

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

Prof^a Dr^a 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
Profª 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
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/UFGA
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/UFRP
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. 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

OBTAINING GRAPHENE OXIDE FROM GRAPHITE USING THE HUMMERS METHOD

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 08/03/2021

Dailson José de Queiroz Lima

Centro Universitário das Américas – FAM
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/6624871455964669>

Samantha Amorim Rebollo

Centro Universitário das Américas – FAM
São Paulo - SP

Everton Fabrício Franceschi

Centro Universitário das Américas – FAM
São Paulo - SP

Leonardo Auco Brochetti

Centro Universitário das Américas – FAM
São Paulo - SP

ABSTRACT: Graphene oxide is a very resistant nanomaterial, formed by a 2D structure of carbon atoms connected in the shape of hexagons that resemble honeycombs. Graphene is seen as a basic building block for building other elements. Graphene is derived from graphite; The graphite itself consists of several sheets of carbon atoms arranged over each other. The name graphene was first disclosed in 1987 by S. Mouras and colleagues while studying the graphite layers interspersed with compounds. Currently, graphene is one of the most favorable nanomaterials in studies in the world because of its excellent electrical, thermal, and optical properties. With the exception of diamond,

graphene is part of the base of the entire family of carbon materials. Even with several methods being researched for industrial scale production, there is still a great difficulty, because such methods still need to be improved. The present study will approach the methods of obtaining graphene and reduced graphene oxide from graphite and its wide range of applicability.

KEYWORDS: Graphene. Graphene Oxide. Nanotechnology. Nanomaterial. Graphite.

OBTENÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO A PARTIR DO GRAFITE UTILIZANDO O MÉTODO DE HUMMERS

RESUMO: O óxido de grafeno é um nanomaterial muito resistente, formado por uma estrutura 2D de átomos de carbono ligados em formato de hexágonos que lembram favos de mel. O grafeno é visto como um bloco básico para construção de outros elementos. Grafeno provém do grafite; o grafite em si consiste em várias folhas de átomos de carbonos arranjadas umas sobre as outras. O nome grafeno foi divulgado pela primeira vez em 1987 por S. Mouras e colaboradores, enquanto estudavam as camadas de grafite intercaladas por compostos. Na atualidade, o grafeno é um dos nanomateriais mais favoráveis em estudos no mundo, por conta de suas excelentes propriedades elétricas, térmicas e ópticas. Com exceção do diamante, o grafeno integra a base de toda a família de matérias do carbono. Mesmo com diversos métodos sendo pesquisados para produção em escala industrial, ainda existe uma grande dificuldade, pois tais métodos precisam ainda ser aperfeiçoados. O estudo aqui presente abordará os métodos de obtenção do grafeno e

óxido de grafeno reduzido a partir do grafite e seu amplo leque de aplicabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Grafeno. Óxido de Grafeno. Nanotecnologia. Nanomaterial. Grafite.

1 | INTRODUCTION

The element Carbon is the basis of the DNA of terrestrial life and this makes it indispensable for our existence, both animal and plant. In addition to being one of the most abundant, it can be found in many ways due to the combination of its atoms that form various structures, called allotropes. The most found carbon allotropes are: the Diamond that has its tetrahedral structure formed at high pressure and the Graphite with its structure formed by innumerable layers of carbon atoms.

Graphite is a grayish metallic ore, being the most stable carbon allotrope in STP (standard temperature and pressure). It has a very high electrical and thermal conductivity, being a soft, flexible and low hardness material.

Over the years the studies of graphite have been deepened and along with the advancement of technology it has been possible to carry out the characterization of the material, where the scope of its applicability has been expanded. Studies show that graphite is composed of infinite layers of carbon atoms with sp^2 hybridization, where the carbon bonds with other 3 atoms, forming hexagonal arrangements in a flat structure and the carbon layers are connected together by Van der Waals forces (PAVOSKI, 2014).

In 1947, physicist Philip R. Wallace developed a theoretical study that predicted the properties of a graphite layer, but because it is a two-dimensional structure, it was not possible to prove the study with the technology of the time. This structure was later called Graphene in 1987.

However, the proof of the properties of graphene only came later with the nanotechnological advancement, allowing the isolation of its fragments, the discovery and publication of this fact occurred in 2004 by a research group from the Nanotechnology Center at the University of Manchester led by Mr. André K. Geim and Mr. Konstantin Novoselov. This advance brought such relevance to the scientific community that the professors responsible for the research received the Nobel Prize in Physics in 2010 (MARION; HASAN, 2016). With that, Graphene became known worldwide and its research has multiplied, resulting in several ways to obtain it and with wide applicability.

The ways of obtaining developed in the various studies until today have been categorized into two types of processes, namely, the bottom-up and the top-down. In the bottom-up processes, graphene is obtained through the manipulation of carbon atoms, while in the top-down processes it is obtained by separating the graphite layers, this separation is done by the exfoliation method, which can be mechanical or chemical (PAVOSKI, 2014). This work brings a special focus on the Hummers method.

The incessant interest in the development of research with graphene is due to its

properties that will bring promising applications, capable of replacing less efficient materials and considerably raising the quality of products. However, the biggest difficulty that still exists is the production of graphene on an industrial scale.

The objective of this work is to analyze the method of obtaining graphene oxide, using the Hummers method, to study the material in depth, to correctly define its connection geometries, to understand its applications and through a technical look to note its transformation conditions physicochemical.

2 | LITERATURE REVIEW

2.1 Graphite

Graphite is the most abundant carbon allotrope, although its application as a pencil is the best known, it has several other important industrial applications due to its properties. The first graphite reserves were discovered in the early 14th century in Germany, in an old region called Bavaria, later in the early 15th century another graphite reserve was discovered in England. However, scientific proof that graphite was composed of carbon came only in the late 18th century by chemist Karl Wilhelm Scheele (MORAIS, S/A).

Currently the largest natural reserves of Graphite are located in China, India and Brazil, respectively. Graphite can be in the form of blades, amorphous or crystalline. In graphite, carbon atoms are organized in a hexagonal form (benzene ring) into flat layered structures called graphene, where these structures are stacked on top of each other and connected by Van der Waals forces (weak link). Each carbon atom is linked to three other carbons in the same layer at a distance of 1.415 \AA , this bond has a covalent character (strong bond), the interlayer distance between the graphene layers is 3.354 \AA and the width of each benzene ring is $2,456 \text{ \AA}$ (SOUZA, 2014). Although graphite usually has a hexagonal structure, it can also be found in small proportions in the rhombohedral shape, as shown in figures 1 and 2 below:

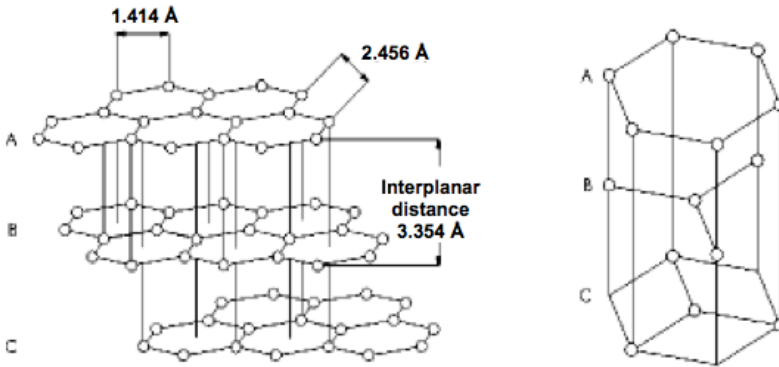


Figure 1 - Diagram of the rhombohedral structure of graphite.

Source: Souza (2014, p. 25).

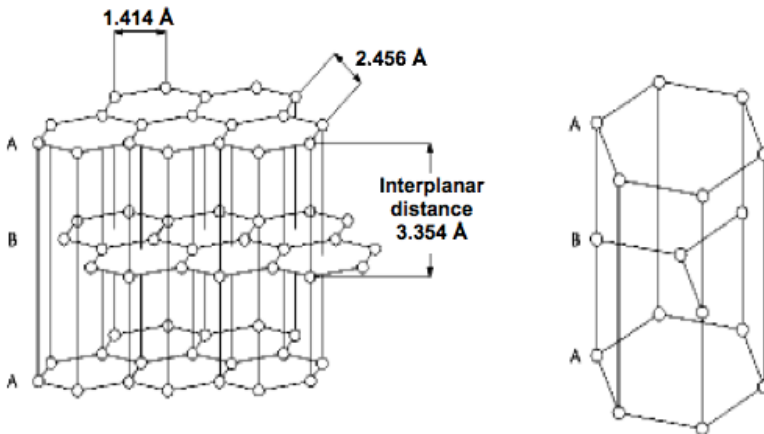


Figure 2 - Diagram of the hexagonal structure of graphite.

Source: Souza (2014, p. 25).

Fundamentally, carbon has an electronic configuration $1s^2 2s^2 2p^2$. The possibility of carbon forming four bonds with up to four other different elements for the formation of its allotropes and other organic compounds, is due to hybridization. In Graphite, this phenomenon causes the electrons to rearrange themselves in the valence layer, which mixes the 2s and 2p orbitals, that is, as these two orbitals have approximate energy levels, it facilitates the promotion of the electron from the 2s orbital to the 2p orbital, forming sp^2 hybridized carbons, shown in Figure 3 (FIM, 2012).

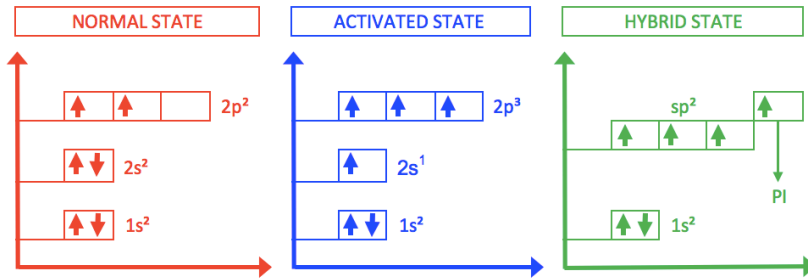


Figure 3 - Carbon sp^2 hybridization process.

Source: Fim (2012, p. 5).

However, this rearrangement of the electrons in the valence shell allows not the sp^2 hybridization, but also the sp and sp^3 hybridization, resulting in several molecular structures. Since the sp configuration forms chain structures, sp^2 forms flat structures and sp^3 forms tetrahedral structures, as shown in figure 4 (FIM, 2012).

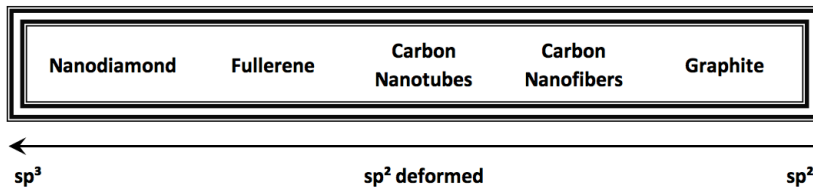


Figure 4 - Hybridization states of carbon allotropes.

Source: Fim (2012, p. 5).

The carbons and their connections in the structural configuration of graphite maintain a 120° angle of the flat trigonal type, characteristic of compounds of graphite and aromatic structure (SOUZA, 2014). As shown in figure 5:

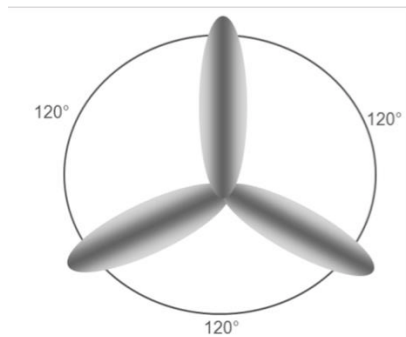


Figure 5 - Flat trigonal type bond σ of the carbon atom.

Source: Souza (2014, p. 21).

The types of bonds between the carbons of a graphene sheet can be seen in figure 6. It is observed that the electrons of the 2p orbitals tend to form π bonds that are considered weak, while the electrons of the sp^2 orbital plane form σ bonds that are considered strong (SOUZA, 2014).

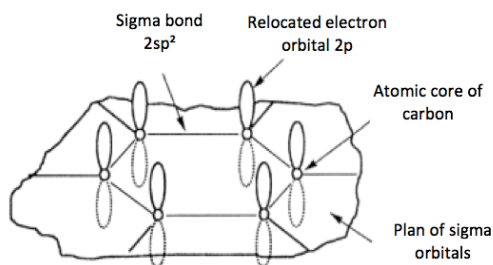


Figure 6 - Illustration of π and σ bonds between carbons in a graphene sheet.

Source: Souza (2014, p. 21).

2.2 Graphene

In 1947, graphene had already been studied by physicist Philip R. Wallace, who predicted properties such as electronic structure and linear dispersion. Later, in 1956, J.W. McClure wrote the wave equation for excitations which was discussed the similarity to the Dirac equation in 1984 by G. W. Semenoff (DUARTE, 2017). But it was only through the work of chemists Ulrich Hofmann and Hanns-Peter Boehm that graphene became real in 1962. And it was Boehm who called the monolayer with the name of graphene, combining the word graphite with the suffix eno (LEAL, 2016).

In 2004, a team of researchers from the University of Manchester led by Mr. Konstantin Novoselov and Mr. Andre Geim was able to extract and study the intrinsic properties of graphene. The extraction was done by the mechanical exfoliation method and the observation was only possible due to the deposition of graphene on silicon substrate with 300 nm of silicon oxide on the top Si/SiO₂/Graphene (LEAL, 2016).

This great discovery impacted the scientific community so much that it resulted in the Nobel Prize in 2010 for the two professors who led the research. The excellent properties of graphene have sparked a certain commercial interest, causing research involving the material to intensify (FIM, 2012).

Graphene is a monolayer composed of carbon atoms with sp² hybridization in a hexagonal shape that resembles honeycombs (Figure 7), in a two-dimensional network. Graphene is considered a 2D crystal due to its atomic structure (LEAL, 2016).

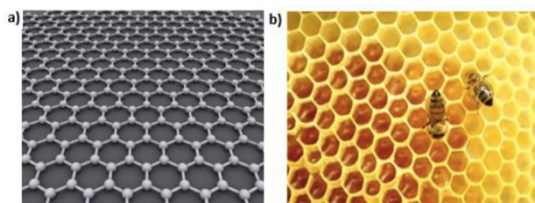


Figure 7 - a) Crystalline structure of graphene; b) Honeycomb of bees.

Source: Leal (2016, p. 42).

From graphene it is possible to obtain other graphitic structures, such as fullerene, which is obtained by folding a sheet of graphene into a spherical shape; carbon nanotubes, which is the folding of a layer of graphene in a one-dimensional tube; and graphite, which is the overlap of several graphene monolayers connected by van de Waals interactions. (LEAL, 2016).

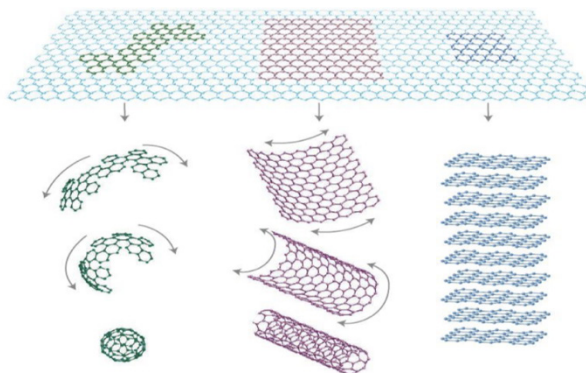


Figure 8 - Graphitic structures formed from graphene. From left to right, fullerene, carbon nanotubes and graphite are observed.

Source: Leal (2016, p. 43).

Due to its superlative properties, graphene is considered one of the most promising materials in innovative technological applications among carbon allotropes (CORDEIRO, 2018), as shown in table 1:

Property	Value	Comparison with other materials
Fracture resistance	42 N.m ⁻¹	More than 100 times higher than steel [47]
Elasticity limit	~20% [48]	
Carrier mobility	2.10 ⁵ cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹	More than 100 times higher than Si [49]
Thermal conductivity	~5.10 ³ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	More than 10 times higher than Cu [50]
Maximum current density	>108 A.cm ⁻²	~100 times higher than Cu [51]
Optical absorption coefficient	2,3%	~ 50 times higher than GaAs [52]

Table 1 - Physical and chemical properties of graphene.

Source: Cordeiro (2018, p. 26).

The hexagonal shape of graphene is generated by the vectors \bar{a}_1 and \bar{a}_2 at an angle of 60° to each other (LIMA, 2010). As below:

$$\vec{a}_1 = \frac{\sqrt{3}a}{2}\hat{x} + \frac{a}{2}\hat{y} \quad \vec{a}_2 = \frac{\sqrt{3}a}{2}\hat{x} - \frac{a}{2}\hat{y}$$

Equation 1 - Vectors \vec{a}_1 and \vec{a}_2 .

Source: Lima (2010, p. 32).

Where: $A=\sqrt{3}a_{cc} = 0,246$ nm, is the graphene network constant; $a_{cc} = 0,142$ nm is the shortest distance between the atoms in the network; \hat{x} e \hat{y} are the unit vectors of base.

The cells represented in the gray area of figure 9, contain two carbon atoms that A and B, shown by the white and black dots, respectively. The reciprocal graphene network is generated by the vectors \vec{b}_1 and \vec{b}_2 that relate to the vectors of the real network \vec{a}_1 and \vec{a}_2 , according to the following equation:

$$\vec{a}_i \cdot \vec{b}_j = 2\pi\delta_{ij}$$

Equation 2 - Relationship between the reciprocal network (\vec{b}_j) and the vectors of the real network (\vec{a}_i).

Source: Lima (2010, p. 32).

Where: δ_{ij} is the Kronecker delta function.

Replacing \vec{a}_1 and \vec{a}_2 of equation 1 in equation 2, the vectors of the reciprocal network \vec{b}_1 and \vec{b}_2 are obtained, forming an angle of 120° to each other, according to equation 3:

$$\vec{b}_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{3}a}\hat{x} + \frac{2\pi}{a}\hat{y} \quad \vec{b}_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{3}a}\hat{x} - \frac{2\pi}{a}\hat{y}$$

Equation 3 - Mathematical representation of reciprocal network vectors.

Source: Lima (2010, p. 32).

The reciprocal network vectors \vec{b}_1 and \vec{b}_2 represented by the gray area in figure 9, define the first Brillouin zone (LIMA, 2010).

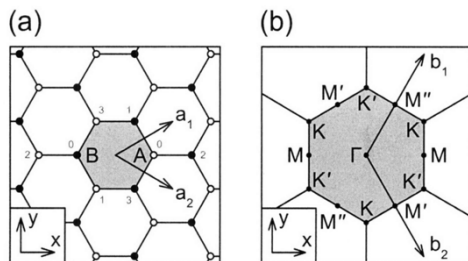


Figure 9 - (a) Real network of graphene, showing the unit cell marked in gray. The white and black dots are, respectively, the two atoms A and B of the unit cell. The two largest arrows are the network vectors \vec{a}_1 and \vec{a}_2 . (b) Reciprocal network of graphene, showing the first Brillouin zone marked in gray. The points Γ , K, K', M, M' and M'' are points of high symmetry. The two largest arrows are the reciprocal network vectors \vec{b}_1 and \vec{b}_2 .

Source: Samsonidze (2007, p. 22).

2.3 Graphene obtaining routes

Graphene can be produced through two types of routes, called bottom-up and top-down processes. In the bottom-up processes, graphene is obtained through the manipulation of carbon atoms (synthesis), while in the top-down processes it is obtained by exfoliating the material, separating the stacked layers of graphite until reaching the desired thickness (CORDEIRO, 2018).

Among the bottom-up processes are: chemical vapour deposition (CVD), epitaxial growth on an insulating substrate such as SiC, CO reduction and arc discharge (PAVOSKI, 2014).

The top-down processes are divided into mechanical exfoliation, where graphene is obtained using manual techniques (adhesive tape), such as those used by professors honored with the Nobel Prize in 2010; and chemical exfoliation, in this second stand out the methods of Hummers, Hofmann, Brodie and Stardenmaier, followed by a thermal or chemical reduction to increase the performance of the material. (PAVOSKI, 2014).

This article deals with a practical study of obtaining graphene oxide using the Hummers method followed by thermal reduction.

3 | METHODOLOGY

3.1 Obtaining graphene oxide by the hummers method

Before starting the oxidation by the modified Hummers method, a pre-oxidation step is necessary.

In the pre-oxidation step, 10g of graphite are weighed and 30 ml of concentrated H_2SO_4 (sulfuric acid) are added, together with 5g of $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (potassium thiosulfate) and 5g of

P_2O_5 (phosphorus pentoxide) while stirring at 80°C for a period of 3 hours. Then, the solution is cooled to room temperature, diluted with distilled water and filtered until the solid reaches neutral pH. Finally, dry the solid in Schlenk under vacuum at room temperature for 48 hours.

In the oxidation step, 3g of the pre-oxidized graphite powder are weighed with 1.5g of NaNO_3 (sodium nitrate), the mixture of solids is placed in 150ml of concentrated H_2SO_4 , stirring at 100 rpm (rotations per minute) in an ice bath for 1 hour. Then, the 8g solution of KMnO_4 (potassium permanganate) is slowly added, leaving it to rest for 2 hours. 90 ml of deionized water are added slowly to the suspension formed at 100 rpm for 12 hours at 95°C . After the 12h period, 30 ml of H_2O_2 (hydrogen peroxide) are added slowly, maintaining agitation for 3 hours at 100 rpm.

At the end, the solution is filtered through a Buchner funnel with a porous plate synthesized with the support of a vacuum pump. The solid is washed with 200 ml of deionized water, 50 ml of HCl 0.5 M (hydrochloric acid) and 100 ml of ethanol, the procedure is repeated 4 times. To increase the pH, wash the solid with deionized water and then place it in the centrifuge. Finally, the oxidized graphite is placed in Schlenk to dry under vacuum for 72 hours at a temperature of 35°C .

3.2 Thermal reduction of graphene oxide

The graphene oxide is placed in a closed ampoule and taken to a kiln, the thermal reduction is carried out at a temperature of 1000°C for 30s, which is the time necessary to observe the expansion.

4 | RESULTS AND DISCUSSIONS

Before proceeding, it is worth mentioning that this work used the data from Giovanni Pavoski's master's dissertation as a source of support for the development of the results presented here.

Although the Hummers method has a lower oxidation power compared to other methods of obtaining graphene oxide, this method is even more advantageous and has been used today because it is less aggressive to the environment and less reactive (PAVOSKI, 2014). For this reason, this method was chosen for this work as a way of studying how to obtain graphene oxide.

For the characterization analyzes, the following equipment was used: Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and X-Ray Diffraction (XRD).

4.1 Graphene oxide ft-ir obtained by the hummers method

The FT-IR technique was used in order to prove that the Hummers Method has the capacity to introduce functional groups in the graphite sheets, the results obtained can be seen below (PAVOSKI, 2014):

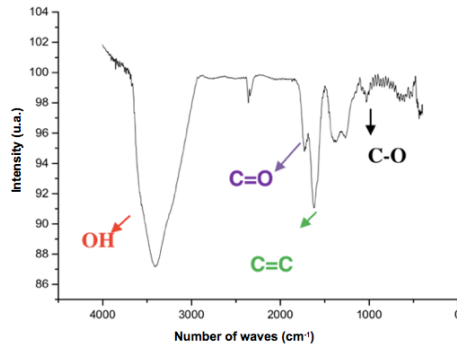


Figure 10 - FT-IR analysis of graphene oxide obtained by the Hummers Method.

Source: Pavoski (2014, p.39).

Analyzing the graph above, it is possible to observe the effectiveness of the Hummers method, since the peaks shown are related to the functional groups hydroxide (-OH 3415 cm^{-1}), carbonyl (C=O 1734 cm^{-1}) and C-O possible epoxy (-O-1020 cm^{-1}) (PAVOSKI, 2014).

4.2 XRD graphene oxide obtained by the hummers method

Next, the diffractograms obtained with the XRD technique for the initial Flake graphite and the graphites oxidized by the Hummers method are observed.

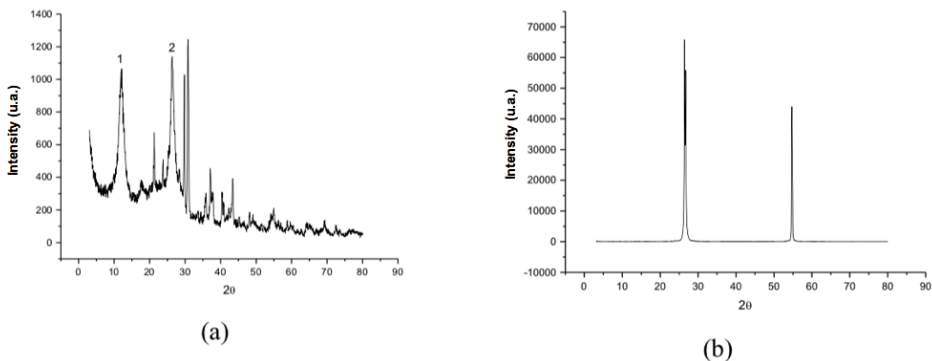


Figure 11 - X-ray diffractogram of the Flake Graphite oxidized by the Hummers method (a) and the initial diffractogram of the Flake Graphite (b).

Source: Pavoski (2014, p.40).

With this XRD diffractogram, it is possible to observe some peaks, where a more effective heterogeneity of the graphene oxide crystals is noticeable, with the possibility of the appearance of other oxidation elements (PAVOSKI, 2014).

Table 2 below presents some relevant data in the characterization of the studied material, in order to prove the effectiveness of the Hummers method:

Graphite	Peak	2 θ	d (nm)	C (nm)	Number of layers	%
FKP^a		26.55	0.335	17	39	100
HFK	1	12.00	0.737	5	6	56
	2	26.39	0.337	8	18	44

^aFKP is the initial flake graphite that hasn't gone through any process.

Table 2 - Results related to XRD graphs with a 3-80 ° scan of graphene oxide obtained by the Hummers method.

Source: Pavoski (2014, p.41).

Where: 2 θ = Angle; d = Interlayer distance (d_{002}) between the graphite sheets; C = The dimension of the crystal; Number of layers = Estimated number of sheets per crystal (calculation made by dividing the size of the crystal by the spacing between the sheets + 0.1 nm = thickness of a graphene sheets); % = Percentages of crystals of different sizes taken from the peak areas of the XRD graphs.

Analyzing the data in table 2, it can be said that the Hummers method can be effective in obtaining graphene oxide, because as shown in peak 1, the interlayer distance increased dramatically and this was only possible due to the introduction of functional groups in nanolamines graphite, obtaining an interlayer distance variation of 0.377 nm at peak 2 to 0.737 nm at peak 1. In addition to the size of the crystals having been reduced in the two peaks, as well as the number of blades. Greater effectiveness of the Hummers method was observed at peak 1.

4.3 Graphen oxide FT-IR thermally reduced

Figure 12 below shows the thermally reduced graphene oxide FT-IR spectrum in a closed ampoule with air:

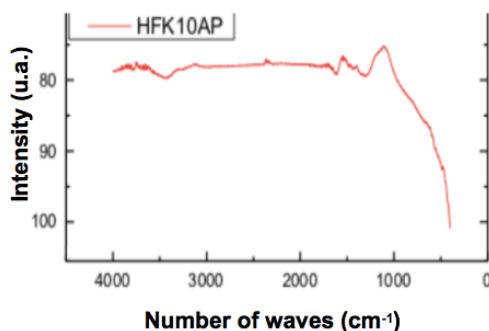


Figure 12 - FT-IR spectra of graphene oxide thermally reduced in closed ampoule with air.

Source: Pavoski (2014, p.78).

The FT-IR technique applied to thermally reduced graphene oxide followed the same patterns as before. Where the characteristic peaks of OH (3300 cm^{-1}) and the elongation of the C-O bond (1064 cm^{-1}) are shown. It is also possible to observe the characteristic peak of C=C graphite materials (1622 cm^{-1}) (PAVOSKI, 2014).

5 | CONCLUSION

The practice of obtaining graphene oxide is new even in the field of modern science and its variants, therefore, the existing studies and theories currently undergo constant adaptations, changes and improvements, as each research and study reveals more information and opens up new possibilities handling and knowledge of this material, which is of great importance for today.

With the study carried out in the described sources and even in the material of Giovanni Pavoski, it is possible to conclude that the way of obtaining graphene oxide by the Hummers method is a method that besides being cheap, presents a favorable yield. Therefore, the factor of using graphite as a raw material makes the process profitable compared to other known processes for obtaining graphene oxide.

It can also be concluded that despite being a relatively new material, graphene oxide has a great potential for applicability in several technological areas, which can bring innumerable innovations and discoveries. Due to the variety of possibilities that this material offers, there are several companies and institutions that carry out research on the most profitable methods of obtaining, aiming at profit, low cost, high yield and less environmental damage.

REFERENCES

ALENCAR, E.; SANTANA, D. **Processos de obtenção do grafeno, suas aplicações e sua importância para o Brasil**. 9 f. Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz, São Paulo, S/A.

CAMALIONTE, A. G.; ROSSI, M. V. Otimização das propriedades do óxido de grafeno empregado como aditivo químico para materiais cimentícios. in: **68ª Reunião Anual da SBPC**, São Paulo, S/A.

CAMARGOS, J. S. F. et al. Características e aplicações do grafeno e do óxido de grafeno e as principais rotas para síntese. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**. V. 03, N. 08, p. 1118-1130, 2017.

CARDOSO, Henrique. **Propriedades Mecânicas e Eletroquímicas de Revestimento Compósito Com Incorporação de Óxido de Grafeno**. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CORDEIRO, G. L. **Síntese e processamento de óxido de grafeno reduzido: abordagens no desenvolvimento de eletrocatalisadores suportados para oxidação de etanol**. 2018. 123 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais). Ipen, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

DOMINGUES, Sergio. **Filmes Finos, Transparentes e Condutores Baseados em Grafeno**. 2013. 118 f. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DUARTE, L. E. R. **Grafeno**. 2017. 17 f. Trabalho (Disciplina Experimental de ciências e tecnologia dos materiais). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

FIM, F. C. **Síntese e propriedades de nanocompósitos de polietileno/nanolâminas de grafeno obtidos através de polimerização in situ**. 2012. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GOMES, M. L. et al. **Síntese e caracterização de óxido de grafeno e/ou grafeno pelo método de oxidação química da grafite visando suas aplicações como materiais nanoestruturados em capacitores eletroquímicos**. 2015. 39 f. Relatório final de Iniciação Científica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Universidade federal de São Paulo, São Paulo, 2015.

GRAFITA. **Portal da Mineração**. Disponível em: <<http://portaldamineracao.com.br/grafita/>>. Acesso em: 07 set. 2019.

JESUS, K. A. et al. **Grafeno: Aplicações e tendências tecnológicas**. 2012. 6 f. Artigo Técnico. Departamento de Processos Orgânicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

LEAL, Nazareno. **Mapeamento da Condutividade de Camadas de Grafeno de Diferentes Espessuras Usando a Microscopia de Força Atômica Condutora e Espectroscopia Raman**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Física). Instituto de Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

LESSA, P. R. **Obtenção de óxido de grafeno e/ou grafeno por oxidação química a partir de fontes alternativas de carbono**. 2017. 31 f. TCC (Graduação em Tecnologia em Processos Químicos). Departamento de Áreas Acadêmicas II, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2017.

LIMA, Igor. **Estudo de monocamadas e bicamadas de grafeno dopadas com metais alcalinos e halogênios via DFT**. 2010. 68 f. Dissertação (Mestrado em Física). Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MARION, B.; HASAN, N. Grafeno: Inovações e sua comercialização. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**. V. 2, N. 1, p. 29-40, 2016.

MORAIS, J. A Grafita - História. **Eletroero**. Disponível em: <<http://www.eletroero.com.br/pdf/a-grafita-historia.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2019.

PAVOSKI, G. **Estudo da obtenção de grafeno a partir de grafite e o seu uso em nanocompósitos poliolefinicos**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SAMPAIO, Tanyse. **Obtenção e Caracterização de Óxido de Grafeno e Óxido de Grafeno Reduzido**. 2017. 38 f. TCC (Bacharel em Engenharia de Materiais). Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

SAMSONIDZE, **Georgii G. Photophysics of Carbon Nanotubes**. 2007. 233 f. Tese (Doutorado em Filosofia em Engenharia Elétrica e Ciências da Computação) Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 2007.

SOUZA, A. R. et al. **Sistema de tratamento de água e esgoto: Grafeno**. 2017. 17 f. Trabalho (Disciplina de Sistemas de Tratamento de Água e Esgoto). Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Paulista, 2017.

SOUZA, N. S. **Síntese e estudo das propriedades físicas de grafite ferromagnético fluido nanoestruturadas**. 2014. 93 f. Tese (Doutorado em Física). Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

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