

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2021

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Prof^a 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
Prof^a Dr^a Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Prof^a Dr^a Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFRP
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Prof^a Ma. Liliani 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. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
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

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatiany Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvío Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-922-6

DOI 10.22533/at.ed.226211904

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

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

Este e-book intitulado: “Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2” é composto por dezoito capítulos de livros que foram organizados e divididos em três áreas temáticas: (i) minerais e materiais lignocelulósicos; (ii) aplicações industriais e (iii) aplicação de tecnologias avançadas de tratamento com destaque para os processos oxidativos avançados (POAs).

A primeira temática é constituída por oito trabalhos que apresentam estudos de utilização de resíduos como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos e a obtenção de materiais de elevado custo e aplicabilidade a partir de matéria-prima mais abundante e economicamente mais acessível. Além disso, apresenta um trabalho que descreve um procedimento experimental para a escolha mais adequada e viável de uma biomassa de origem vegetal que pode apresentar características de um adsorvente e vir a ser utilizado tanto na forma *in natura* quanto modificada quimicamente, objetivando-se a remoção de compostos inorgânicos e orgânicos em diferentes matrizes aquosas. Neste sentido, trabalhos que investigaram a capacidade de remoção de poluentes utilizando minerais (argila) e biomassas vegetais (ricas em celulose e/ou lignina) apresentaram resultados satisfatórios em relação aos compostos-alvo de interesse, com destaque para a remoção do metal cromo hexavalente (Cr^{6+}) e fósforo e nitrogênio amoniacal que provocam a eutrofização de corpos aquáticos e morte de toda a biota.

O segundo tema está associado à aplicação dos conhecimentos de química e engenharia em diferentes seguimentos: (i) alimentação e (ii) processos industriais. No setor de alimentos é apresentado um trabalho que trata da avaliação microbiológica de biscoitos e empanados processados com filé de carpa Húngara, bastante abundante no estado de Santa Catarina. Já em processos industriais é apresentado um estudo que avalia o melhor dimensionamento de um condensador de amônia que possui grandes aplicações em diferentes seguimentos industriais; um estudo que avalia e compara os reatores CSTR e PFR para a produção de combustível proveniente de fontes renováveis e por fim um estudo de caso que avaliou a utilização de biometano em frotas de ônibus de seis cidades do estado de São Paulo.

A última temática trata da aplicação de diferentes POAs (Fenton e fotocatalise heterogênea tanto com o trióxido de tungstênio dopado com prata ($\text{WO}_3\text{-Ag}$) quanto o dióxido de titânio (TiO_2) para a degradação de diferentes CIEs (fármacos, microplásticos) que vem sendo reportado em trabalhos realizados em todo o mundo. No Brasil a falta de uma legislação mais restritiva associada a falta de fiscalização vem colaborando para a maior detecção e quantificação de diferentes CIEs nos diferentes compartimentos aquáticos afetando a qualidade e a sobrevivência dos diferentes organismos presentes nos inúmeros ecossistemas brasileiros.

Neste sentido, a Atena Editora vem colaborando com pesquisadores de todas as áreas do conhecimento possibilitando a divulgação de seus trabalhos e contribuindo com a disseminação destas informações de forma gratuita e acessível em diferentes plataformas digitais.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE LAMA ABRASIVA PROVENIENTE DO CORTE DE GRANITO NA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA

Adriel Martins da Silva
Keina Dalila dos Santos
Luan Regio Pestana
Luís Ramon Silva Ferreira
Façal Gazel

DOI 10.22533/at.ed.2262119041

CAPÍTULO 2..... 13

VULCANIZAÇÃO COM PRODUTOS NATURAIS: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DA MODELAGEM MOLECULAR

Helson Moreira da Costa
Valéria Dutra Ramos

DOI 10.22533/at.ed.2262119042

CAPÍTULO 3..... 40

OBTAINING GRAPHENE OXIDE FROM GRAPHITE USING THE HUMMERS METHOD

Dailson José de Queiroz Lima
Samantha Amorim Rebolledo
Everton Fabrício Franceschi
Leonardo Auco Brochetti

DOI 10.22533/at.ed.2262119043

CAPÍTULO 4..... 56

PROCEDIMENTOS ALTERNATIVOS DE ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA TRIAGEM EXPERIMENTAL

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Bruno Elias dos Santos Costa
Nivia Maria Melo Coelho

DOI 10.22533/at.ed.2262119044

CAPÍTULO 5..... 69

UTILIZAÇÃO DE ARGILA TIPO CAULINITA IN NATURA E TRATADA SUPERFICIALMENTE NA ADSORÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE Cr(VI)

Lenice Campos
Robert Orlando Braz Giacomini
João Batista dos Santos Magalhães de Almeida
Pedro Roberto Araújo Santos Filho
Mario Sérgio da Rocha Gomes

DOI 10.22533/at.ed.2262119045

CAPÍTULO 6..... 81

AValiação DA INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS ALCALINOS NA EXTRAÇÃO DA

LIGNINA PRESENTE NA FIBRA DO MESOCARPO DO COCO

Geovanna Miranda Teixeira

Emanuel Souza de Souza

Leila Maria Aguilera Campos

DOI 10.22533/at.ed.2262119046

CAPÍTULO 7..... 95

EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE BAMBÚ ANGUSTIFOLIA “BAMBUSOIDEAE” FACTOR DETERMINANTE DEL PORCENTAJE DE CELULOSA EXTRAIDO

Willam Esparza

Luis Chamorro

Wilson Herrera

DOI 10.22533/at.ed.2262119047

CAPÍTULO 8..... 105

OTIMIZAÇÃO DA REMOÇÃO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO AMONÍACAL POR LIGNINA

Lenice Campos

Bárbara Leticia Peroni

João Batista dos Santos Magalhães de Almeida

Pedro Roberto Araújo Santos Filho

Mario Sérgio da Rocha Gomes

DOI 10.22533/at.ed.2262119048

CAPÍTULO 9..... 118

HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR: ESTUDO CINÉTICO E MODELAGEM SEMI-MECANÍSTICA

Gustavo Batista

Renata Beraldo Alencar de Souza

Antonio José Gonçalves Cruz

DOI 10.22533/at.ed.2262119049

CAPÍTULO 10..... 126

APLICAÇÃO DE WETLANDS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Camila Daniely Costa

Daylaine Aguiar Santos

Manfredo Frederico Felipe Hoppe

DOI 10.22533/at.ed.22621190410

CAPÍTULO 11..... 141

AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE BISCOITOS E EMPANADOS PROCESSADOS COM E SEM GLÚTEN A PARTIR DE FILÉ DE CARPA HÚNGARA (*CYPRINUS CARPIO*)

Arthur Mateus Schreiber

Alessandro Hermann

DOI 10.22533/at.ed.22621190411

CAPÍTULO 12..... 148

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CONDENSADOR DE AMÔNIA DO TIPO PLACA

EM ESPIRAL

Maria Clara de Carvalho Aguiar
Alex Vazzoler

DOI 10.22533/at.ed.22621190412

CAPÍTULO 13..... 157

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DOS REATORES CSTR E PFR PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Gabriella Santos Soares
Sabrina Rodrigues da Silva

DOI 10.22533/at.ed.22621190413

CAPÍTULO 14..... 171

BIOMETHANE FROM LANDFILL GAS IN URBAN BUS FLEETS: STUDY CASE IN SIX CITIES IN ARC, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

Mauro Donizeti Berni
Paulo Cesar Manduca
Ivo Leandro Dorileo
Leonardo G. de Vasconcelos

DOI 10.22533/at.ed.22621190414

CAPÍTULO 15..... 180

REAGENTES FENTON: TÉCNICA ANALÍTICA PARA PRÉ-TRATAMENTO DE AMOSTRAS DE ÁGUAS RESIDUAIS CONTAMINADAS POR MICROPLÁSTICOS

Andressa Rossatto
Maurício Zimmer Ferreira Arlindo
Taiana Denardi de Souza
Christiane Saraiva Ogradowski

DOI 10.22533/at.ed.22621190415

CAPÍTULO 16..... 184

UTILIZAÇÃO DE MATERIAS BIOADSORVENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS E REDUÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS

José Henrique Hammerschmidt Muhlbeier
Luís Fernando Cusioli
Laiza Bergamasco Beltran
Rosângela Bergamasco

DOI 10.22533/at.ed.22621190416

CAPÍTULO 17..... 194

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE WO₃-Ag PARA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA NA DEGRADAÇÃO DE ACETAMINOFENO

Beatriz Lara Diego dos Reis Fusari
Antonio Carlos Silva Costa Teixeira
Priscila Hasse Palharim

DOI 10.22533/at.ed.22621190417

CAPÍTULO 18.....	207
DEGRADAÇÃO DA AMOXICILINA POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO EM REATOR CONTÍNUO COM TiO₂ FIXADO AO LEITO	
Bruno Rampanelli Dahmer	
Sabrina Grando Cordeiro	
Giovana Wanessa Franke Bohn	
Jéssica Adriane Barth	
David Green	
Eduardo Miranda Ethur	
Elisete Maria de Freitas	
Gustavo Reisdorfer	
Lucélia Hoehne	
DOI 10.22533/at.ed.22621190418	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	218
ÍNDICE REMISSIVO.....	219

PROCEDIMENTOS ALTERNATIVOS DE ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA TRIAGEM EXPERIMENTAL

Data de aceite: 01/04/2021

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Química
Uberlândia – Minas Gerais - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>
<https://orcid.org/0000-0003-3587-486X>

Bruno Elias dos Santos Costa

Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Química
Uberlândia – Minas Gerais - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9995122149910490>
<https://orcid.org/0000-0002-9306-0939>

Nivia Maria Melo Coelho

Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Química
Uberlândia – Minas Gerais - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0055547328584046>
<https://orcid.org/0000-0003-3822-4205>

Resumo: Os mecanismos de retenção de substâncias em sistemas interfaciais têm ganhado cada vez mais espaço em relação à diversidade de métodos físico-químicos empregados no tratamento de efluentes e na mitigação ambiental. Amostras de efluentes demandam métodos específicos para serem devidamente tratadas, o que nem sempre correspondem as necessidades financeiras e de infraestrutura disponíveis. O método deve ser compatível com as propriedades da amostra, e principalmente de baixo custo, pois é necessário tratar grandes volumes de efluente. Os procedimentos adsorptivos vêm ao encontro

dessas necessidades, além de promover a sustentabilidade, com o reaproveitamento de materiais de constituição lignocelulósica, denominados como adsorventes naturais. Diante disso, este trabalho contribui como uma ferramenta de orientação a pesquisadores acadêmicos e industriais, interessados na elaboração de procedimentos adsorptivos, envolvendo o uso dessa classe de adsorventes. Diante da grande quantidade de referencial bibliográfico disponível nessa temática, as informações foram selecionadas de forma sucinta e direta, como um guia prático visando a aplicação na retenção de contaminantes inorgânicos e orgânicos. Técnicas de caracterização estrutural, otimização e avaliação físico-química estão apoiados em publicações de alto impacto em âmbito nacional e internacional, por pesquisadores de excelência na área de remediação ambiental e tratamento de resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, efluente, materiais lignocelulósicos, metais pesados, contaminantes emergentes.

ALTERNATIVE ADSORPTION PROCEDURES IN THE TREATMENT OF EFFLUENTS: AN EXPERIMENTAL SCREENING

ABSTRACT: The mechanisms of substance retention in interfacial systems have been gaining more and more space in relation to the diversity of physical-chemical methods used in the treatment of effluents and in environmental mitigation. Effluent samples require specific methods to be properly treated, which does not always correspond to the financial and infrastructure

needs available. The method must be compatible with the properties of the sample, and mainly of low cost, since it is necessary to treat large volumes of effluent. Adsorptive procedures meet these needs, in addition to promoting sustainability, with the reuse of lignocellulosic materials, known as natural adsorbents. Therefore, this work contributes as an orientation tool to academic and industrial researchers, interested in the elaboration of adsorptive procedures, involving the use of this class of adsorbents. In view of the large amount of bibliographic references available on this topic, the information was selected in a succinct and direct way, as a practical guide aimed at the application in the retention of inorganic and organic contaminants. Structural characterization, optimization and physical-chemical assessment techniques are supported by high impact publications at national and international levels, by researchers of excellence in the area of environmental remediation and waste treatment.

KEYWORDS: Adsorption, effluent, lignocellulosic materials, heavy metals, emerging contaminants.

1 | INTRODUÇÃO

Os efluentes industriais ou domésticos são constituídos por uma alta carga orgânica e metais pesados de reconhecida toxicidade que precisam ser devidamente tratados a fim de atender protocolos de certificação de qualidade e a legislação vigente no Brasil (Portaria 2914/2011 do MS e a Resolução nº 357/2005 e 430/2011 do CONAMA) que dispõe sobre o lançamento de efluentes (CARVALHO et al., 2020; PANIAGUA et al., 2021). Além disso, vem sendo cada vez mais frequente a detecção de uma diversidade de compostos, denominados de Contaminantes de Interesse Emergente (CIE) que não são legislados e que possui pouco ou nenhum conhecimento de seus potenciais efeitos toxicológicos a curto, médio ou longo prazo a saúde do ambiente e do ser humano (SOBRINHO et al., 2021; VIANCELLI et al., 2020).

Dentre os diversos métodos empregados no tratamento de efluentes, podemos destacar: (i) (eletro) coagulação; (ii) co-precipitação; (iii) osmose reversa; (iv) troca iônica; (v) extrações com solvente; (vi) processos oxidativos avançados e (vii) adsorção. Entretanto, tais processos apresentam limitações em relação ao elevado custo envolvido em sua implantação e a necessidade de sucessivos ciclos durante o tratamento para se atingir elevada eficiência de remoção de poluentes (COUTINHO; BARBOSA, 2007; SOUZA et al., 2021).

Diante disso, a escolha do melhor método de tratamento deve se levar em consideração a compatibilidade com as propriedades físico-químicas da amostra e o custo envolvido no processo de tratamento. Logo, a busca por métodos de tratamentos alternativos e que promovam a sustentabilidade do processo vem sendo cada vez mais estudada e os processos de adsorção vem ganhando cada vez mais espaço neste cenário (CARVALHO et al., 2020; PANIAGUA et al., 2021).

A adsorção tem se mostrado bastante eficiente em função do baixo custo,

simplicidade de operação e rapidez relativa na aplicação. Além disso, possui as seguintes vantagens: (i) possibilidade de adequação e seletividade do adsorvente em relação à amostra a ser tratada; (ii) investigação da termodinâmica de adsorção que contribuem para promover tanto a maior resistência a saturação quanto a elevada taxa de regeneração do material (BRIÃO et al., 2020; NERIS et al., 2019). No entanto, para que um material possa ser considerado um bom adsorvente, o mesmo precisa apresentar algumas características, entre as quais: (i) ser hidrofílico, mas não solúvel em água; (ii) possuir grupos funcionais ávidos com elevada densidade eletrônica; (iii) morfologia adequada com uma elevada área superficial e (iv) estrutura flexível a fim de se adequar a configuração para melhor retenção do composto-alvo (MARTIN et al., 2009; HASSAN et al., 2020).

Neste sentido, o presente trabalho busca realizar uma abordagem em relação a constituição lignocelulósica dos bioadsorventes a fim de difundir e incentivar o seu uso e maiores estudos para ser aplicado em processos de tratamento de efluentes. Além disso, pretende-se: (i) realizar um rastreio esquemático visando à elaboração de procedimentos adsortivos; (ii) abordar as principais técnicas de caracterização físico-química para a elucidação estrutural de biomassas lignocelulósicas e (iii) apresentar a aplicabilidade dos procedimentos adsortivos tanto em procedimentos no tratamento de efluentes quanto na (bio) remediação ambiental para retenção de compostos inorgânicos (metais pesados) e compostos orgânicos com atenção especial aos contaminantes de interesse emergente (CIE).

2 | PLANEJAMENTO E AVALIAÇÃO

2.1 Guia no desenvolvimento de procedimentos alternativos de adsorção

Ao adquirir um bioadsorvente, se faz necessário submetê-lo inicialmente a algumas etapas de pré-tratamento que incluem: lavagem, secagem e tamisação visando obter um material particulado homogêneo. Sendo a última etapa um componente de otimização, na qual a capacidade adsortiva é avaliada em função do diâmetro da partícula do material. Essa variável influencia diretamente na área superficial do adsorvente (NERIS et al., 2019; SOARES; ALVES, 2020).

Considerando as inúmeras vias de sequência experimental dedicadas ao preparo do material adsorvente, é apresentado um fluxograma (Figura 1) de uma triagem genérica para a elaboração de um procedimento adsortivo.

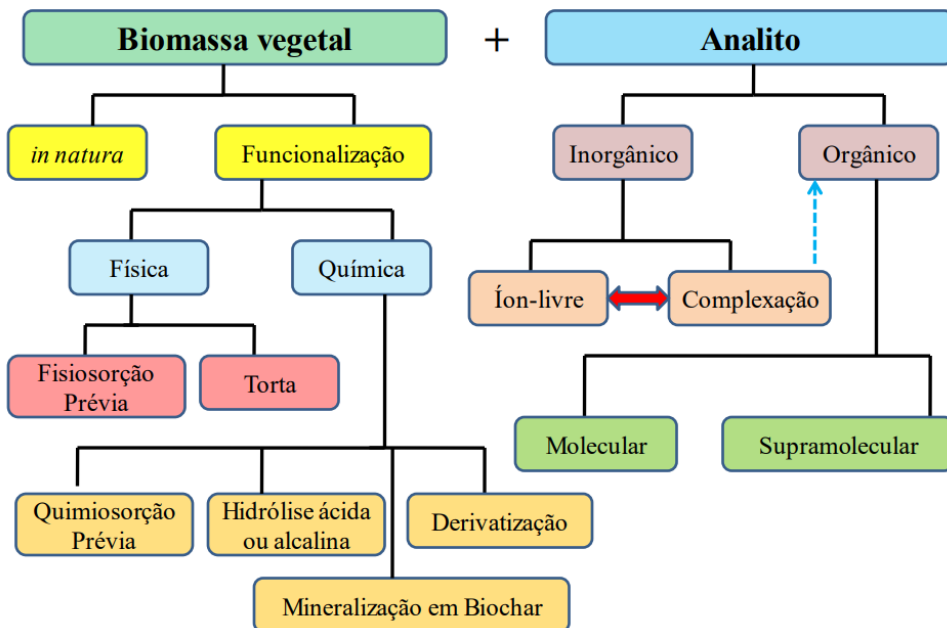


Figura 1: Fluxograma de triagem de procedimentos adsorptivos em materiais lignocelulósicos

Fonte: Os autores (2021).

Ao se utilizar uma biomassa *in natura*, se faz necessário introduzir uma etapa prévia de modificação da estrutura original com o intuito de aprimorar sua capacidade máxima adsorptiva (q_{max}), sendo denominada de funcionalização que pode ser do tipo física ou química. A física preserva a constituição do arranjo lignocelulósico que ocorre pela adsorção física (fisiosorção prévia) de um reagente seletivo ao analito ou de um agente quelante impregnado. Outra forma se constitui no processamento em torta, na qual o adsorvente é submetido a etapas de extração com solvente para remoção de conteúdos oleosos indesejáveis, favorecendo o teor lignocelulósico da biomassa de interesse (NERIS et al., 2019; HASSAN et al., 2020).

A funcionalização química ocorre através da reação efetiva da matriz com um reagente seletivo ao analito (quimiosorção prévia), bem como mineralizado por combustão dando origem a um carvão vegetal (biochar). É muito comum também a manipulação de grupos funcionais através da hidrólise ácida e básica de lipídeos e peptídeos. Essa etapa necessita de um rigoroso controle de pH a fim de proporcionar uma adequada relação de protonação/desprotonação (NERIS et al., 2019; HASSAN et al., 2020).

O processo de derivatização consiste em submeter um material a uma reação com o intuito de converter uma porção de seu conteúdo em um produto ativo na adsorção, sendo este processo útil em materiais com elevada composição de celulose em sua constituição (BRIÃO et al., 2020; SOUZA et al., 2021).

O analito também deve ser considerado quanto a sua natureza química. Os analitos inorgânicos são representados por íons livres solvatados, sendo que a força iônica e o pH são parâmetros fundamentais para controlar mecanismos de interações eletrostáticas de cátions e ânions. No caso de cátions metálicos, sua adsorção pode ser ainda acompanhada mediante complexação com um ligante em uma determinada faixa de pH favorável. Já para os analitos orgânicos, procedimentos adsorptivos são eficientes tanto para moléculas simples quanto para macromoléculas (RECK et al., 2018; QUESADA et al., 2021).

2.2 Caracterização estrutural de materiais lignocelulósicos

A celulose é um polissacarídeo de glicose que assume forma de fibras cristalinas intercalas com regiões amorfas, e é utilizado como principal matéria-prima na indústria de papel. Já a lignina é um polímero amorfo derivado de unidades de fenilpropanóides que se repetem de forma irregular, no qual os aspectos estruturais da lignina ainda não são bem estabelecidos devido à diversidade de arranjos diferentes de uma espécie vegetal para a outra ou dentro da mesma espécie. Logo, a composição da lignina pode ser caracterizada em função de seus principais precursores moleculares: *p*-hidroxifenila (H); guaiacila (G) e siringila (S) (SALIBA, *et al.*, 2001; PORTO et al., 2021).

A estrutura molecular da lignina e celulose (Figura 2) são ricas em grupos hidroxilas alcoólicos e fenólicos que podem estabelecer equilíbrios de desprotonação, resultando no surgimento de cargas positivas e negativas em função do pH do meio, sendo de suma importância monitorar esta variável durante os ensaios de adsorção (RECK et al., 2018; QUESADA et al., 2021).

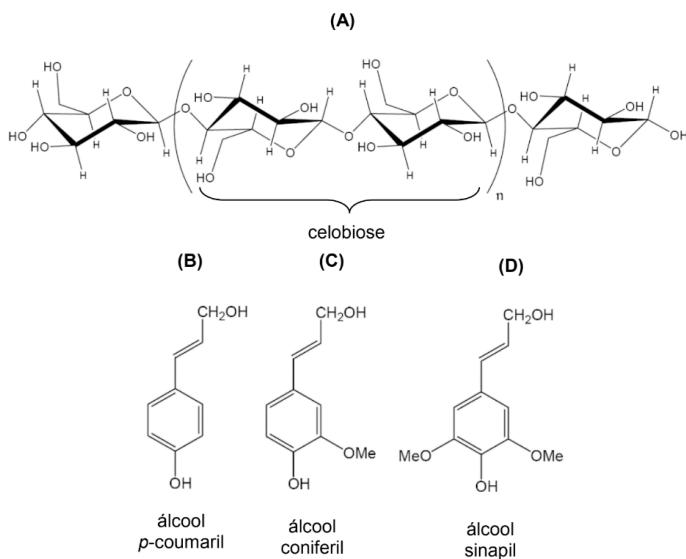


Figura 2: Estrutura molecular do polissacarídeo de celulose (A) e das unidades precursoras da lignina: *p*-hidroxifenila: H(B); guaiacila: G(C) e siringila: S(D).

Fonte: SALIBA et al., 2001.

Nesse contexto, a obtenção do ponto de carga zero (pH_{PCZ}) é útil para delimitar a faixa de pH na qual, interações eletrostáticas entre a superfície do adsorvente ou analito serão favorecidas. Se os resultados sugerirem que o mecanismo de adsorção não é controlado predominantemente por interações eletrostáticas, a obtenção do potencial zeta (ζ), pode corroborar para fornecer informações associadas ao potencial da dupla camada elétrica estabelecida na interface do adsorvente (PANIAGUA et al., 2021; NERIS et al., 2019).

Os grupos funcionais característicos de materiais lignocelulósicos podem ser elucidados (em aspectos qualitativos) através das técnicas de espectroscopia vibracional, tais como a Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR) e a Espectrometria Raman. A primeira apresenta uso mais consolidado, baseando-se da diferença do momento de dipolo entre as ligações covalentes, enquanto que a segunda é mais útil para obter informações a curto alcance (pós-adsorção), baseando-se no espalhamento de radiação (Raman) que influencia no grau de polarizabilidade do grupo funcional (ARAUJO et al., 2013; PORTO et al., 2021).

Um exemplo de aplicação está no trabalho de Araújo e colaboradores (2013) que estudaram as sementes de *Moringa oleifera* (Figura 3A), sendo que este material vêm sendo bastante difundido como um bioadsorvente. Já a Figura 3B ilustra o espectro FT-IR obtido para as sementes *in natura* e funcionalizada com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, bem como os espectros obtidos após adsorção em um efluente sintético contendo íons Cr(III) $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ (ARAUJO et al., 2013).

Os espectros FT-IR das sementes de moringa (Figura 3B) podem ser representativos de materiais lignocelulósicos: A presença de bandas entre $1600\text{--}1210 \text{ cm}^{-1}$ são característicos do estiramento da ligação C-O(H) em esqueletos aromáticos, atribuídos principalmente aos grupos fenólicos que constituem a lignina. Bandas próximas a 1200 cm^{-1} estão relacionadas com as unidades guaiacil, enquanto que bandas próximas a 1300 cm^{-1} correspondem ao estiramento C-O da estrutura siringila. Já as bandas próximas a 1000 cm^{-1} são atribuídas mais especificamente ao grupo de ligações C-O, característicos dos grupos polidroxílicos de álcool, em polissacarídeos (PORTO et al., 2021).

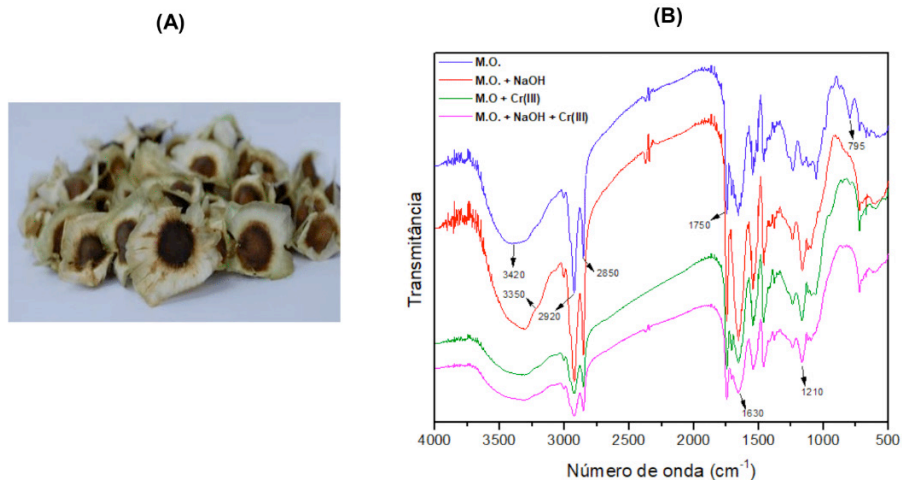


Figura 3: **(A)** Sementes de *Moringa oleifera*: M. O. **(B)** Espectros FTIR obtidos do adsorvente durante o procedimento adsorvivo

Fonte: Os autores (2021).

Além das técnicas de caracterização apresentadas acima, existem outras que podem ser utilizadas de forma conjunta para gerar imagem como a Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X com Energia Dispersiva (MEV-EDXRFs) que demonstra a morfologia superficial, identificando regiões mais susceptíveis à adsorção de um analito inorgânico e podendo correlacionar com os grupos funcionais identificados e disponíveis do material (ARAÚJO et al., 2016; RECK et al., 2018). Outras técnicas tais como a Análise Termogravimétrica (TGA) e a Difração de Raios-X (DRX) contribuem para discutir a identificação do arranjo interno das porções lignocelulósicas em relação à influência das porções lipídicas e protéicas que também podem atuar simultaneamente nos mecanismos de adsorção (ARAÚJO et al., 2016; RECK et al., 2018).

Determinações experimentais da área superficial específica e dimensões de porosidade podem ser obtidas pelo método de Brunauer-Emmet-Teller (BET) e são cruciais para sustentar as propriedades que foram elucidadas anteriormente a partir de outras técnicas de caracterização (NERIS et al., 2019; PORTO et al., 2021).

2.3 Adsorção de metais e estratégias de otimização

Sendo os metais pesados contaminantes inorgânicos, se faz necessário uma verificação da distribuição das diferentes espécies que o analito metálico (M^{n+}) pode assumir em função do pH. O entendimento da espécie que irá predominar em diferentes valores de pH pode ser bastante interessante para desenvolver métodos de especiação

química, visto que as propriedades toxicológicas estão associadas ao estado de oxidação dos metais (AMORIM et al., 2016; ALVES et al., 2017).

Alves e colaboradores (2017) avaliaram a capacidade das sementes de moringa em adsorver seletivamente as espécies As(III) e As(V), possibilitando tanto o tratamento do efluente contaminado quanto a discriminação e detecção das diferentes espécies de As inorgânico. O estudo apontou que em pH 7, a espécie As(III) é predominantemente retida pelo adsorvente, enquanto que a espécie pentavalente não apresenta o mesmo grau de afinidade, sendo grande parte eluída em solução (ALVES et al., 2017). Estudos similares foram realizados para extrair seletivamente espécies de cromo Cr(III) e Cr(VI), utilizando bucha vegetal (SOUSA NETO et al., 2019).

Tratando-se de estratégias de otimização, a adsorção pode ser avaliada mediante obtenção dos valores de q_{max} , em relação aos seguintes parâmetros: (i) pH; (ii) massa do adsorvente; (iii) tamanho de partícula (granulometria) e (iv) tempo de contato. A fim de ampliar o estudo, uma abordagem físico-química pode ser introduzida e associada a: (i) modelos teóricos de cinética; (ii) isotermas; (iii) variação das energias livres de adsorção; e (iv) a temperatura (NERIS et al., 2019).

É importante ressaltar a viabilidade da estratégia de otimização a ser executada. Métodos multivariados baseados em matrizes de planejamentos fatoriais para obtenção de um modelo teórico representativo, é de longe a proposta mais recomendada e vantajosa para pesquisadores, uma vez que informações importantes relacionadas a significância das variáveis e a interdependência entre elas é explorada de forma eficiente e com reduzido número de experimentos. Pesquisadores podem contar com softwares dedicados a modelagem multivariada, e dos quais são facilmente acessíveis, tais como Excel®, Statistica®, MatLab®, dentre outros.

A otimização univariada (um fator de cada vez) é restrita a casos específicos onde se verifica a independência das variáveis, e nesse caso recomenda-se que os ensaios sejam executados na ordem de variáveis que foi proposta anteriormente.

Na Tabela 1 é apresentada uma relação da aplicabilidade de adsorventes naturais lignocelulósicos voltados para remediação de efluentes ambientais contaminados com metais pesados, incluindo amostras de matriz não aquosas como combustíveis.

Análito	Adsorvente	q_{max}	Referência
As(III)	Casca de banana <i>in natura</i> e modificada com tiosemicarbazida	74,627 $\mu\text{g g}^{-1}$	PANIAGUA et al., 2021
Zn(II)	Caroço de açaí	24,69 mg g^{-1}	LIMA et al., 2020
Cd(II)	Palha de café seca <i>in-natura</i>	10,126 mg g^{-1}	SOARES; ALVES, 2020
Pb(II)	Bagaço do carvão de cevada	68,87 mg g^{-1}	ARAÚJO et al., 2020
Mn(II)	Sementes de <i>Moringa oleifera</i>	10,35 mg g^{-1}	CARMO et al., 2019
Pb(II)	Lobeira do cerrado	51,02 mg g^{-1}	ARAÚJO et al., 2018
Ni(II)	Endocarpo de macaúba	2,702 mg g^{-1}	ALTINO et al., 2017
Pb(II)	Polpa de pequi	35,52 mg g^{-1}	AMORIM et al., 2016
Cr(III)	Alga <i>Sargassum filipendula</i>	3,12 meq g^{-1}	SEOLATTO et al., 2014
Cu(II)	Casca de mexerica	2,710 mg g^{-1}	RIBEIRO et al., 2013
Ni(II)	Amêndoas de baru	1,904 mg g^{-1}	MOSQUETTA et al., 2011
Mn(II)	Casca de nós pecã	1,78 mmol g^{-1}	VAGHETTI et al., 2009

Tabela 1: Trabalhos representativos da aplicação de adsorventes naturais na remoção de metais pesados, publicados em periódicos por pesquisadores brasileiros.

2.4 Adsorção de Compostos Orgânicos

Os compostos orgânicos são representados, majoritariamente, pelos CIEs que apresentam uma grande classe de compostos, tais como: (i) fármacos; (ii) pesticidas; (iii) corantes; (iv) fenóis; (v) hormônios; (vi) compostos aromáticos e BTX; (vii) retardantes de chamas; (viii) aromatizantes e conservantes dentre outros (SOBRINHO et al., 2021; VIANCELLI et al., 2020).

A presença de CIEs em matrizes aquáticas se dá em função de vários fatores: (i) aumento do consumo de fármacos em função da automedicação e envelhecimento da população; (ii) crescimento do setor têxtil nos últimos anos e (iii) aumento do uso e diversidade de pesticidas nas lavouras, principalmente culturas destinadas a exportação (VIANCELLI et al., 2020; QUESADA et al., 2021).

Neste sentido, inúmeros estudos vêm sendo realizados no Brasil para uma ampla classe de compostos considerados CIEs, em especial: pesticidas, fármacos e corantes (LESSA; NUNES; FAJARDO, 2018), conforme alguns trabalhos apresentados.

Almeida e colaboradores (2021) avaliaram a eficiência de adsorção da cafeína empregando a casca de açaí (*Euterpe oleracea Mart*) ativada com K_2CO_3 em água desionizada. Nas melhores condições experimentais, o equilíbrio de adsorção foi atingido em 60 min e um $q_{max} = 182,32 \pm 6,65 \text{ mg g}^{-1}$ foi obtido ao se utilizar a concentração de 1000 mg L^{-1} de K_2CO_3 .

Quesada e colaboradores (2021) estudaram a farinha proveniente da planta Chichá do cerrado (*in natura* e ativada com KOH) para o fármaco metformina na presença de interferentes (Cu^{2+} , cafeína, corante black 5 todos 20 mg L^{-1}) em água desionizada a 25°C

e pH 6,5. Os resultados apresentaram uma eficiência de remoção de 99% para todos os compostos da mistura após 20 min de contato ao se empregar a biomassa ativada com KOH a 600 g L⁻¹.

Sobrinho e colaboradores (2021) avaliaram o uso de material orgânica residual (MOR) na remoção do fármaco sulfanilamida nas matrizes de água desionizada e água de rio. Os resultados apresentaram um tempo de equilíbrio de 25 min e um $q_{m\acute{a}x}$ de 11,17 e 117 mg g⁻¹ para o composto-alvo, respectivamente, em água de rio e água desionizada com uma eficiência de remoção acima de 80% e com capacidade de reuso do adsorvente em três ciclos.

Bortoluz e colaboradores (2020) investigaram o uso da serragem de pinheiro (*Pinus elliottii*) para a remoção do corante azul de metileno. O estudo comparou a eficiência da serragem *in natura* e tratada, sendo obtido nas melhores condições otimizadas um $q_{m\acute{a}x}$ = 29,7±0,12 e 35,8±0,56 mg g⁻¹ e uma eficiência de remoção de 59,5±0,5 e 71,6±1,12%, respectivamente.

Hernández-Abreu e colaboradores (2020) avaliaram a eficiência de um material carbonáceo (F-400) para remoção de Bisfenol (BPA) em diferentes matrizes [água desionizada (AD), água de rio (AR), efluente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e água residuária proveniente de efluente hospitalar (AREH)]. Nas melhores condições otimizadas, foram obtidas: $q_{m\acute{a}x}$ = 338, 264, 226 e 200 mg g⁻¹, respectivamente.

Reck e colaboradores (2018) investigaram a eficiência das sementes de Moringa Oleifera (SMO), carvão ativado produzido do Coco de Babaçu (CCB) e a partir de ossos de animais (COA) na remoção do corante tartrazina em água residuária proveniente de efluente de uma indústria de suco (pH 5,0). Nas melhores condições, obteve-se: $q_{m\acute{a}x}$ = 72,08 mg g⁻¹ (SMO), 35,72 mg g⁻¹ (COA) e 31,01 mg g⁻¹ de CCB.

Portanto, se faz necessário a realização de pesquisas que busquem trabalhar com matrizes reais e condições mais próximas as encontradas nos diferentes compartimentos aquáticos em todo o território nacional.

3 | CONCLUSÕES

Os procedimentos de adsorção alternativos vêm contribuindo de forma significativa para o controle da qualidade no tratamento de efluentes no setor industrial, bem como no estabelecimento de propostas vinculadas a preservação ambiental. O planejamento assertivo das etapas que irão compor a implementação de um procedimento de adsorção é crucial para a obtenção de resultados satisfatórios. Procedimentos reversíveis contam a possibilidade de recuperação desses analitos para que possam ser utilizados como reagente de segunda geração, constituindo uma vantagem em relação a métodos destrutivos, como a degradação eletroquímica por exemplo. O fenômeno de transferência de massa de um analito inorgânico e/ou orgânico, suportado em estudos físico-químicos capazes de elucidar

sistematicamente os mecanismos envolvidos, fazem com que a adsorção seja considerada com destaque.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. S. V. et al. Caffeine removal using activated biochar from açai seed (*Euterpe oleracea Mart*): Experimental study and description of adsorbate properties using Density Functional Theory (DFT). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, p. 104891, 2021.

ALTINO, H. O. N. et al. Biosorption optimization of Ni(II) ions on Macauba (*Acrocomia aculeata*) oil extraction residue using fixed-bed column. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, p. 4895-4905, 2017.

AMORIM, D. J. et al. Characterization of pequi (*Caryocar brasiliense*) shells and evaluation of their potential for the adsorption of Pb (II) ions in aqueous systems. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 27, n. 3, p. 616-623, 2016.

ARAÚJO, A. C. C. et al. Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus spp*. **Scientia Florestalis**, v. 44, n. 110, p. 405-414, 2016.

ARAÚJO, C. S. T. et al. Bioremediation of Waters contaminated with heavy metals using *Moringa oleifera* seeds as biosorbent. **Bioremediation**. 16 ed.: Intech Open Science Online Publishers, p. 227-255, 2013.

ARAÚJO, C. S. T. et al. Elucidation of mechanism involved in adsorption of Pb (II) onto lobeira fruit (*Solanumly cocarpum*) using Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms. **Microchemical Journal**, v. 137, p. 348-354, 2018.

ARAÚJO, C. S. T. et al. Uso do carvão de bagaço de cevada (*Hordeumvulgare L.*) para adsorção de Pb(II) em águas. **Revista Mirante**, v. 12, n. 2, p. 181-194, 2020.

ALVES, V. N.; et al. Determination of inorganic arsenic in natural Waters after selective extraction using *Moringa oleifera* seeds. **Ecological Engineering**, v. 106, p. 431-435, 2017.

BORTOLUZ, J. et al Use of low-cost natural waste from the furniture industry for the removal of methylene blue by adsorption: isotherms, kinetics and thermodynamics. **Celulose**, v. 27, p. 6445-6466, 2020.

BRIÃO, G. V. et al. Removal of toxic metals from water using chitosan-based magnetic adsorbents. A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, p. 1145-1168, 2020.

CARMO, S. N. et al. Selective extraction of manganese using *Moringa oleifera* seeds as bioadsorbent. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 6, n. 24, p. 27-37, 2019;

CARVALHO, J. T. T. et al. Nanomodified sugarcane bagasse biosorbent: synthesis, characterization, and application for Cu (II) removal from aqueous medium. **Environmental Science and Pollution Research**, p.1-12, 2020.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização, **Silva Lusitana**, v. 15, p. 103-117, 2007.

HASSAN, M. et al. Critical review of magnetic biosorbents: Their preparation, application, and regeneration for wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v. 702, p. 134893, 2020.

HERNÁNDEZ-ABREU, A. B. et al. Enhanced removal of the endocrine disruptor compound Bisphenol A by adsorption onto green-carbon materials. Effect of real effluents on the adsorption process. **Journal of Environmental Management**, v.266, p. 110604, 2020.

LESSA, E. F.; NUNES, M. L.; FAJARDO, A. R. Chitosan/waste coffee-grounds composite: Na efficient and eco-friendly adsorbent for removal of pharmaceutical contaminants from water. **Carbohydrate Polymers**, v.189, p.257-266, 2018.

LIMA, R. L. et al. Remoção de Cu(II), Zn(II) e Ni(II) utilizando resíduo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) como bissorvente em solução aquosa. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 5, p. 1066-1078, 2020.

MARTIN, A. R. et al. Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade *Agave sisalana*. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, p. 40-46, 2009.

MOSQUETTA, R. et al. Uso de amêndoas de baru (*Dypterixalata*) para remoção de Ni(II) em etanol combustível. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p. 923-927, 2011.

NERIS, J. B. et al. Evaluation of adsorption processes of metal ions in multi-element aqueous systems by lignocellulosic adsorbents applying different isotherms: A critical review. **Chemical Engineering Journal**, v. 357, p. 404-420, 2019.

PANIAGUA, C. E. S. et al. Avaliação da farinha da casca de banana in natura e modificada com tiosemicarbazida na adsorção de As (III) em Diferentes matrizes aquosas. **Revista Virtual de Química (no prelo)**, v. 13, n. 2, 2021.

PORTO, D. S. et al. Evaluation of Lignins of Trunk and Roots from Citrus sinensis L. Osbeck:A Large Available Brazilian Biomass. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, p. 29-39, 2021.

QUESADA, H. B. et al. Evaluation of novel activated carbons from chicha-do-cerrado (*Sterculiastrata St. Hil. et Naud*) fruit shells on metformin adsorption and treatment of a synthetic mixture. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.9, p.104914, 2021.

RECK, I. M. et al. Removal of tartrazine from aqueous solutions using adsorbents based on activated carbon and *Moringa oleifera* seeds. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p.85-97, 2018.

RIBEIRO, G. C. et al. Removal of Cu(II) from ethanol fuel using Mandarin peel as biosorbent. **Bioresources**, v. 8, n. 3, p. 3309-3321, 2013.

SALIBA, E. O. S. et al. Ligninas – Métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, v. 31, n. 5, p. 917-928, 2001.

SEOLATTO, A. A. et al. Biosorption study of Ni²⁺ and Cr³⁺ by *Sargassum filipendula*: Kinetics and equilibrium. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 1, p. 211-227, 2014.

SOARES, M. D. A.; ALVES, V. N. Avaliação do Potencial Adsorptivo da Palha de Café Frente a Íons Metálicos. **Revista Processos Químicos**, v. 14, n. 27, p. 59-66, 2020.

SOBRINHO, G. L. et al., Application of natural organic residue to remove sulfanilamide in an aquatic environment. **Environmental Challenges**, v.2, p.100010, 2021.

SOUSA NETO, J. A. et al. Selective extraction and determination of chromium Concentration using *luffa cylindrica* fibers as sorbent and detection by FAAS. **Journal of Chemistry**, 1679419, 2019.

SOUZA, R. M. et al. Adsorption of non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID) by agro-industrial by-product with chemical and thermal modification: Adsorption studies and mechanism. **Industrial Crops & Products**, v.161, p. 113200, 2021.

VAGHETTI, J. C. P. et al. Pecan nutshell as biosorbent to remove Cu(II), Mn(II) and Pb(II) from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, n. 1, p. 270-280, 2009.

VIANCELLI, A. et al. A review on alternative bioprocesses for removal of emerging contaminants. **Bioprocessand Biosystems Engineering**, v. 43, p. 2117-2129, 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorbância 72, 73, 205, 212, 214

Adsorção 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 121, 127, 184, 186, 189, 190, 191, 192, 196, 201, 204, 205

Adsorvente 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 71, 72, 74, 79, 184, 186, 187, 188, 189, 190, 191

Águas superficiais 208, 209

Ambiente aquático 132, 185, 194

Analito 59, 60, 61, 62, 64, 65

B

Bactérias 128, 130, 136, 142, 146, 209

Bioadsorventes 58, 184, 218

Biocombustíveis 83, 158

Biodegradável 107, 158

Biodiesel 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 173

Biogás 179

Biomassa 59, 65, 82, 83, 84, 86, 87, 92, 119, 120, 121, 123, 124, 128, 160

C

Carbono 7, 13, 16, 21, 30, 40, 54, 83, 210, 212

Celulose 59, 60, 66, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 89, 90, 105, 116, 119, 120, 121, 124, 189

Coagulante 108, 117

Coliformes 116, 141, 142, 143, 145, 146

Condensador 148, 149, 150, 152, 153

Contaminação 26, 69, 215

Contaminantes emergentes 56, 185

Copolímero 13, 14, 20, 38

D

Degradação 65, 85, 127, 182, 194, 195, 197, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216

Densidade 11, 29, 58, 107, 108, 112, 113

Desenvolvimento sustentável 2, 11

Dessorção 196, 201

Destilação 152

Diesel 157, 158, 160, 169, 170, 172, 173, 175, 176, 177, 179

Dióxido de titânio (TiO₂) 210

E

Ecosistema 129, 130

Espectroscopia 54, 61, 83, 86, 90, 184, 196

Estação de tratamento de esgoto (ETE) 65, 218

Estrutura amorfa 82, 83

F

Fármacos 64, 184, 185, 186, 194, 208

Fibras 60, 83, 86, 87, 96

Floculante 105, 106, 107, 110

Fluido 55, 148, 149, 150, 167

Fotoatividade 195, 213

Fotocatalisador 194, 203, 204, 210, 213

Fotocatálise heterogênea 194, 210

G

Granulometria 3, 4, 63, 84, 120, 190, 208, 212, 213, 216

H

Hidrofílico 21, 58

I

Indústria química 148

In natura 14, 59, 61, 64, 65, 67, 69, 71, 73, 74, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 120, 187, 188

L

Lignina 60, 61, 66, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120

M

Mananciais 2, 208

Materiais lignocelulósicos 56, 59, 60, 61, 85, 120

Matéria-prima 2, 83

Matrizes ambientais 183

Meio ambiente 1, 2, 70, 80, 82, 87, 106, 116, 126, 128, 181, 184

Metais 2, 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 69, 70, 127, 130, 138, 186, 210, 218

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) 62, 184, 196, 211, 212

Mineral 70

Mineralização 212, 215

N

Nanomateriais 40

Nanopartículas 184, 186, 187, 188, 192, 194, 195, 197, 212, 213

O

Óleos 13, 14, 16, 17, 20, 22, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 157, 158, 160, 161, 162, 164, 169

Otimização 20, 54, 56, 58, 62, 63, 84, 105, 106, 122, 153, 165, 166, 168, 170

Oxidação 54, 63, 70, 127, 160, 194, 204, 215

P

Patógenos 127, 141, 209

Polímero 14, 60, 96, 106, 107, 112, 119

Polissacarídeos 61

Pré-tratamento 58, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 119, 120, 124, 125, 180, 182, 183, 210

Processos industriais 70, 82, 83

Processos oxidativos avançados 57, 194, 195, 208, 209, 210, 218

R

Radiação 61, 132, 195, 196, 200, 210, 216, 218

Reaproveitamento 1, 3, 12, 56, 126, 136, 138

Recursos hídricos 69, 127, 128

Remediação ambiental 56, 58, 218

Remoção 57, 59, 64, 65, 67, 69, 70, 73, 74, 78, 79, 82, 84, 87, 88, 105, 110, 113, 114, 115, 116, 127, 128, 130, 131, 139, 163, 182, 183, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 201, 216, 218

Renovável 82, 83, 158, 160, 161

Resíduo 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 67, 81, 82

Resistência 1, 2, 7, 9, 10, 11, 14, 25, 58, 82, 118, 119, 122, 123, 124, 208

S

Semicondutor 213

Superfície 21, 61, 78, 79, 84, 110, 115, 130, 131, 132, 133, 143, 149, 186, 187, 188, 190,

196, 197, 204, 205, 211

T

Temperatura 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 17, 31, 63, 84, 95, 96, 98, 111, 112, 119, 120, 127, 136, 143, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 159, 161, 164, 166, 168, 182, 183, 187, 188, 189, 196, 197

Toxicidade 70, 194, 195, 209

Tratamento de efluentes 56, 57, 58, 65, 105, 126, 139, 208

Trocador de calor 148, 149, 152, 153, 154

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021