

A Diversidade de Debates na Pesquisa em Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

A Diversidade de Debates na Pesquisa em Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof^a Dr^a Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernando da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. 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
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
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
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
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 Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 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. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
D618	<p>A diversidade de debates na pesquisa em química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Jéssica Verger Nardeli. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistemas: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-036-0 DOI 10.22533/at.ed.360202105</p> <p>1. Química – Pesquisa – Brasil. 2. Pesquisa – Metodologia. I.Nardeli, Jéssica Verger.</p> <p style="text-align: right;">CDD 540.7</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A coleção “A Diversidade de Debates na Pesquisa em Química 2” é uma obra que tem um conjunto fundamental de conhecimentos direcionados a industriais, pesquisadores, engenheiros, técnicos, acadêmicos e, é claro, estudantes. A coleção abordará de forma categorizada pesquisas que transitam nos vários caminhos da química de forma aplicada, inovadora, contextualizada e didática objetivando a divulgação científica por meio de trabalhos com diferentes funcionalidades que compõem seus capítulos.

O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos relacionados a revestimentos inteligentes – *smart coatings*; técnicas eletroquímicas; modificação de superfície; processo foto-Fenton; dessulfurização adsortiva de diesel; otimização de sensores; contaminantes orgânicos; degradação de compostos; nanotubos de carbono hidrofílicos; oxidação parcial do metano; produção de etanol; tratamento de efluente aquoso; produção de biogás; processo oxidativo avançado; partição de íons metálicos; ensino de polímeros; reutilização de óleo industrial; análise complexométrica de alumínio e modelagem molecular. Em todos esses trabalhos a linha condutora foi o aspecto relacionado à caracterização, aplicação, otimização de procedimentos e metodologias, entre outras abordagens importantes na área de química, ensino e engenharia química. A diversidade de Debates na pesquisa em Química tem sido um fator importante para a contribuição em diferentes áreas.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área de química tecnológica, bacharel e licenciatura. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes metodologias, abordagens, aplicações de processos, caracterização com diferentes técnicas (eletroquímica, microscopia, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier e raios-X) substanciais é muito relevante, assim como abordar temas atuais e de interesse tanto no meio acadêmico como social.

Portanto, esta obra é oportuna e visa fornecer uma infinidade de estudos fundamentados nos resultados experimentais obtidos pelos diversos pesquisadores, professores e acadêmicos que desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática.

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
SMART COATING FOR CORROSION PROTECTION OF ALUMINIUM ALLOYS: GLOBAL AND LOCALIZED STUDY OF ANTI- CORROSION PERFORMANCE	
Jéssica Verger Nardeli Cecílio Sadao Fugivara Fátima Montemor Assis Vicente Benedetti	
DOI 10.22533/at.ed.3602021051	
CAPÍTULO 2	13
FACTORIAL EXPERIMENTAL DESIGN APPLIED FOR OPTIMIZATION OF TARTRAZINE REMOVAL BY PHOTO-FENTON PROCESS USING Cu_2FeSn_4 CATALYST	
Julia da Silveira Salla Vitória Segabinazzi Foletto Jivago Schumacher de Oliveira Gabriela Carvalho Collazzo Evandro Stoffels Mallmann Edson Luiz Foletto	
DOI 10.22533/at.ed.3602021052	
CAPÍTULO 3	23
TRANSFORMACIÓN DE ÁCIDO FERÚLICO CON HONGOS AISLADOS DE BAGAZO DE CAÑA	
Miguel Ávila Jiménez Myriam Gisela Gutiérrez Rueda Julia Aguilar Pliego María del Rocío Cruz Colín María Teresa Castañeda Briones	
DOI 10.22533/at.ed.3602021053	
CAPÍTULO 4	32
APLICAÇÃO DE MATERIAIS MCM-41 E SBA-15 COMO SINTETIZADOS E MODIFICADOS COM ÍONS NÍQUEL E PRATA NA DESSULFURIZAÇÃO ADSORTIVA DE DIESEL	
Clenildo de Longe Rafael Viana Sales Anne Beatriz Figueira Câmara Adriano Santos de Sousa Leila Maria Aguilera Campos Maritza Montoya Urbina Tatiana de Campos Bicudo Luciene Santos de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.3602021054	
CAPÍTULO 5	43
AVALIAÇÃO DO SENSOR BASEADO GRAFENO E COBRE PARA DETECÇÃO DE GLIFOSATO E AMPA	
Sarah Setznagl Ivana Cesarino	
DOI 10.22533/at.ed.3602021055	

CAPÍTULO 6	57
COMPORTAMENTO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS EM SUBSUPERFÍCIE	
Vivian Maria de Arruda Magalhães	
Oswaldo Chiavone Filho	
Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna	
DOI 10.22533/at.ed.3602021056	
CAPÍTULO 7	76
INVESTIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO FENOL EM MEIO AQUOSO UTILIZANDO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E IRRADIAÇÃO SOLAR	
Julia da Silveira Salla	
Humberto Neves Maia de Oliveira	
André Luís Novais Mota	
Cláudio Augusto Oller do Nascimento	
Edson Luiz Foletto	
Oswaldo Chiavone-Filho	
DOI 10.22533/at.ed.3602021057	
CAPÍTULO 8	89
PRODUÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO HIDROFÍLICOS	
Leila Cottet	
Luís Otávio de Brito Benetoli	
Nito Angelo Debacher	
DOI 10.22533/at.ed.3602021058	
CAPÍTULO 9	98
ÓXIDOS DO TIPO PEROVSKITA $Nd_{0,95}FeO_3$ E $Nd_{0,95}CrO_3$ PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE ATRAVÉS DA OXIDAÇÃO PARCIAL DO METANO	
Karina Tamião de Campos Roseno	
Rodrigo Brackmann	
Rita Maria de Brito Alves	
Reinaldo Giudici	
Martin Schmal	
DOI 10.22533/at.ed.3602021059	
CAPÍTULO 10	107
PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO BAGAÇO DE SORGO BIOMASSA	
Cristian Jacques Bolner de Lima	
Charles Nunes de Lima	
Fernanda Maria da Silva Costa	
Érik Ramos da Silva de Oliveira	
Monique Virões Barbosa dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.36020210510	
CAPÍTULO 11	118
UTILIZAÇÃO DAS CINZAS PESADAS DE TERMOELÉTRICA COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON PARA REMOÇÃO DE CORANTE TÊXTIL EM EFLUENTE AQUOSO	
Fernanda Caroline Drumm	
Patrícia Grassi	
Jivago Schumacher de Oliveira	
Julia da Silveira Salla	
Sérgio Luiz Jahn	
Edson Luiz Foletto	
DOI 10.22533/at.ed.36020210511	

CAPÍTULO 12 128

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA SELEÇÃO DE UM CULTIVAR DE SORGO SACARINO NO ESTADO DE MATO GROSSO

Cristian Jacques Bolner de Lima
Fernanda Maria da Silva Costa
Érik Ramos da Silva de Oliveira
Francieli Fernandes
Charles Souza da Silva
Juniele Gonçalves Amador
Monique Virões Barbosa dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.36020210512

CAPÍTULO 13 141

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETE) DA UFRN

Oscar Eduardo Reyes Cavalcanti
Ana Beatriz de Gois Lima
Thalita Gomes Ferreira
Nathalia Souza Teixeira
Rosangela Dala Possa
Leila Maria Aguilera Campos
Maritza Montoya Urbina
Adriano Santos de Sousa
Luciene Santos de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.36020210513

CAPÍTULO 14 154

REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM NAFTALENO: ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS HOMOGÊNEO E HETEROGÊNEO

Vivian Maria de Arruda Magalhães
Gabriela Paupitz Mendes
Rayanne Macêdo Aranha
Oswaldo Chiavone Filho
Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna

DOI 10.22533/at.ed.36020210514

CAPÍTULO 15 170

SISTEMA AQUOSO BIFÁSICO: CONCEITOS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES NA PARTIÇÃO DE ÍONS METÁLICOS

Ednilton Moreira Gama
Roberta Pereira Matos
Guilherme Dias Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.36020210515

CAPÍTULO 16 179

UTILIZAÇÃO DE ANALOGIAS E ATIVIDADES CONTEXTUALIZADAS: UMA PERSPECTIVA DE APRIMORAMENTO DE COMPETÊNCIAS PARA O ENSINO DE POLÍMEROS

Amanda Rebelo de Azevedo
Vinicius Fernandes Moreira

DOI 10.22533/at.ed.36020210516

CAPÍTULO 17 201

PRODUÇÃO DE SABÃO UTILIZANDO ÓLEO RESIDUAL ORIUNDO DE PROCESSAMENTO DE MÁQUINAS DE FRANGO

Gisele Carvalho Conceição
Thayssa Sales Cardoso
Diego Ribeiro Nunes
Ronald Almeida dos Santos
Sérgio Vinicius Machado dos Santos
Emanoel Oliveira de Aviz
Arlesson Pereira da Silva
Ronald Vieira Garcia
Josiney Farias de Araújo
Simonny do Carmo Simões Rolo de Deus
Ricardo Jorge Amorim de Deus
Manolo Cleiton Costa de Freitas
Leandro Marques Correia

DOI 10.22533/at.ed.36020210517

CAPÍTULO 18 221

ANÁLISE COMPLEXOMÉTRICA DE ALUMÍNIO EM ARROZ COZIDO EM PANEAS DE ALUMÍNIO E/OU INOX, EM RESTAURANTES DE SÃO LUÍS – MA

Elis Cristina de Sousa Ferreira
Ricardo Santos Silva
Anna Karolyne Lages Leal
Raissa Soares Penha Ferreira
Maria do Socorro Nahuz Lourenço

DOI 10.22533/at.ed.36020210518

CAPÍTULO 19 231

A PRIMEIRA MODELAGEM MOLECULAR POR HOMOLOGIA DA PROTEÍNA VP4 DO VÍRUS CHANGUINOLA

Bruno Rafael Costa Guimarães
Raul Alexandre Maciel Campos
Jânio di Paula Cavalleiro de Macêdo dos Santos
Adriano Santos da Rocha
Alan Sena Pinheiro
Jorddy Neves Cruz
Sandro Patroca da Silva
Davi Henrique Trindade Amador
Miguel Braga
Renato Araújo da Costa
Elaine Cristina Medeiros da Rocha
João Augusto Pereira da Rocha

DOI 10.22533/at.ed.36020210519

CAPÍTULO 20 249

POESIA COMO SIGNO ARTÍSTICO EM AULAS DE QUÍMICA

Elaine da Silva Ramos
Carlos Eduardo Laburú

DOI 10.22533/at.ed.36020210520

CAPÍTULO 21 261

ALBERTO MAGNO IN CHEMICAL TEACHING: THE COMICS AS A LEARNING METHOD

Ednalva Dantas Rodrigues da Silva Duarte
Ismael Montero Fernández

Cecilia Araujo

DOI 10.22533/at.ed.36020210521

CAPÍTULO 22 269

ESTUDO QUÍMICO DE PINTURAS RUPESTRES DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO TOCA DA BAIXA DO CAJUEIRO POR FRX PORTÁTIL E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO

Maria Conceição Soares Meneses Lage

Wilkins Oliveira de Barros

Iasmin Maria Rodrigues de Sales Vieira

Anibal Gustavo Sousa Oliveira

Andressa Carvalho Lima

Benedito Batista Farias Filho

DOI 10.22533/at.ed.36020210522

SOBRE A ORGANIZADORA..... 281

ÍNDICE REMISSIVO 282

INVESTIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO FENOL EM MEIO AQUOSO UTILIZANDO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E IRRADIAÇÃO SOLAR

Data de aceite: 04/05/2020

Data de submissão: 06/03/2020

Oswaldo Chiavone-Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Engenharia Química

Natal – RN, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/2621516646153655>

Julia da Silveira Salla

Universidade Federal de Santa Maria, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Química
Santa Maria – RS, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0161157740868923>

Humberto Neves Maia de Oliveira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Engenharia Química
Natal – RN, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7302633941782540>

André Luís Novais Mota

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro
de Engenharia
Mossoró – RN, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6655822329418320>

Cláudio Augusto Oller do Nascimento

Universidade de São Paulo, Departamento de
Engenharia Química
São Paulo – SP, Brasil

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/4246000555132285>

Edson Luiz Foletto

Universidade Federal de Santa Maria,
Departamento de Engenharia Química
Santa Maria – RS, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6550340290019699>

RESUMO: Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm sido largamente investigados no tratamento de efluentes industriais e domésticos não-biodegradáveis em função de sua alta capacidade de oxidar compostos orgânicos. Em especial, o processo caracterizado pela combinação de radiação (visível ou UV) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) tem se mostrado promissor no tratamento de efluentes contendo carga orgânica. O presente trabalho investigou a degradação do fenol, um poluente altamente tóxico para a saúde e o meio ambiente, utilizando luz solar e H_2O_2 . Os experimentos de fotodegradação foram realizados em um reator solar parabólico, composto de quatro tubos de quartzo, onde foi analisada a influência dos principais parâmetros da reação: a razão estequiométrica H_2O_2 :Carbono(C), a concentração inicial de fenol em termos de carbono orgânico dissolvido (COD_0) e o pH inicial da solução (pH_0). A degradação do fenol atingiu um máximo de 30,2% de remoção de

COD em 180 min de reação. Entretanto, apesar da baixa eficiência do processo, a análise estatística utilizando a matriz Doehlert mostrou que, trabalhando em $\text{pH}_0 = 3$ ou 6 , os resultados indicaram uma tendência de aumento na remoção de COD no sentido do aumento de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ e da diminuição de COD_0 . Já em $\text{pH}_0 = 9$, uma maior remoção de COD é esperada no sentido da diminuição de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ e do aumento de COD_0 . No entanto, o processo de oxidação UV/ H_2O_2 estudado neste trabalho demonstrou não ser eficiente para a degradação do fenol, como esperado, pois a intensidade de irradiação UV é baixa.

PALAVRAS-CHAVE: Fenol, oxidação, UV/ H_2O_2 , reator solar parabólico, matriz Doehlert.

ABSTRACT: Advanced Oxidative Processes (AOPs) have been extensively investigated for the treatment of non-biodegradable industrial and domestic effluents due to their high capacity to oxidize organic compounds. In particular, the process characterized by the combination of radiation (visible or UV) and hydrogen peroxide (H_2O_2) has been shown to be promising in the treatment of effluents containing organic load. The present work investigated the degradation of phenol, a pollutant highly toxic to health and to the environment, using sunlight and H_2O_2 . The photodegradation experiments were carried out in a parabolic solar reactor, composed of four quartz tubes, where the influence of the main reaction parameters was analyzed: the stoichiometric ratio $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Carbon}$, the initial concentration of phenol in terms of dissolved carbon (COD_0) and the initial solution pH (pH_0). Phenol degradation reached a maximum of 30.2% of Total of Organic Carbon (TOC), or COD removal in 180 min of reaction. Despite the low efficiency of the process, the statistical analysis using the Doehlert matrix demonstrated that, in an initial pH_0 of 3 or 6, the results indicated a tendency to increase the removal of organic carbon dissolved (COD) in the direction of an increase in $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Carbon}$ and a decrease in COD_0 . At $\text{pH}_0 = 9$, a greater COD removal is expected in the course of a decrease in $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Carbon}$ and an increase in COD_0 . However, the studied UV/ H_2O_2 technique demonstrated to be not efficient for the phenol degradation, as expected. This is due to the low intensity of UV irradiation.

KEYWORDS: Phenol, oxidation, UV/ H_2O_2 , parabolic solar reactor, Doehlert matrix.

1 | INTRODUÇÃO

Grandes quantidades de diversificados compostos orgânicos são produzidas diariamente como resultado do grande crescimento da indústria nas últimas décadas (Elmorsi et al., 2010). Muitos destes compostos, tóxicos e/ou recalcitrantes, podem afetar a saúde humana e o equilíbrio do meio ambiente (Bello et al., 2019; Zhang et al., 2019). Dessa forma, a aplicação de técnicas mais avançadas de tratamento de efluentes é necessária. Uma das alternativas estudadas atualmente são os

Processos Oxidativos Avançados (POAs) que utilizam o poder oxidante de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$; $E^0 = 2,8 \text{ V}$), para degradar compostos orgânicos em moléculas menores ou, até mesmo, até CO_2 e H_2O (Miranzadeh et al., 2016; Sreeja e Sosamony, 2016), a chamada mineralização.

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um oxidante ($E^0 = 1,77 \text{ V}$) aplicado, entre outras finalidades, na remoção de baixos níveis de poluentes (Neyens e Baeyens, 2003). O uso individual do H_2O_2 não costuma ser eficiente na oxidação de contaminantes mais complexos e recalcitrantes. Contudo, o emprego do H_2O_2 torna-se mais eficaz quando combinado com fontes de energia capazes de dissociá-lo para gerar radicais $\cdot\text{OH}$. Com a irradiação de UV em comprimentos de onda menores do que 300 nm, o H_2O_2 pode decompor-se e gerar radicais hidroxila (Nagel-Hassemmer et al., 2012).

As vantagens do processo UV/ H_2O_2 podem ser atribuídas ao reagente H_2O_2 ser solúvel em água, não haver limitação de transferência de massa, ser uma fonte efetiva de radicais $\cdot\text{OH}$ e não necessitar de um processo de separação ao final do tratamento (Gogate e Pandit, 2004; Litter, 2005).

Muitos parâmetros podem influenciar a eficiência do processo UV/ H_2O_2 , em particular o pH da solução, a concentração de H_2O_2 e carga orgânica do contaminante são exemplos de fatores fundamentais. Assim, um planejamento experimental pode otimizar todos os parâmetros efetivos juntos e de uma só vez e pode ser empregado para obter a melhor otimização geral de um processo (Elhalil et al., 2016).

Logo, no presente trabalho foi investigada a influência da razão estequiométrica $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$, a concentração inicial de fenol em termos de carbono orgânico dissolvido (COD_0) e o pH inicial da solução (pH_0) na degradação do fenol. Irradiação solar combinada com peróxido de hidrogênio foi também verificada para a remoção do fenol em um reator tubular parabólico (PTC).

2 | METODOLOGIA

Os testes de degradação de fenol através de peróxido de hidrogênio e irradiação solar foram realizados utilizando um PTC, operado em regime batelada, composto por quatro módulos, cada um contendo um tubo de quartzo disposto no eixo central de um refletor parabólico de alumínio. O sistema tubo-refletor foi disposto com uma inclinação de 10° baseado na localização de Natal-RN (latitude $5^\circ 42' \text{S}$; longitude $35^\circ 12' \text{W}$) voltado para a face norte visando maximizar a captação de radiação solar e garantir o preenchimento completo dos tubos durante o escoamento. Mais detalhes construtivos do reator fotoquímico podem ser encontrados em Mota et al. (2018). A solução de fenol (10 L) foi preparada no tanque de recirculação dissolvendo-se em água destilada e monitorada por analisador de carbono orgânico total (TOC), Shimadzu modelo 5000A. Ao longo de cada experimento, foi adicionado

1 L da correspondente solução de peróxido de hidrogênio à vazão de 6 mL min⁻¹ e o pH foi monitorado.

Os testes foram realizados segundo o planejamento experimental de distribuição uniforme, a matriz Doehlert, com o objetivo de explorar os efeitos da razão H₂O₂:C, do pH inicial e do teor de COD inicial (COD₀) na remoção de COD. Os níveis mínimo e máximo dessas variáveis são: H₂O₂:C (X₁) de 0,250 a 1,750, COD₀ (X₂) de 100 mg L⁻¹ a 1000 mg L⁻¹ e pH₀ (X₃) de 3 a 9. O planejamento experimental em termos de variáveis X₁, X₂ e X₃ e as condições em que foram realizados os testes encontram-se na Tabela 1. A matriz compreende 13 testes, 7 deles distribuídos uniformemente segundo os vértices de um hexágono regular com ponto central localizado na origem do sistema de coordenadas X₁ e X₂ e os demais segundo os vértices de dois triângulos localizados acima e abaixo do hexágono, ao longo da coordenada X₃ (Figura 1).

O percentual de remoção de COD após 180 minutos foi calculado pela Equação 1 e a constante de velocidade de remoção de COD (k; min⁻¹) foi calculada baseada na cinética de ordem zero de acordo com a Equação 2. Os resultados de ambos estão apresentados na Tabela 1.

$$\text{remoção \% de COD} = 100 (\text{COD}_0 - \text{COD}_{180}) / \text{COD}_0 \quad (1)$$

$$(\text{COD} - \text{COD}_0) / \text{COD}_0 = -k t \quad (2)$$

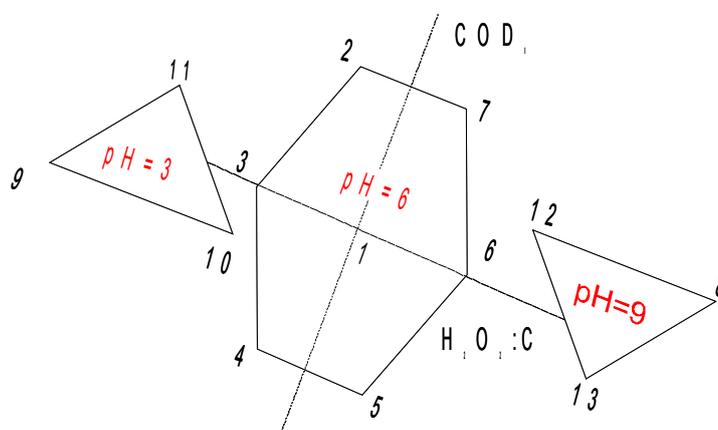


Figura1 – Planejamento Doehlert aplicado aos experimentos de degradação solar do fenol com H₂O₂.

Teste	X ₁	X ₂	X ₃	H ₂ O ₂ :C (a)	COD ₀ nominal (mg L ⁻¹)	pH ₀	COD ₀ real (mg L ⁻¹)	Remoção de COD (%) em 180 min (Y ₁)	k x 10 ⁴ (min ⁻¹)
PH-RN1	0	0	0	1,000	550	6,0	642	16,3	9,84
PH-RN2	-0,5	0,866	0	0,625	1000	6,0	1112	12,6	8,44
PH-RN3	-1	0	0	0,250	550	6,0	628	14,6	7,52
PH-RN4	-0,5	-0,866	0	0,625	100	6,0	105	11,5	5,33
PH-RN5	0,5	-0,866	0	1,375	100	6,0	104	19,1	11,05

PH-RN6	1	0	0	1,750	550	6,0	569	17,6	9,62
PH-RN7	0,5	0,866	0	1,375	1000	6,0	1127	6,7	3,51
PH-RN8	0,5	0,289	0,817	1,375	700	9,0	842	11,5	6,29
PH-RN9	-0,5	-0,289	-0,817	0,625	400	3,0	438	14,5	7,74
PH-RN10	0,5	-0,289	-0,817	1,375	400	3,0	444	30,2	15,14
PH-RN11	0	0,577	-0,817	1,000	850	3,0	804	11,8	6,72
PH-RN12	-0,5	0,289	0,817	0,625	700	9,0	1004	14,7	7,40
PH-RN13	0	-0,577	0,817	1,000	250	9,0	283	11,5	6,25

$H_2O_2:C$ é o fator que multiplica a razão estequiométrica de 2 mols de H_2O_2 para cada mol de Carbono em solução, com base na estequiometria aproximada $C+2H_2O_2 \rightarrow CO_2+2H_2O$.

constante de velocidade da remoção de COD baseada em cinética de ordem zero, Equação 2.

Tabela 1 - Condições experimentais e resultados para o estudo da degradação de fenol em solução aquosa por meio da combinação de irradiação solar e peróxido de hidrogênio em reator PTC.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas de COD/COD_0 em função do tempo obtidas estão apresentadas na Figura 2. Os valores de R^2 (coeficiente de determinação) indicam que o ajuste linear dos dados de COD/COD_0 em função do tempo foi satisfatório para todos os testes, com valor médio $0,932 \pm 0,035$.

De modo geral, os resultados da Tabela 1 demonstram que os valores de remoção de COD são baixos, não ultrapassando 20% na maior parte dos casos analisados. As perdas por evaporação do fenol na temperatura de operação (o efluente pode atingir temperaturas um pouco superiores a 40 °C) podem ser consideradas desprezíveis conforme outros trabalhos realizados com o mesmo reator e poluente modelo (Mota et al., 2018). Desta forma, a redução do fenol está associada à ocorrência de degradação do mesmo. Para haver a dissociação do peróxido de hidrogênio em dois radicais hidroxila (reação 1), que leva à oxidação da matéria orgânica, é necessária uma certa intensidade de energia, que pode ser alcançada pela ação da luz ultravioleta em sua maior intensidade para comprimentos de onda inferiores a 300 nm, uma vez que a absorção de luz para comprimentos de onda maiores do que este valor é pequena (Urey et al., 1929; Neyens e Baeyens, 2003; Litter, 2005). O espectro solar abrange faixas por volta de 300 nm na superfície, porém com baixa irradiância (Wm^2/nm) (Corrêia, 2015). Como foi constatada a degradação do fenol, a dissociação do peróxido de hidrogênio está ocorrendo, uma vez que o peróxido de hidrogênio por si não é capaz de promover a degradação do fenol, conforme constatado por Mota et al., (2018). Dessa forma, a dissociação do peróxido de hidrogênio pode estar ocorrendo pelo

ação da luz solar ou então de forma sinérgica com a temperatura, alcançando os valores de energia necessários para ocorrência da reação.



Os resultados apresentados na figura 2 indicam que o efeito da radiação UV solar sobre a fotólise do H_2O_2 foi insuficiente para gerar uma quantidade de radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$) capaz de degradar satisfatoriamente o fenol.

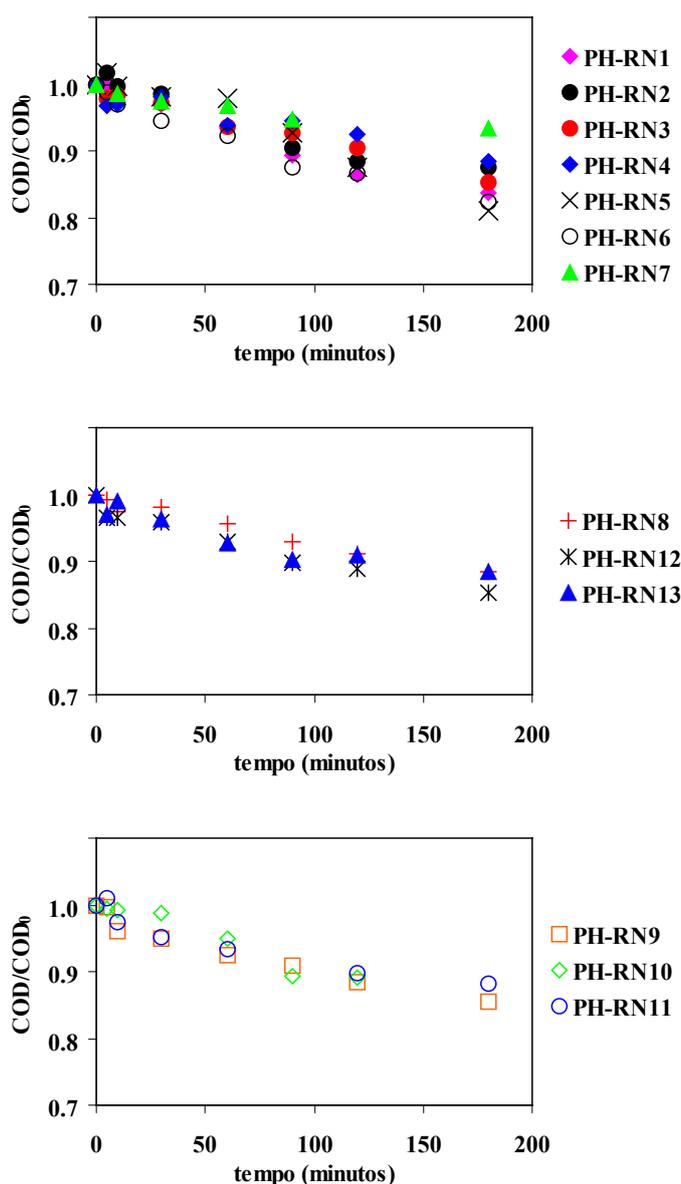


Figura 2 – Evolução do COD/COD₀ com o tempo na degradação solar do fenol com H_2O_2 .

Os testes podem ser comparados segundo o planejamento Doehlert, avaliando-se o efeito do aumento da razão molar de H_2O_2 :C quando COD₀ e pH₀ permanecem constantes. À exceção dos casos PH-RN2 e PH-RN7 (pH₀ = 6), e PH-RN12 e PH-RN8 (pH₀ = 9), a remoção de COD aumentou quando a razão molar de H_2O_2 :C

também aumentou. Isso se deve ao efeito da geração dos radicais de $\cdot\text{OH}$, produzidos durante a fotólise do H_2O_2 , sobre a degradação do fenol, que tende a apresentar melhores resultados quando a concentração de H_2O_2 é maior. Entretanto, quando há excesso, os resultados sugerem uma diminuição na porcentagem de remoção de COD pelo fato do consumo de radicais $\cdot\text{OH}$ pelo próprio H_2O_2 , gerando o radical $\text{HO}_2\cdot$, que é menos reativo.

O efeito do aumento da razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ foi verificado comparando-se os testes PH-RN3 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 0,25$; remoção de 14,6%; $k = 7,52 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$), PH-RN1 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 1,00$; remoção de 16,3%; $k = 9,84 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$), PH-RN6 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 1,75$; remoção de 17,6%; $k = 9,62 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$), PH-RN4 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 0,625$; remoção de 11,5%; $k = 5,33 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$) e PH-RN5 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 1,375$; remoção de 19,1%; $k = 11,05 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$), realizados em pH_0 6. Para os testes realizados em pH_0 9, comparou-se os resultados de PH-RN9 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 0,625$; remoção de 14,5%; $k = 7,74 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$) e PH-RN10 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 1,375$; remoção de 30,2%; $k = 15,14 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$).

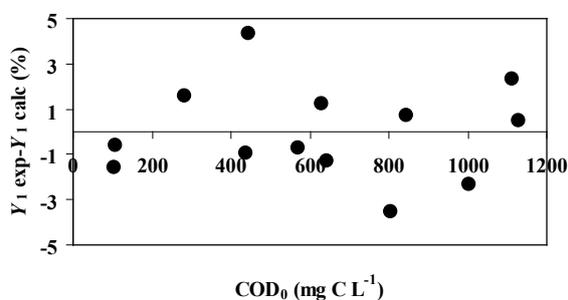
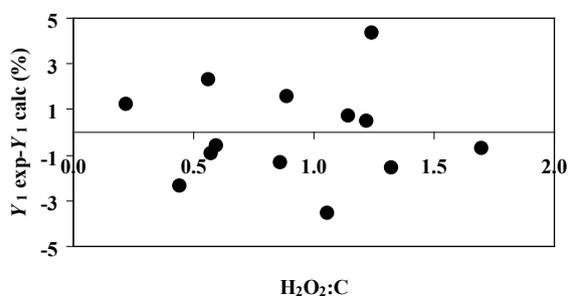
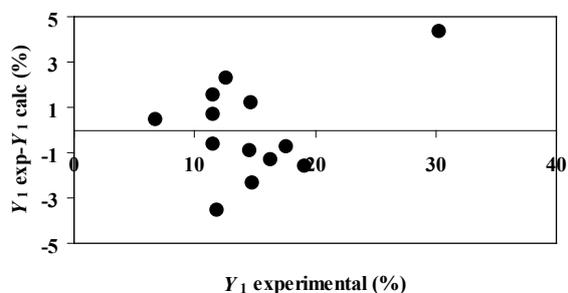
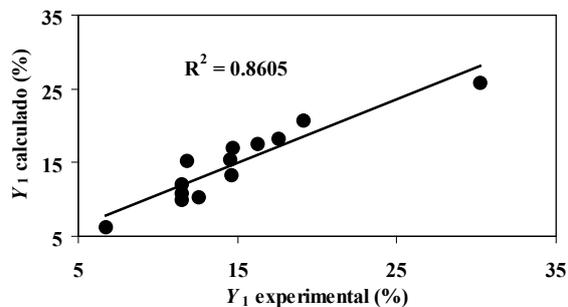
Ao comparar os testes em que a razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ foi mantida constante, realizados em pH_0 6, notou-se um importante efeito de COD_0 sobre a constante de velocidade de remoção, como é o caso do PH-RN4 ($\text{COD}_0 = 100 \text{ mg L}^{-1}$; remoção de 11,5%; $k = 5,33 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$) e PH-RN2 ($\text{COD}_0 = 1000 \text{ mg L}^{-1}$; remoção de 12,6%; $k = 8,44 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$). Para PH-RN5 ($\text{COD}_0 = 100 \text{ mg L}^{-1}$; remoção de 19,1%; $k = 11,05 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$) e PH-RN7 ($\text{COD}_0 = 1000 \text{ mg L}^{-1}$; remoção de 6,7%; $k = 3,51 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$) o efeito é oposto, observando-se diminuição significativa da velocidade de degradação com o aumento de COD_0 . No teste PH-RN7, o excesso de H_2O_2 tornou a degradação do fenol mais lenta e a remoção, ao final de 180 minutos, significativamente menor.

O método dos mínimos quadrados foi utilizado para estimar os valores dos coeficientes do modelo quadrático que melhor descrevem os experimentos de degradação de fenol, em termos das variáveis normalizadas, empregando-se o algoritmo de Marquardt disponível no *software* Statgraphics Plus v. 3.0. Como os valores de COD_0 experimentais diferem dos valores nominais, foi necessário recalcular os valores das variáveis normalizadas X_1 e X_2 com base nos valores de COD_0 reais. Para a remoção de COD (Y_1), obteve-se a Equação 3.

$$Y_1 = 18,73 + 2,59X_1 - 3,44X_2 - 4,99X_3 - 2,88X_1^2 - 5,65X_2^2 - 2,88X_3^2 - 6,91X_1X_2 - 8,60X_1X_3 + 7,50X_2X_3 \quad (3)$$

O coeficiente de determinação $R^2 = 0,861$ indica que o modelo ajustado explica satisfatoriamente a variabilidade dos resultados experimentais em termos da resposta Y_1 , considerados o domínio das condições operacionais e o erro

experimental (Figura 3). Para os resultados utilizados no ajuste, o desvio-padrão dos resíduos absolutos (diferença entre valores observados e os calculados) é igual a 1,18 e o desvio médio absoluto igual a 1,66. A Figura 3 mostra também que os resíduos estão distribuídos aleatoriamente, não sendo observada qualquer tendência, isto é, nenhuma autocorrelação entre seus valores e a resposta Y_1 ou aos valores de razão molar de $H_2O_2:C$, COD_0 e pH_0 .



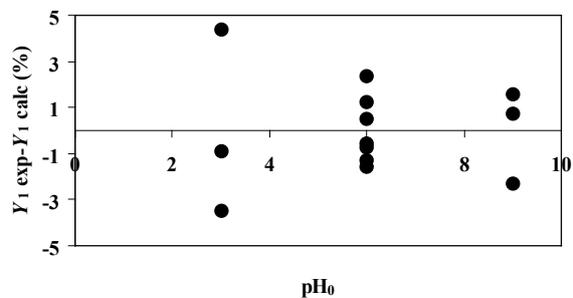


Figura 3 – Comparação entre os valores de Y_1 experimentais e calculados pela Equação 3 na degradação solar do fenol com H_2O_2 ; comparação entre o resíduo ($Y_{1exp} - Y_{1calc}$) e a resposta Y_1 ; e comparação entre o resíduo ($Y_{1exp} - Y_{1calc}$) e as variáveis independentes razão molar de $H_2O_2:C$, COD_0 e pH_0 .

A análise da superfície de resposta obtida para Y_1 em pH_0 3, 6 e 9 está apresentada na Figura 4.

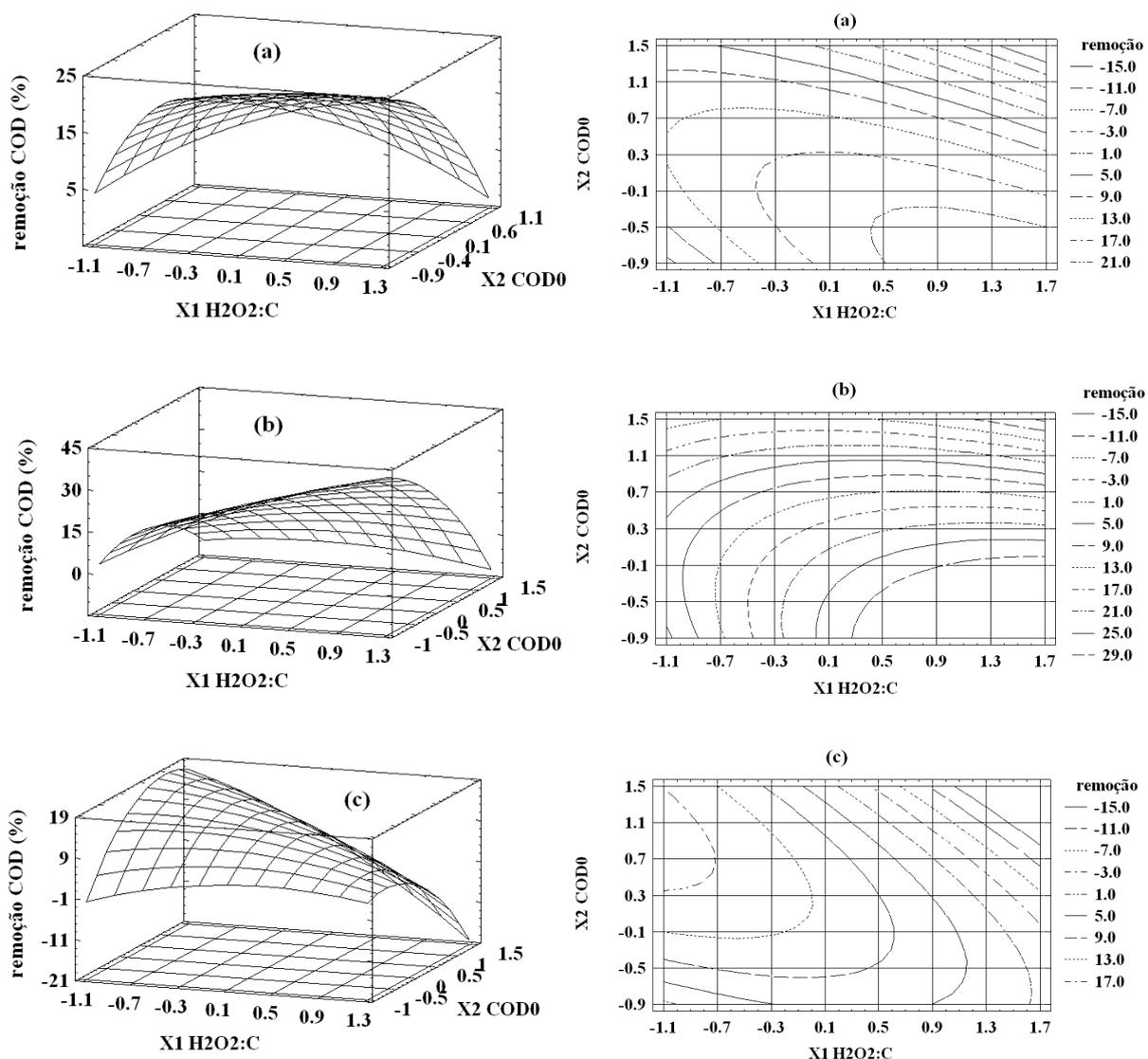


Figura 4 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a remoção de COD (Y_1) via Equação 3 obtida na degradação solar do fenol com H_2O_2 : (a) $pH_0 = 6$ ($X_3 = 0$), (b) $pH_0 = 3$ ($X_3 = -0,817$) e (c) $pH_0 = 9$ ($X_3 = 0,817$).

Para pH_0 6 ($X_3 = 0$, Figura 4(a)) confirma as observações feitas em relação às variáveis razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ e COD_0 , as quais, no domínio experimental estudado, apresentam efeito importante sobre a remoção de COD ao final de 180 minutos de tratamento. O percentual de remoção de COD tende a aumentar com o aumento da razão $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ para COD_0 em seu nível mínimo, alcançando cerca de 23% para razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 1,75$ ($X_1 = 1$). Para COD_0 em seu nível máximo, a remoção atinge cerca de 14% para $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 0,25$ ($X_1 = -1$). É possível que o aumento da concentração de H_2O_2 , necessário para se obter as mesmas razões molares de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ quando COD_0 é significativamente maior, resulte no efeito adverso de competição das espécies orgânicas e do peróxido de hidrogênio pelos radicais hidroxila, retardando a oxidação da matéria orgânica.

A remoção de COD aumenta substancialmente com a diminuição de COD_0 quando $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ é fixada em seu nível máximo, atingindo cerca de 24% para $\text{COD}_0 = 100 \text{ mg L}^{-1}$ ($X_2 = -0,866$). Nesse caso, como a concentração de H_2O_2 é calculada com base na concentração molar inicial de carbono em solução, a redução do COD_0 leva à redução de H_2O_2 proporcionalmente, de modo que a razão permaneça sempre em seu nível máximo ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 1,75$).

Por outro lado, quando a razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ está em seu nível mínimo, a diminuição de COD_0 inicialmente faz com que a remoção de COD aumente, atingindo um máximo, cerca de 13%, em $X_2 = 0,3$ ($\text{COD}_0 = 706 \text{ mg L}^{-1}$). Nesse caso, é possível que não houve H_2O_2 suficiente para a oxidação de todo o fenol presente inicialmente em solução. As curvas de nível associadas indicam uma tendência de aumento na remoção de COD ao final de 180 minutos de tratamento, no sentido do aumento da razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ e da diminuição de COD_0 .

Para pH_0 3 ($X_3 = -0,817$), o comportamento da superfície de resposta (Figura 4(b)) é similar ao discutido em pH_0 6. Assim, para COD_0 em seu nível mínimo, a remoção de COD após 180 minutos de tratamento aumenta com o aumento da razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$, atingindo cerca de 35% para $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C} = 1,75$ ($X_1 = 1$). Para COD_0 máximo, a remoção de COD varia pouco com razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$. Esta é a principal diferença em relação à superfície correspondente a pH_0 6, e pode estar relacionada ao efeito do pH sobre as reações de oxidação do fenol e/ou geração (ou consumo) de radicais hidroxila. Por outro lado, para razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ mínima, a remoção de COD passa por um máximo (cerca de 9%) para $X_2 = -0,25$ ($\text{COD}_0 = 420 \text{ mg L}^{-1}$). Para razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ máxima, a remoção de COD diminui com o aumento de COD_0 . As curvas de nível associadas indicam uma tendência de aumento na remoção de COD no sentido do aumento da razão molar de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$ e da diminuição de COD_0 .

A superfície de resposta para pH_0 9 ($X_3 = 0,817$, Figura 4(c)) mostra tendência diferente da observada nos casos anteriores. Para COD_0 mantido em seu nível

mínimo, a remoção de COD ao final de 180 minutos de tratamento aumenta pouco com a razão molar de $H_2O_2:C$, passando por um máximo em cerca de 8% em $X_1 = 0,25$ ($H_2O_2:C = 1,19$). Quando COD_0 é máximo, a remoção diminui com o aumento da razão molar de $H_2O_2:C$, atingindo cerca de 19,5% para $H_2O_2:C = 0,25$. Por outro lado, quando razão molar de $H_2O_2:C$ está em seu nível mínimo, a remoção de COD aumenta com o aumento de COD_0 , atingindo cerca de 19% para $COD_0 = 1000 \text{ mg L}^{-1}$. Finalmente, para razão molar de $H_2O_2:C$ máxima, a remoção aumenta com o aumento de COD_0 .

As curvas de nível para $pH_0 = 9$ indicam tendência de aumento da remoção de COD no sentido da diminuição da razão molar de $H_2O_2:C$ e aumento de COD_0 . Esse comportamento pode estar relacionado ao efeito do pH sobre o mecanismo das reações envolvidas na foto-oxidação do fenol em solução aquosa, sugerindo que o tratamento de soluções aquosas contendo esse composto em concentrações elevadas (acima de 500 mg L^{-1}) seja feito em pH maiores, quando se emprega o processo H_2O_2/UV em reator PTC. A análise das superfícies de resposta sugere também que, no caso de valores intermediários de COD_0 (550 mg L^{-1}), para razões de $H_2O_2:C$ maiores, o processo H_2O_2/UV solar, em condições de irradiação similares às estudadas, apresenta desempenho melhor quanto à remoção de COD ao final de 180 minutos de tratamento para valores de pH menores.

4 | CONCLUSÕES

A combinação de irradiação solar com H_2O_2 estudada neste trabalho não se mostrou eficiente para a degradação do fenol, alcançando um máximo de 30,2% de remoção de COD em 180 min. A fotólise do H_2O_2 por luz UV não foi suficiente para gerar uma quantidade de radicais $\cdot OH$ capaz de alcançar altas taxas de degradação do contaminante orgânico, como esperado. Por outro lado, o efeito da temperatura pode ter contribuído na degradação solar do fenol em conjunto com o H_2O_2 , como observado por Mota (2010). Um planejamento experimental, utilizando a matriz Doehlert, foi empregado para investigar a influência dos principais parâmetros da reação na remoção de COD: a razão estequiométrica de $H_2O_2:C$, a concentração inicial de fenol em termos de carbono (COD_0) e o pH inicial da solução (pH_0). Apesar da baixa eficiência da reação com H_2O_2 e luz solar, a análise estatística mostrou que, trabalhando em $pH_0 = 3$ ou 6 , os resultados indicaram uma tendência de aumento na remoção de COD no sentido do aumento da razão de $H_2O_2:C$ e da diminuição de COD_0 . Já em $pH_0 = 9$, uma maior remoção de COD é esperada no sentido da diminuição da razão de $H_2O_2:C$ e do aumento de COD_0 .

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq), da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Petrobras.

REFERÊNCIAS

- BELLO, M. M.; RAMAN, A. A. A.; ASGHAR, A. **A review on approaches for addressing the limitations of Fenton oxidation for recalcitrant wastewater treatment.** *Process Safety and Environmental Protection*, v. 126, p. 119-140, 2019.
- CORRÊA, M. P. **Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America.** *An Bras Dermatol*, v. 90(3), P. 297-313, 2015.
- ELHALIL, A.; TOUSANDI, H.; ELMOUBARKI, R.; MAHJoubi, F. Z.; FARNANE, M.; SADIQ, M.; ABDENNOURI, M.; QOURZAL, S.; BARKA, N. **Factorial experimental design for the optimization of catalytic degradation of malachite green dye in aqueous solution by Fenton process.** *Water Resources and Industry*, v. 15, p. 41-48, 2016.
- ELMORSI, T. M.; RIYAD, Y. M.; MOHAMED, Z. H.; ABD EL BARY, H. M. H. **Decolorization of Mordant red 73 azo dye in water using H₂O₂/UV and photo-Fenton treatment.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 174, p. 352-358, 2010.
- GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. **A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods.** *Advances in Environmental Research*, v. 8, p. 553-597, 2004.
- LITTER, M. **Introduction to Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water Treatment.** *The Handbook of Environmental Chemistry*, v. 2, p. 325-366, 2005.
- MIRANZADEH, M. B.; TEHRANI, A. M.; TAVAKOLI, Z.; GILASI, H. **Comparing the efficiency of Fenton and ozonation with Fenton-ozonation process in excess sludge reduction.** *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, v. 25, p. 166-176, 2016.
- MOTA, A. L. N. **Desenvolvimento de um sistema foto-oxidativo visando aplicação no tratamento de águas produzidas em campos de petróleo.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, 2010.
- MOTA, A. L. N.; LOPES NETO, L. G.; FOLETTTO, E. L.; CHIAVONE-FILHO, O.; NASCIMENTO, C. A. O. **Analysis of solar and artificial UVA irradiations on the photo-Fenton treatment of phenolic effluent and oilfield produced water.** *Chemical Engineering Communications*, v. 205, n. 11, p. 1594-1603, 2018.
- NAGEL-HASSEMER, M. E.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R.; AMORIM, M. T. S. P. **Processo UV/H₂O₂ como pós-tratamento para remoção de cor e polimento final em efluentes têxteis.** *Química Nova*, v. 35, n. 5, 2012.
- NEYENS, E.; BAEYENS, J. **A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique.** *Journal of Hazardous Materials B*, v. 98, p. 33-50, 2003.
- SREEJA, P. H.; SOSAMONY, K. J. **A comparative study of homogeneous and heterogeneous photo-Fenton process for textile wastewater treatment.** *Procedia Technology*, v. 24, p. 217-223, 2016.

UREY, H. C.; DAWSEY, L. H.; RICE, F. O. **The absorption spectrum and decomposition of hydrogen peroxide by light.** J. Am. Chem. Soc., 51, 5, 1371-1383, 1929.

ZHANG, M.; DONG, H.; ZHAO, L.; WANG, D.; MENG, D. **A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective.** Science of the Total Environment, v. 670, p. 110-121, 2019.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AA2024 alloy 1, 6, 7
Adsorção de compostos 32, 36
Advanced Oxidation Processes 14, 87, 155
Aluminum alloy 4, 8, 12
Amplitude de pulso 50, 51, 52, 53, 54
Anti-corrosion performance 4, 7

B

Biocombustível 129
Biodigestor 142, 143, 144
Bioetanol 107, 115, 129, 139
Biogás 141, 142, 143, 144, 145, 146, 150, 151, 152
Biotransformation 24, 30

C

Chemistry Teaching 250, 261, 262
Cinza volante 118
Combustíveis fósseis 33, 99, 143
Complexometria 221, 222, 224
Compostos sulfurados 32, 33, 36, 39
Contaminantes orgânicos 57, 63, 69, 125, 157
Corrosion protection 1, 2, 12

D

Decolorization 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 87
Diagrama de fase 172, 173, 174

E

Electrochemical Impedance Spectroscopy 1, 5, 7, 8, 281
Energias renováveis 129, 143
Espectroscopia fotoeletrônica de raios X 32, 36, 41

F

Ferulic acid 24, 30, 31

G

Geoquímica de Contaminantes 69

Glifosato 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 53, 54, 55, 56

Grafeno 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54

H

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos 57, 60, 63, 154, 155, 156

I

Isotermas de adsorção-dessorção 32, 36, 38

L

Localized impedance 1, 2

M

Materiais mesoestruturados 37

Mecanismos de partição 57, 69

N

Nanotubos de carbono hidrofílicos 89, 96

Negro de carbono 89, 90

O

Óleo Residual 201, 202, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216, 219, 220

Open circuit potential 1, 5, 7

Oxidação parcial do metano 98

P

Perfil cinético 113, 114, 135, 136, 137

Perovskita 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105

Persulfato 154, 155, 157, 158, 159, 160, 164, 165

Photocatalytic efficacy 14

Photo-fenton process 13, 22

Polymer coating 3

Processo oxidativo avançado 155

Processos enzimáticos 107

R

Reaction 3, 9, 14, 16, 19, 77, 99, 106, 119, 126, 169, 202

Reator solar 76, 77

Reforma do metano 99

S

Saponificação 202, 203, 204, 207, 209, 215, 216, 217, 219

Scanning Electron Microscopy 4, 281

Self-healing mechanism 3

Semiologia 249, 251, 259

Sensor eletroquímico 43

Sistema Aquoso Bifásico 170, 172, 177

Smart coating 1, 2, 9, 281

T

Teaching strategies 261

Toxicidade 46, 57, 65, 154, 156, 176, 222

V

Voltametria 43, 46, 47, 49

 **Atena**
Editora

2 0 2 0