistant to oxidation and thereafter, of longer lifespan. The presence of microorganisms is one of the crucial elements for the treatment of wastewater, for this reason, sewage treatment plants — in order to bring adequate sanitation to the population — use biotechnology to reduce organic load and effluent treatment. However, these microorganisms cause the process of degradation of the materials that composes the STPs. The microbiologically influenced corrosion (MIC) processes are one of the causes of degradation of the materials that set the structures of the STPs; some microorganisms with favorable growth in such environments are from the family Enterobacteriaceae. Observations on the occurrence of MIC were made in the alloys: SAE 1010 steel, AISI 304 stainless and galvanized steel, applying the microbial culture method; bacteria selection and identification; metal cleaning; mass loss measurements; determination of corrosion rate; SEM and EDXA analysis. It was concluded that the corrosion was more intense on galvanized steel, and the results indicate a symbiotic action of bacteria, which will be evidenced in later works.

KEYWORDS: Microbiologically influenced corrosion. Metal corrosion. Sewage treatment plants.

INTRODUÇÃO

As despesas geradas pela avaria de maquinários em estações de tratamento de esgoto (ETEs) revelam-se como crescente problemática pública e privada, ainda carente de alternativas práticas e concretas. Esta avaria se deve a fatores químicos ou físicos, ambientais, que institui focos de corrosão ou degradação do material que, se não interrompa por intervenção humana, continua a se desenvolver até a perda total do mesmo. Segundo levantamento (IBRAM, 2020), cerca de 30% da produção mundial de ferro e aço é perdida com a corrosão – e os custos correspondem de 1 a 5% do PIB dos países. Em 2019, por exemplo, o Brasil teve um gasto equivalente a 4% do PIB (R\$ 290 bilhões) com manutenção da corrosão. Estima-se que, com a utilização de técnicas de proteção contra corrosão, a economia poderia representar cerca de 25% do PIB, o que corresponde a R\$ 72 bilhões por ano.

Sob perspectiva de Gentil (2011), a razão de aproximadamente 30% de todo aço produzido no mundo é usado para reposição de peças sujeitas à corrosão. Porém, é incerto estimar o custo decorrente da corrosão em sua totalidade, pois se deve levar em consideração, além das perdas materiais efetivas, a mão de obra para substituição ou reposição; os custos referentes à paralização; bem como o prejuízo à saúde humana e ao meio ambiente. Trata-se também de um incômodo social, pois a emissão de gases odorantes em área urbana, provindos dessa situação, segundo Brandt *et al.* (2017), compromete o desempenho socioambiental de empreendimentos do setor de saneamento e conduz a uma cultura de repúdio à implantação de novas ETEs. Tais odores estão relacionados aos

processos metabólicos de cepas microbianas ligadas à biocorrosão (GENTIL, 2012).

Em termos químicos gerais, define-se a corrosão como deterioração própria dos metais, com perda do material para uma solução, por reação de oxirredução (KOTZ; TREICHEL, 1998) em outras palavras, a transferência de elétrons entre entidades químicas diferentes, de acordo com seus respectivos potenciais eletroquímicos. É possível ainda, afirmar que a corrosão é o processo reverso da metalurgia, todavia em dimensões diferentes; seguindo o ciclo dos metais e retornando à sua natureza química original. Os processos corrosivos podem ser classificados segundo sua morfologia ou como ocorrem, dividindo-se em: corrosão eletroquímica, química e eletrolítica (SIQUEIRA, 2015). A desenvolvimento da corrosão, juntamente com o aumento de sua taxa generalizada, se dá pelas condições atmosféricas de temperatura e pressão, bem como as concentrações de elementos não metálicos presentes no meio. Um mecanismo corrosivo notório, trata-se da corrosão influenciada microbiologicamente (CIM), esta que é ocasionada pela aderência de espécies microbianas à superfície metálica e a sua posterior colonização, levando à formação de biofilmes (ARAÚJO, 2011) que, em condições favoráveis, produzem enzimas e ácidos, instauradores de reações catódicas ou anódicas.

Bactérias redutoras de sulfato (BRS); bactérias precipitantes de ferro (BPF); e bactérias heterotróficas facultativas ou anaeróbias, são os grupos predominantemente relacionados a CIM. Nas palavras do autor Gentil (2012), exceto as bactérias frequentemente associada na CIM, pode-se observar também as bactérias que reduzem o sulfato, bactérias oxidantes de ferro e de manganês. A CIM nas estações de tratamento de esgoto constitui um problema sério e seus efeitos resultam na perda de bilhões de dólares por ano (STANASZEK-TOMAL; FIERTAK, 2016).

Entretanto, ainda no que diz respeito a microrganismos, estes não são unicamente malevolentes; são também essenciais para a filtragem residual por meio dos filtros biológicos instalados em estações de tratamento de esgoto. A remoção da matéria orgânica do efluente; a remoção de amônia, nitritos e dióxido de carbono; são desempenhados por uma biota complexa dependente da demanda biológica por oxigênio (DBO) em um ambiente extenso e controlado. Este dinamismo faz parte da etapa biológica de tratamento, as outras duas etapas tratam-se dos processos químicos e físicos. De acordo com Busato (2004), o processo físico do tratamento consiste na separação dos sólidos grosseiros; e o processo químico, na adição de componentes químicos para eliminação de contaminantes, geralmente empregado quando processos físicos e biológicos não são suficientes (*apud* MAÇANEIRO, 2017). Revisada a relevância dos tópicos abordados, o estudo realizado tem por objetivo constatar a progressividade da corrosão em ligas metálicas de aço, componentes da ETE local. Por conseguinte, atentar para presença de CIM e fornecer referências para trabalhos futuros, tanto na prevenção da degradação dos maquinários atuais ou alternativos, quanto no redirecionamento da problemática desenvolvida.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa, aqui relatada, situa-se no mesmo âmbito que o projeto de Rosa (2017) e de Galvão *et al.* (2019); dos quais reaproveitam-se os protocolos microbiológicos para seleção e quantificação de bactérias e os cupons metálicos. Neste projeto, constatou-se a presença de colônias de bactérias do tipo bacilo e estreptococos, crescidas em caldo *Brain Heart Infusion (BHI)*. Os cupons foram agrupados por material estudado; Aço inox 304, Aço Carbono 1010 e Aço Galvanizado, todos com dimensões de 30,0 x 4,5 x 1,3 mm. Os mesmos foram preservados em meio líquido, em tubos falcon contendo meio de cultivo para bactérias Anaeróbias Heterotróficas Totais (BANHT), em local com temperatura controlada de (10 ± 2) °C até retirada para análise. Nos tubos foram inoculados os microrganismos da família *Enterobacteriaceae* isolados previamente.

Uma das técnicas empregadas na pesquisa foi o exame visual por ser eficiente na constatação de processos corrosivos de estruturas e equipamentos da ETE. Nesta etapa do trabalho foi gerado arquivo fotográfico dos principais defeitos encontrados na superfície dos cupons submetidos ao processo de CIM. Tais cupons foram então submetidos ao ensaio de perda de massa; que se constitui de pesagem inicial em balança analítica, repetidos processos de limpeza em solução adequada ao material, e posterior pesagem até constância de massa conforme a ASTM G1 – 03 (2017). A solução *Clark*, constituída de trióxido de antimônio (Sb_2O_3), cloreto de estanho ($SnCl_2$) e ácido clorídrico (HCl), foi empregada na limpeza dos cupons de aço inox e aço carbono 1010; para os corpos de prova em aço galvanizado, utilizou-se a solução básica de hidróxido de amônio e água destilada. Para o cálculo da taxa de corrosão (T_c), relaciona-se a perda de massa em gramas após exposição (Δm) multiplicada pelo constante de magnitude das unidades (K) que, neste contexto tem valor de $8,76 \times 10^7$; por sua área em cm^2 (A), tempo de exposição em horas e massa específica do material (ρ) em g/cm^3 . Sendo o quociente dessa relação, nosso resultado, em mm por ano (Eq. 1).

$$T_c = \frac{\Delta m \cdot K}{A \cdot t \cdot \rho} \quad \text{Equação 1}$$

A taxa de corrosão trata-se de um cálculo que pode ser feito de diversas maneiras, com diferentes propósitos. Apoia-se no cálculo de taxa de corrosão como indicador potencial para degradação em diversos materiais por tempo controlado, e considera-se a *NACE Standards SP0169-2013* para a apreciação do grau de corrosividade dos materiais expostos ao meio corrosivo contendo o microrganismo estudado.

Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de corrosão por pite (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	< 0,13	Baixa
0,025 a 0,120	0,130 a 0,200	Moderada
0,130 a 0,250	0,210 a 0,380	Alta
> 0,250	> 0,380	Severa

Tabela 1 – Classificação da taxa de corrosão do aço carbono

Fonte: NACE International. (2013).

Na etapa seguinte cupons foram submetidos à análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS) no equipamento de marca Zeiss, modelo EVO MA 15, equipado com detectores Oxford Instruments para a microanálise química EDS X-Max e WDS IncaWave 500 com cristais LiF(200), PET, TAP, LSM80N e LSM80E. Em trabalhos realizados anteriormente por Rosa *et al.* (2017) com o isolamento, sequenciamento e identificação dos microrganismos presentes na ETE e por Gonçalves e Galvão (2018), a confecção dos corpos de prova e preparo do meio para análise da ação CMI, foi possível chegar a 620 dias de exposição ao meio com o microrganismo estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exame visual

No exame visual foi possível constatar os diferentes estados de deterioração do cupom de cada material analisado. Na figura 1 são mostrados os cupons de aço SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado após um período de 230 dias de imersão no meio contendo microrganismos da família *Enterobacteriaceae*.

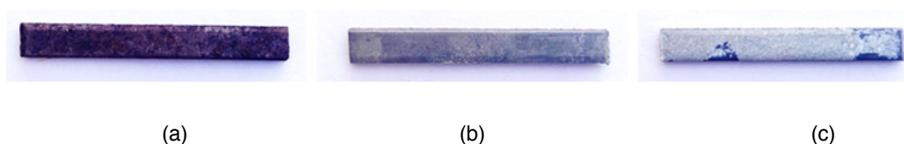


Figura 1. Imagens fotográficas dos cupons metálicos. (a) aço SAE 1010, (b) aço AISI 304 e (c) aço galvanizado

Fonte: Autoria própria (2020).

Observa-se na figura 1(a) que o cupom de aço SAE 1010 apresentou uma corrosão uniforme que alcança toda sua superfície. No cupom de aço AISI 304, mostrado na figura

1(b), verificou-se a presença de manchas e um processo menos acentuado de corrosão se comparado com os outros dois cupons; entende-se que esse material tem, em sua composição, o níquel-cromo, além dos outros materiais que ampliam sua resistência à oxidação. Para evitar a corrosão, os tubos de aço carbono são cobertos por uma camada protetora de zinco, ou liga de zinco, usando o processo de galvanização. Na figura 1(c) nota-se a formação de manchas escuras que correspondem a uma perda da camada de proteção de zinco do aço galvanizado.

Ensaio de perda de massa e taxa de corrosão

Fundamentado nos valores de massa após a decapagem dos corpos de prova, formulou-se um gráfico (Figura 2) no qual aponta-se a média da perda de massa para cada corpo de prova de cada material estudado. Observa-se maior perda de massa a longo prazo do aço galvanizado, e o possível equipare entre os aços inox e carbono 1010 até, aproximadamente, 365 dias por conta da variabilidade dos valores dentro da margem de erro. Após esse período o aço carbono 1010 apresenta maior perda de massa, se comparado ao aço inox. Os resultados auferidos condizem com os precedentes da literatura; como documentado por Almeida e Silva (2017), a maior perda de massa do aço galvanizado nas primeiras idades deve-se a detrimento da camada protetiva superficial de zinco. Segundo Ruela e Silveira (2017), a camada de produtos de corrosão cresce até o zinco ser empobrecido e uma camada fina, porosa e não protetiva ser formada; durante essa etapa, a corrosão atinge a camada da liga Zn-Fe e o potencial de corrosão muda para valores mais nobres.

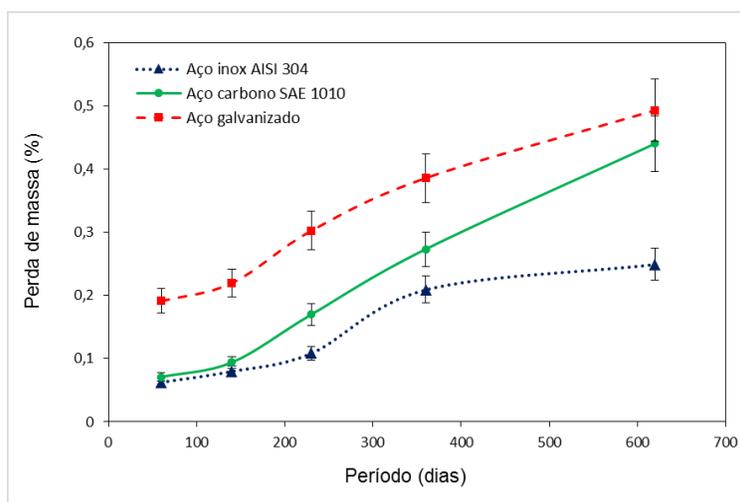


Figura 2 – Perda de massa por período em dias

Fonte: Autoria própria (2020).

A perda de massa do aço carbono observada apresenta-se com tendência linear a partir de 20 semanas de exposição no meio com microrganismos; Zou *et al.* (2011) observaram esta tendência ao determinar a taxa de corrosão do aço na água do mar. Devido as suas propriedades de resistência à corrosão o aço inox AISI 304 apresentou o menor percentual de perda de massa quando comparado com os outros dois materiais. Na Tabela 2 são apresentadas as taxa de corrosão do aço carbono SAE 1010, aço inox AISI 304 e aço galvanizado.

Tempo de exposição (dias)	Taxa de corrosão (mm/ano)		
	Aço carbono SAE 1010	Aço inox AISI 304	Aço galvanizado
60	0,1408	0,1227	0,6304
140	0,0799	0,0670	0,3060
230	0,0877	0,0552	0,2562
360	0,0902	0,0679	0,2087
620	0,0844	0,0470	0,1548

Tabela 2 – Relação da taxa de corrosão dos materiais

Fonte: Autoria própria (2020).

O valores da taxa de corrosão dos metais apresentaram o grau de corrosividade severa para o aço galvanizado, moderada para o aço carbono SAE 1010 e aço inox AISI 304, quando esses materiais foram submetidos ao meio agressivo com o microrganismo separado das águas residuais das estações de tratamento de esgoto, sendo este um dos ambientes com intensa deterioração dos materiais que a compõem. O aço galvanizado apresentou a maior taxa de corrosão, principalmente, nos períodos iniciais de exposição. Segundo Delaunois *et al.* (2014), o metabolismo do sulfato por bactérias redutoras de sulfato gera agentes oxidantes que podem reagir fortemente com o revestimento de zinco e ferro, levando a uma corrosão rápida e importante dos tubos galvanizados.

Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia por energia dispersiva

Nas figuras 3, 4 e 5 estão apresentadas as imagens de MEV dos materiais aço carbono SAE 1010, aço *inox* AISI 304 e aço galvanizado, respectivamente.

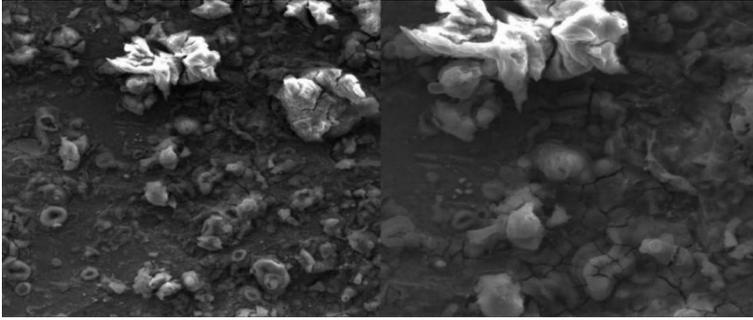


Figura 3 – Amostra de aço carbono SAE 1010. Magnificação de 1000x e 2000x.

Fonte: Aatoria própria (2020).

Na figura 3, a amostra apresenta alta corrosão puntiforme; o foco em cavidades demonstra possíveis resíduos químicos provenientes dos procedimentos de limpeza dos cupons.

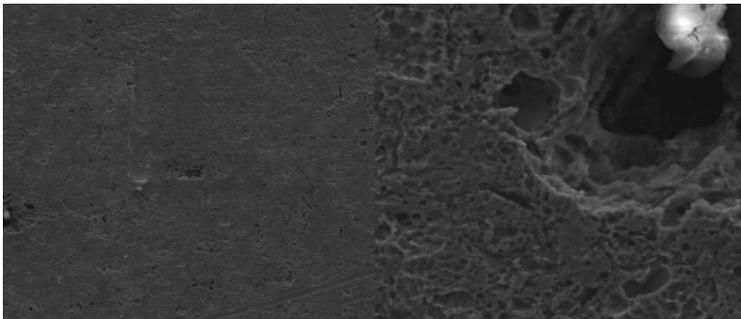


Figura 4 – Amostra de aço *inox* AISI 304. Magnificação de 200x e 2000x.

Fonte: Aatoria própria (2020).

Na figura 4, onde foca-se uma cavidade, é observável uma leve corrosão puntiforme, arranhaduras e resíduos de limpeza química em tom claro. A amostra na figura 5 apresentou média corrosão seletiva por dezincificação, com a imagem em foco na divisa entre área dezincificada e não dezincificada, nota-se o contraste entre ferro e zinco nessas áreas.

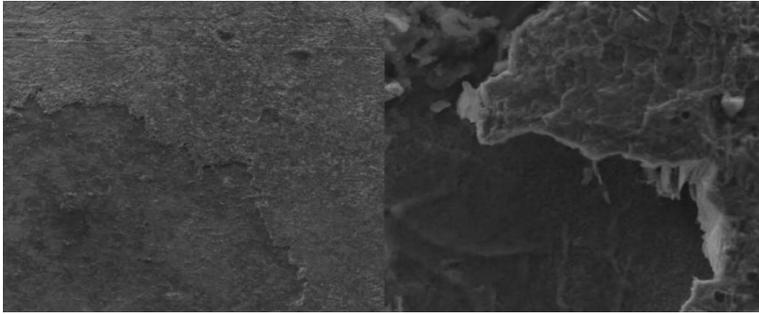


Figura 5 – Amostra de aço galvanizado. Magnificação de 200x e 2000x.

Fonte: Autoria própria (2020).

Na figura 6, observa o espectro de EDS do aço galvanizado onde estão presentes os principais componentes da amostra — ferro e zinco — indicando deszinificação da camada protetiva, concordantes com as observações em MEV (figura 5).

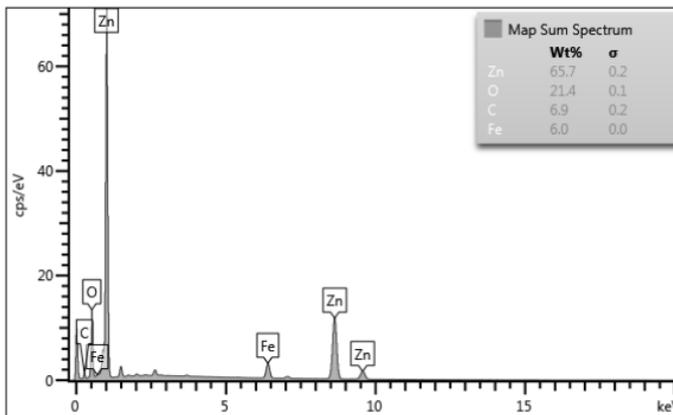


Figura 6 – Espectro EDS do corpo de prova de aço galvanizado.

Fonte: Autoria própria (2020).

A constituição elemental por EDS do cupom de aço galvanizado (figura 6) apresenta o Zn e Fe correspondentes ao observado por MEV (figura 5) confirmando ser o processo de perda da camada protetora. No aço galvanizado a camada de zinco metálico impede a oxidação do substrato, porém em ambientes como a água do mar, por exemplo, oxidam o zinco mais rápido, diminuindo sua vida útil. A CIM causada por microrganismos da família *Enterobacteriaceae* compromete a camada protetora de Zn o que contraindica o uso desse material nas ETES.

CONCLUSÃO

No exame visual fica evidenciado a CIM causada pelos microrganismos da família *Enterobacteriaceae*. Conforme documentados os valores obtidos, observou-se perda de massa percentual considerável em todos os materiais estudados e, entretanto, maior destaque observa-se no aço galvanizado, o qual sofreu maior perda de massa percentual. A taxa de corrosão ainda oferece a indicação da presença de elementos para a corrosão influenciada por microrganismos da família *Enterobacteriaceae*.

Com procedimentos de MEV e EDS foi possível evidenciar nas imagens e espectros a degradação por CMI dos materiais estudados. Esses procedimentos foram convenientes para estabelecer a relação entre os resultados de perda de massa percentual, taxa de corrosão e a constatação do comprometimento da camada protetora de Zn do aço galvanizado, contraindicando o uso desse material nas ETEs.

Embora encontradas as limitações tecnológicas ou protocolares, foi possível verificar a aplicabilidade e eficiência dos métodos estipulados, bem como estabelecer desígnios futuros para continuidade da pesquisa, reforçando a gravidade da problemática abordada, bem como reconhecendo a influência microbiológica que, se ensaiada de forma aprofundada, pode conduzir à um potencial benéfico para estas infraestruturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR pelo apoio em materiais, equipamentos, recursos humanos e na avaliação dos trabalhos no SICITE 2020.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. V. B.; SILVA, M. P. N. M. **Análise da Influência dos Agentes Químicos na Corrosão do Filtro Biológico Percolador de Estações de Tratamento de Esgoto**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM G1 - 03: Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens*. West Conshohocken, 2017.

BRANDT, E. M. F.; SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Alternativas para o controle de odores e corrosão em sistemas de coleta e tratamento de esgoto. **Eng. Sanit. Ambient.**, Juiz de Fora, v. 22, n. 4. 2017.

BUSATO, R. **Desempenho de um filtro anaeróbico de fluxo ascendente como tratamento de efluente de reator UASB: estudo de caso da ETE de Imbituva**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DELAUNOIS, F.; TOSAR, F.; VITRY, V. *Corrosion behaviour and biocorrosion of galvanized steel water distribution systems*. **Bioelectrochemistry**, v. 97, p. 110-119. Bielefeld, 2014.

GALVÃO, J. C. A. et al. **Identificação molecular de microrganismo envolvido em processo de biocorrosão**. In: RODRIGUES, T. A.; LEANDRO NETO, J. (org.). Práticas de Produção Agrícola e Conservação Ambiental. Ponta Grossa: Atena, 2019.

GENTIL, V. **Corrosão**. Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 6 ed. 2012.

GONÇALVES, A. P. O.; GALVÃO, J. C. A. **Estudo da corrosão microbiológica em materiais metálicos das estações de tratamento de esgoto**. In: Anais XXII SICITE UTFPR. Apucarana, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Processo de corrosão faz com que 30% da produção mundial de ferro e aço seja desperdiçada**. Portal da Mineração, 2020. Disponível em <<http://portaldamineracao.com.br/processo-de-corrosao-faz-com-que-30-da-producao-mundial-de-ferro-e-aco-seja-desperdicada>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. Jr. **Química e reações químicas**. Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 3 ed. 1998.

MAÇANEIRO, M. **Processo de degradação dos componentes utilizados em distribuidores rotativos instalados nas estações de tratamento de esgoto**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

NACE INTERNATIONAL STANDARD. *SP0169-2013: Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems*. Houston, TX, 2013.

ROSA, L. R. V. **Seleção e Quantificação de Micro-Organismos Causadores de Biocorrosão**. Relatório Final de Atividades (PVICT-PG). Ponta Grossa, 2017.

RUELA, M. S. P. et al. Corrosão de aço galvanizado em soluções ácidas. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, vol. 3, n. 8, p. 1250-1258. Viçosa, 2017.

SERRA, E. T. **Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo**. 1 Ed. Editora Intersciência, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Rio de Janeiro, 2006

SIQUEIRA, L. P. **Ação do ácido oxálico como inibidor de corrosão do aço carbono**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

STANASZEK-TOMAL, E.; FIERTAK, M. *Biological corrosion in the sewage system and the sewage treatment plant*. *Procedia engineering*, v. 161, p. 116-120, 2016.

ZOU, Y.; WANG, J.; ZHENG, Y. Y. *Electrochemical techniques for determining corrosion rate of rusted steel in seawater*. *Corrosion Science*, v. 53, n. 1, p. 208-216. Marefair, 2011.

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