

# 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> 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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
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>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021051</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021052</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021053</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021054</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>43</b>
AVALIAÇÃO DO SENSOR BASEADO GRAFENO E COBRE PARA DETECÇÃO DE GLIFOSATO E AMPA	
Sarah Setznagl Ivana Cesarino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021055</b>	



<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>57</b>
COMPORTAMENTO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS EM SUBSUPERFÍCIE	
Vivian Maria de Arruda Magalhães	
Oswaldo Chiavone Filho	
Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021056</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>76</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021057</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>89</b>
PRODUÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO HIDROFÍLICOS	
Leila Cottet	
Luís Otávio de Brito Benetoli	
Nito Angelo Debacher	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021058</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>98</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3602021059</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>107</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.36020210510</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>118</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.36020210511</b>	

**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  $\text{COD}_0$ . 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  $\text{COD}_0$ . No entanto, o processo de oxidação UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  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/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , 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 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 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  $\text{H}_2\text{O}_2$ . 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 ( $\text{COD}_0$ ) and the initial solution pH ( $\text{pH}_0$ ). 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  $\text{pH}_0$  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  $\text{COD}_0$ . 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  $\text{COD}_0$ . However, the studied UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  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/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (Miranzadeh et al., 2016; Sreeja e Sosamony, 2016), a chamada mineralização.

O peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 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  $\text{H}_2\text{O}_2$  não costuma ser eficiente na oxidação de contaminantes mais complexos e recalcitrantes. Contudo, o emprego do  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{H}_2\text{O}_2$  pode decompor-se e gerar radicais hidroxila (Nagel-Hassemer et al., 2012).

As vantagens do processo UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  podem ser atribuídas ao reagente  $\text{H}_2\text{O}_2$  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/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , em particular o pH da solução, a concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  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 ( $\text{COD}_0$ ) e o pH inicial da solução ( $\text{pH}_0$ ) 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  $10^\circ$  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<sup>-1</sup> 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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:C, do pH inicial e do teor de COD inicial (COD<sub>0</sub>) na remoção de COD. Os níveis mínimo e máximo dessas variáveis são: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:C (X<sub>1</sub>) de 0,250 a 1,750, COD<sub>0</sub> (X<sub>2</sub>) de 100 mg L<sup>-1</sup> a 1000 mg L<sup>-1</sup> e pH<sub>0</sub> (X<sub>3</sub>) de 3 a 9. O planejamento experimental em termos de variáveis X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> e X<sub>3</sub> 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 X<sub>1</sub> e X<sub>2</sub> e os demais segundo os vértices de dois triângulos localizados acima e abaixo do hexágono, ao longo da coordenada X<sub>3</sub> (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<sup>-1</sup>) foi calculada baseada na cinética de ordem zero de acordo com a Equação 2. Os resultados de ambos estão apresentados na Tabela 1.

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

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

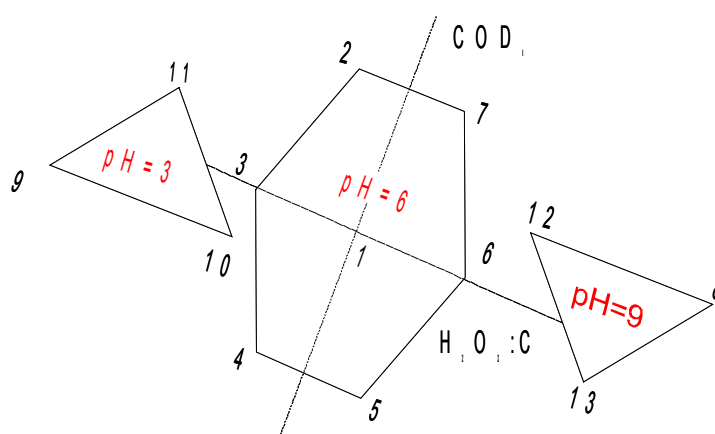


Figura 1 – Planejamento Doehlert aplicado aos experimentos de degradação solar do fenol com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Teste	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :C (a)	COD <sub>0</sub> nominal (mg L <sup>-1</sup> )	pH <sub>0</sub>	COD <sub>0</sub> real (mg L <sup>-1</sup> )	Remoção de COD (%) em 180 min (Y <sub>1</sub> )	k x 10 <sup>4</sup> (min <sup>-1</sup> )
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  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi insuficiente para gerar uma quantidade de radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ) capaz de degradar satisfatoriamente o fenol.

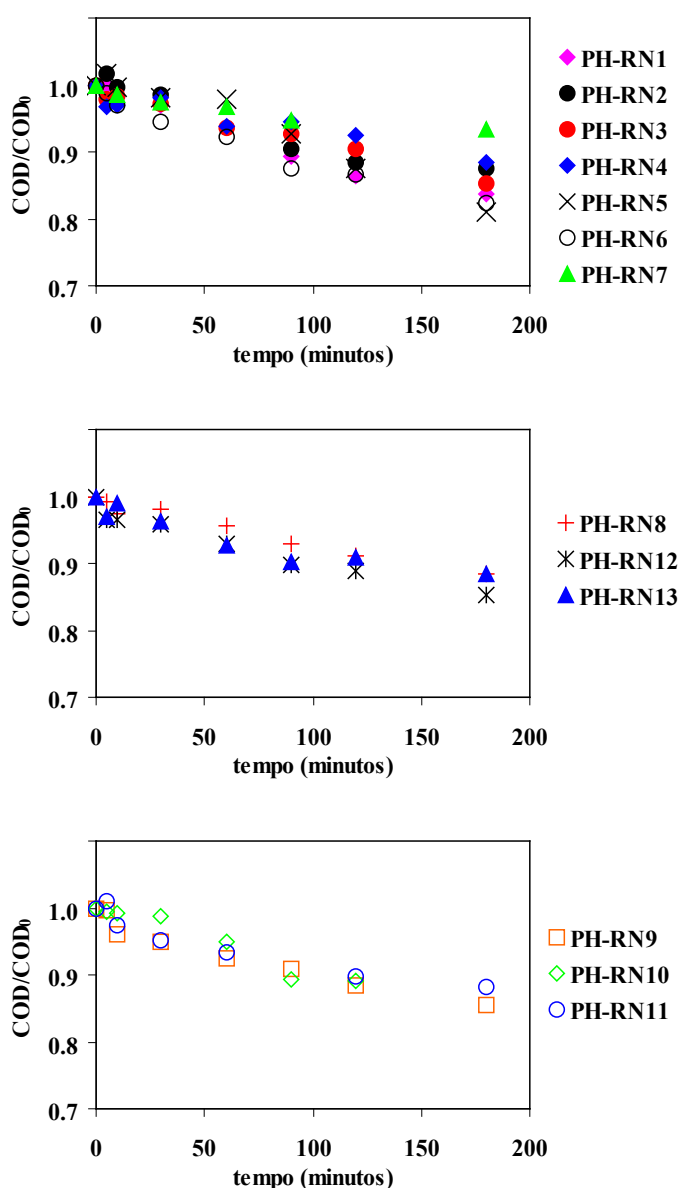


Figura 2 – Evolução do COD/COD<sub>0</sub> com o tempo na degradação solar do fenol com  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Os testes podem ser comparados segundo o planejamento Doehlert, avaliando-se o efeito do aumento da razão molar de  $\text{H}_2\text{O}_2$ :C quando COD<sub>0</sub> e pH<sub>0</sub> permanecem constantes. À exceção dos casos PH-RN2 e PH-RN7 (pH<sub>0</sub> = 6), e PH-RN12 e PH-RN8 (pH<sub>0</sub> = 9), a remoção de COD aumentou quando a razão molar de  $\text{H}_2\text{O}_2$ :C

também aumentou. Isso se deve ao efeito da geração dos radicais de  $\cdot\text{OH}$ , produzidos durante a fotólise do  $\text{H}_2\text{O}_2$ , sobre a degradação do fenol, que tende a apresentar melhores resultados quando a concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 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  $\text{pH}_0$  6. Para os testes realizados em  $\text{pH}_0$  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%;  $k = 15,14 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$ ).

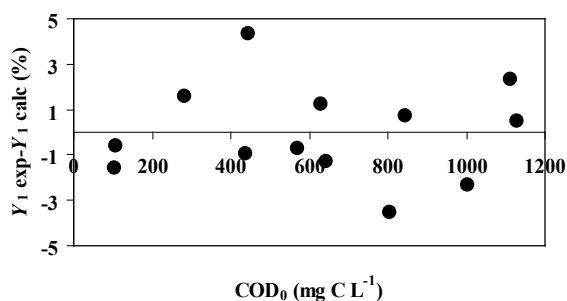
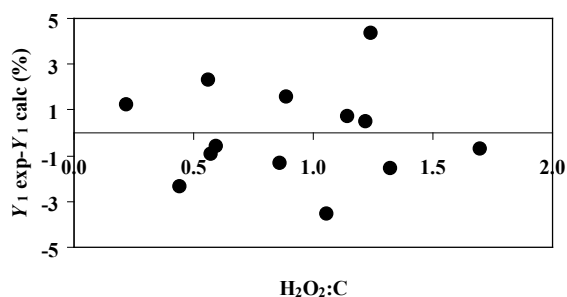
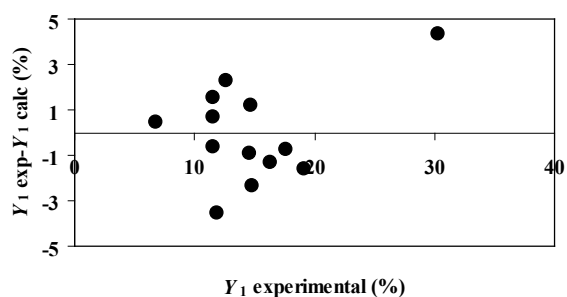
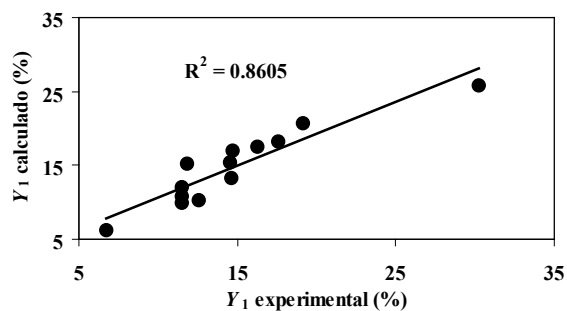
Ao comparar os testes em que a razão molar de  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$  foi mantida constante, realizados em  $\text{pH}_0$  6, notou-se um importante efeito de  $\text{COD}_0$  sobre a constante de velocidade de remoção, como é o caso do PH-RN4 ( $\text{COD}_0 = 100 \text{ mg L}^{-1}$ ; remoção 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  $\text{COD}_0$ . No teste PH-RN7, o excesso de  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{COD}_0$  experimentais diferem dos valores nominais, foi necessário recalcular os valores das variáveis normalizadas  $X_1$  e  $X_2$  com base nos valores de  $\text{COD}_0$  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  $pH_0$ .





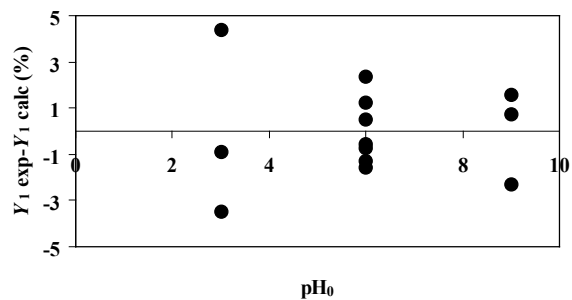


Figura 3 – Comparação entre os valores de  $Y_1$  experimentais e calculados pela Equação 3 na degradação solar do fenol com  $H_2O_2$ ; comparação entre o resíduo ( $Y_{1exp} - Y_{1calc}$ ) e a resposta  $Y_1$ ; e comparação entre o resíduo ( $Y_{1exp} - Y_{1calc}$ ) e as variáveis independentes razão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

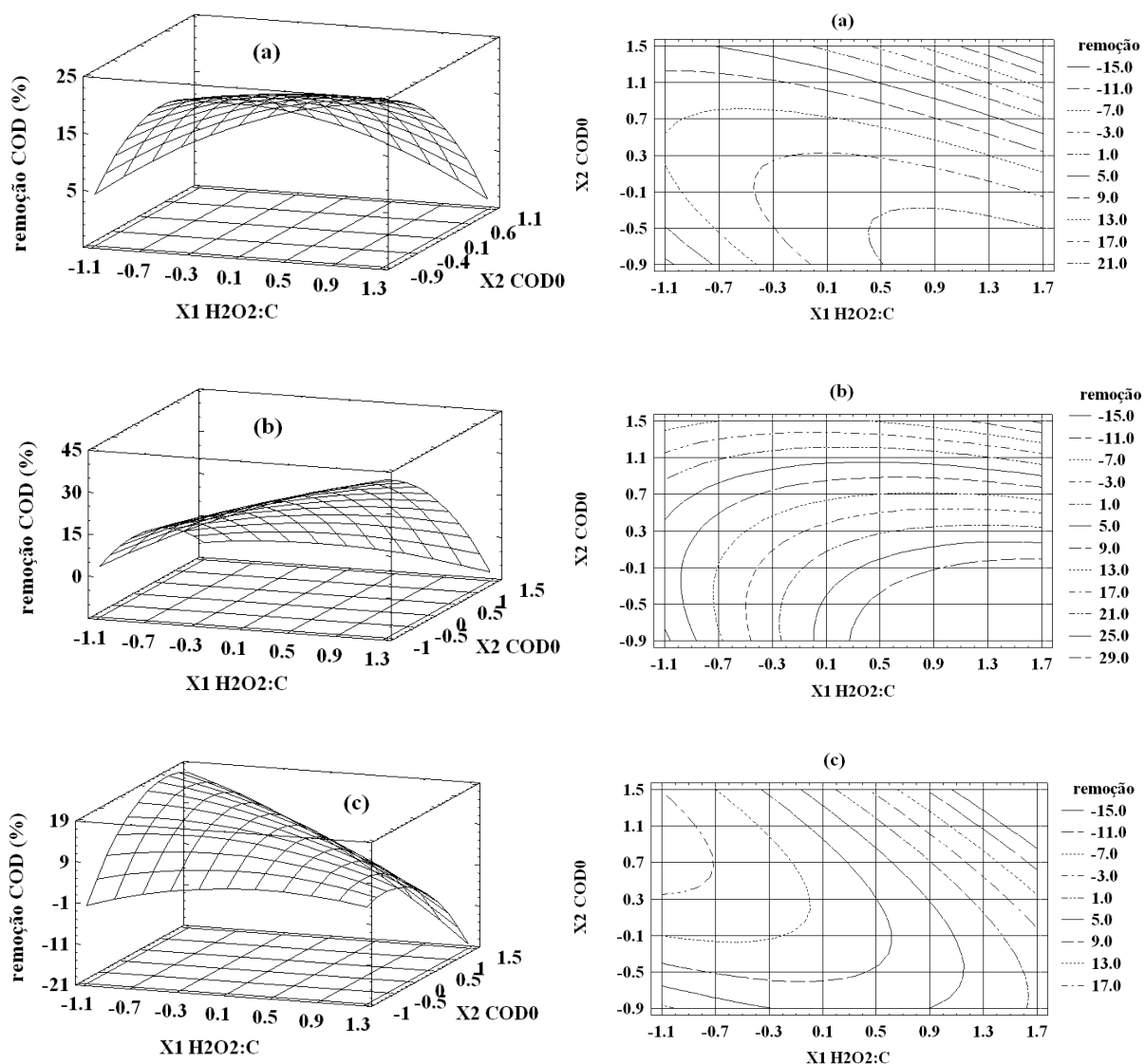


Figura 4 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a remoção de COD ( $Y_1$ ) via Equação 3 obtida na degradação solar do fenol com  $H_2O_2$ : (a)  $pH_0 = 6$  ( $X_3 = 0$ ), (b)  $pH_0 = 3$  ( $X_3 = -0,817$ ) e (c)  $pH_0 = 9$  ( $X_3 = 0,817$ ).

Para  $\text{pH}_0$  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  $\text{COD}_0$ , 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  $\text{COD}_0$  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  $\text{COD}_0$  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  $\text{H}_2\text{O}_2$ , necessário para se obter as mesmas razões molares de  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{C}$  quando  $\text{COD}_0$  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  $\text{COD}_0$  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  $\text{H}_2\text{O}_2$  é calculada com base na concentração molar inicial de carbono em solução, a redução do  $\text{COD}_0$  leva à redução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{COD}_0$  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  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{COD}_0$ .

Para  $\text{pH}_0$  3 ( $X_3 = -0,817$ ), o comportamento da superfície de resposta (Figura 4(b)) é similar ao discutido em  $\text{pH}_0$  6. Assim, para  $\text{COD}_0$  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  $\text{COD}_0$  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  $\text{pH}_0$  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  $\text{COD}_0$ . 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  $\text{COD}_0$ .

A superfície de resposta para  $\text{pH}_0$  9 ( $X_3 = 0,817$ , Figura 4(c)) mostra tendência diferente da observada nos casos anteriores. Para  $\text{COD}_0$  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  $500 \text{ mg L}^{-1}$ ) 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  $COD_0$  ( $550 \text{ mg L}^{-1}$ ), 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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/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/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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**