



**Impactos das  
Tecnologias na  
Engenharia Química 3**

---

**Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)**

**Atena**  
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Natália Sandrini e Lorena Prestes

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
134	Impactos das tecnologias na engenharia química 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 3)  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-231-9 DOI 10.22533/at.ed.319190104  1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série.  CDD 660.76
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

2019

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

O acentuado crescimento da população mundial, bem como a ânsia de melhor nível de vida, têm criado elevadas pressões sobre os recursos naturais, matérias-primas, o solo, a água, o ar e os ecossistemas em geral. A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas.

A indústria química tem contribuído para a geração de efluentes líquidos e gasosos contendo substâncias tóxicas, bem como de resíduos sólidos perigosos que, lançados diretamente ou indiretamente sem qualquer tratamento no meio ambiente, podem provocar grandes desequilíbrios ecológicos. O uso intensivo de produtos químicos, se por um lado trouxe elevados benefícios aos padrões de vida, por outro lado, os níveis de poluição que estão associados à sua produção são por vezes muito elevados.

As novas tecnologias na Engenharia Química auxiliam nos processos de recuperação e reutilização de resíduos, assim como conversão em novas fontes de energia. Além das diversas formas de obtenção de energia renovável já existente, cada vez mais vem surgindo uma maior procura por outras formas de energia não poluentes. Essas razões são as mais motivacionais: a ideia de uma possível escassez de recursos fósseis, a tentativa de reduzir as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que causam o efeito estufa, e, além disso, almeja se alcançar certa independência em relação petróleo.

As questões energéticas são extremamente importantes para a sustentabilidade das sociedades modernas, uma vez que a sobrevivência humana depende do fornecimento contínuo de energia. Esse cenário faz com que seja preciso realizar buscas por alternativas energéticas que sustentem a necessidade humana e que não prejudiquem o ambiente.

Para empresas, além da questão ambiental, um excessivo gasto de energia (advinda de recursos não renováveis) é sinônimo de prejuízo. Eis então uma grande oportunidade para engenheiros químicos intervirem na melhoria da eficiência energética dos processos, ajudar a desenvolver tecnologias limpas e promover a utilização de energias alternativas nas indústrias. Com isso, ocorrerá uma redução de custos e será uma contribuição válida ao meio ambiente o que hoje em dia vem gerando maior competitividade para as empresas. O uso de resíduos agrícolas como fonte de bioenergia tem despertado crescente interesse no setor de agroenergia.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com impactos tecnológicos relacionados à indústria, focando na reutilização de produtos e conversão em energia renovável, bem como avanço nos processos para redução da poluição atmosférica e em efluentes. Com isso, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos da Engenharia Química voltada para a área ambiental trazendo benefícios para toda a sociedade.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira	
Pedro Henrique Trindade Dias Cabral	
Roberta Resende Maciel da Silva	
Carla Torres Dias	
José Renato Guimarães	
Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	
Caroline Müller	
Letícia Mara Milani	
Anderson Giehl	
Évelyn Taize Barrilli	
Letícia Deoti	
Ana Carolina Lucaroni	
Viviani Tadioto	
Helen Treichel	
Sérgio Luiz Alves Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO	
Júlia do Nascimento Pereira Nogueira	
Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos	
Brunno Ferreira dos Santos	
Filipe Alves Coelho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>29</b>
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> POR PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Eloane Daize Gomes Dallastra	
Enylson Xavier Ramalho	
Lina María Grajales Agudelo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo	
Kátya Regina de Freitas Zara	
Leonardo da Silva Arrieche	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901045</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>51</b>
INFLUÊNCIA DA GORDURA RESIDUAL DE UNIDADES INDUSTRIAIS DE AVES NA FABRICAÇÃO DE BASE PARA CREME HIDRATANTE	
Jacqueline Hahn Bernardi Cristina Helena Bruno Andreia Cristina Furtado Leonardo da Silva Arrieche	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>58</b>
ANÁLISE DA COMPRESSÃO AXIAL E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO RESIDUAL DE AZEITONA	
Manoela Silva Lima Mariotini Carotta Alan Carlos de Almeida Ana Paula de Carvalho Faria Luiz Felipe Lima Panizzi Jonas dos Santos Pacheco Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>63</b>
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO NA FIBRA DE COCO PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO	
Wenderson Gomes dos Santos Gilmar Alves Borges Lauro Henrique Hamoy Guerreiro Dilson Nazareno Pereira Cardoso Douglas Alberto Rocha de Castro Emerson Cardoso Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>68</b>
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD	
Bruno Chaboli Gambarato Tatiana Raposo de Paiva Cury Sérgio Teodoro de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>74</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA	
Bruno Chaboli Gambarato Gilson Carlos Rodrigues Paulino Amanda Santos Leopoldino Lucas Bruno de Paiva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010410</b>	

**CAPÍTULO 11 ..... 79**

**BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO**

Ihana Aguiar Severo  
Yuri Naidon Favero  
Mariany Costa Deprá  
Rodrigo Stefanello Bizello Barrios  
Rosangela Rodrigues Dias  
Mariane Bittencourt Fagundes  
Roger Wager  
Leila Queiroz Zepka  
Eduardo Jacob-Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.31919010411**

**CAPÍTULO 12 ..... 85**

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA PARA BIOENERGIA**

Maria Lúcia Ferreira Simeone  
Patrícia Abraão de Oliveira  
Kirley Marques Canuto  
Rafael Augusto da Costa Parrella  
Cynthia Maria Borges Damasceno  
Robert Eugene Schaffert

**DOI 10.22533/at.ed.31919010412**

**CAPÍTULO 13 ..... 90**

**DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTOR E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO**

Flávia Souza Pio  
Letícia Tamara Santana  
Lorena Kelly Corrêia  
Francine Duarte Castro

**DOI 10.22533/at.ed.31919010413**

**CAPÍTULO 14 ..... 97**

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMA DE VALOR NO CONTORNO ASSOCIADO À MODELAGEM DE BIORREATORES TUBULARES DE FLUXO DISPERSO E CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN LINEARIZADA**

Samuel Conceição Oliveira  
Felipe Coelho Morilla

**DOI 10.22533/at.ed.31919010414**

**CAPÍTULO 15 ..... 104**

**SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CICLOS A VAPOR PARA COGERAÇÃO DE BIOENERGIA NO SETOR SUCROENERGÉTICO**

Welban Ricardo Ursino  
Samuel Conceição Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.31919010415**

**CAPÍTULO 16 ..... 114**

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS DE SOJA COM DIFERENTES ORIGENS NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL VIA ROTA METÁLICA

Melissa Rafaela Wolf  
Isabela Silveira Tobias Perassi  
Nadine de Assis  
Fulvy Antonella Venturi Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.31919010416**

**CAPÍTULO 17 ..... 123**

PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich  
Bruno Elias Suzart Chamas  
Antonio José Gonçalves da Cruz  
Roberto de Campos Giordano

**DOI 10.22533/at.ed.31919010417**

**CAPÍTULO 18 ..... 129**

PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO CÉLULAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE IMOBILIZADAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO REVESTIDAS COM QUITOSANA

Lucidio Cristovão Fardelone  
Taciani do Santos Bella de Jesus  
Leonardo Akira Kamimura Oura  
Gustavo Paim Valença  
José Roberto Nunhez  
José Augusto Rosário Rodrigues  
Paulo José Samenho Moran

**DOI 10.22533/at.ed.31919010418**

**CAPÍTULO 19 ..... 137**

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes  
Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto  
Gerônimo Barbosa Alexandre  
José Nilton Silva

**DOI 10.22533/at.ed.31919010419**

**CAPÍTULO 20 ..... 157**

ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE FENTON COM PÓ DE MINÉRIO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE BIODIESEL E AVALIAÇÃO DA LIXIVIABILIDADE DO RESÍDUO

Jamyla Soares Anício Oliveira Félix  
Aline Givisiez de Souza  
Francine Duarte Castro

**DOI 10.22533/at.ed.31919010420**

**CAPÍTULO 21 ..... 173**

APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO CALCINADO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Leonardo Henrique de Oliveira  
Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza  
Antônio Augusto Ulson de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.31919010421**

<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>178</b>
DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM	
Roque Machado de Senna Thais Santos Henrique Senna Marcelo Linardi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010422</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>187</b>
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA INDIVIDUAL DE COLETA E GLOBAL NA SEPARAÇÃO DE PARTICULADOS DE MAGNESITA EM CICLONE LAPPLE	
Polyana Gomes de Aguiar Daiane Ribeiro Dias Annanda Alkmim Alves Mariana Oliveira Marques João Carlos Gonçalves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010423</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>194</b>
ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL	
Aldo Muro Júnior Nicola Pittet Muro Nelson Roberto Antoniosi Filho Maria Isabel Ribeiro Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010424</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>213</b>
CAPTURA DE CO <sub>2</sub> UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING	
Juliana Alves da Silva Ricardo José Chimentão João Batista Oliveira dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010425</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>224</b>
DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO <sub>2</sub> UTILIZANDO A TECNOLOGIA HIGEE NA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira José Renato Guimarães Brenda Sedlmaier Costa Coelho Camila Ceravolo de Carvalho Francine Silveira Vieira Luiza Moreira Santos Jorge David Alguiar Bellido	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010426</b>	

**CAPÍTULO 27 ..... 232**

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH<sub>4</sub>

Guilherme Andreoli Gil  
Guilherme Otávio Lima  
Lucas Mendes Pedro  
Bianca Bastos Caruzi  
Fabrício Maestá Bezerra  
Murilo Pereira Moisés

**DOI 10.22533/at.ed.31919010427**

**CAPÍTULO 28 ..... 239**

INIBIDOR DE CORROÇÃO OBTIDO POR LIXIVIAÇÃO DE CIGARRO APÓS SEU CONSUMO

Lauren Marcilene Maciel Machado  
Luciana Rodrigues Machado

**DOI 10.22533/at.ed.31919010428**

**CAPÍTULO 29 ..... 249**

ENRIQUECIMENTO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO AUTÓCTONES E SUA ADESÃO EM ESPUMA DE POLIURETANO EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Alessandra Giordani  
Renata Piacentini Rodriguez  
Leonardo Henrique Soares Damasceno  
Gunther Brucha

**DOI 10.22533/at.ed.31919010429**

**CAPÍTULO 30 ..... 255**

BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO EM DOIS DETERGENTES LIQUIDOS COMERCIAIS UTILIZANDO FUNGO FILAMENTOSO *Penicillium crustosum*

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos  
Luiza Maria Amaral Frossard de Paula  
Mayara Costa Franco  
Karen Sartori Jeunon Gontijo  
Ana Maria de Oliveira  
Enio Nazaré de Oliveira Junior

**DOI 10.22533/at.ed.31919010430**

**CAPÍTULO 31 ..... 272**

DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO LAFeO<sub>3</sub> COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

Patrícia Grassi  
Fernanda Caroline Drumm  
Siara Silvestri  
Sérgio Luiz Jahn  
Edson Luiz Foletto

**DOI 10.22533/at.ed.31919010431**

<b>CAPÍTULO 32</b> .....	<b>281</b>
DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE RODAMINA B COM UM CATALISADOR À BASE DA BIOMASSA PORONGO: EFEITO DA DOPAGEM COM FERRO	
William Leonardo da Silva	
Mariéle Schaedler Nascimento	
Matheus Severo Schalenberger	
Joana Bratz Lourenço	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010432</b>	
<b>CAPÍTULO 33</b> .....	<b>287</b>
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO $\text{TiO}_2$ E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes	
Luciane Pimentel Costa Monteiro	
Leandro Vahia Pontual	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010433</b>	
<b>CAPÍTULO 34</b> .....	<b>303</b>
CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PÓS CONSUMO VISANDO A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro	
Priscilla Sayuri Nakazawa	
Ana Maria Ferrari	
Ana Claudia Ueda	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010434</b>	
<b>CAPÍTULO 35</b> .....	<b>315</b>
APPLICATION OF THE MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHOD TO ESTIMATION OF PARAMETERS IN A MODEL OF ADSORPTION-ENHANCED REACTION PROCESS FOR MERCURY REMOVAL FROM NATURAL GAS	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
Mariana de Mattos Vieira Mello Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010435</b>	
<b>CAPÍTULO 36</b> .....	<b>322</b>
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÃO ATIVADO DERIVADO DA CASCA DO COCO VERDE	
Natália Matos Silva Pereira	
Marta Cecilia da Esperança Santos	
Sirlene Barbosa Lima	
Maria Luiza Andrade da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010436</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>334</b>

## DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO $\text{LaFeO}_3$ COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

### Patrícia Grassi

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria-Rio Grande do Sul

### Fernanda Caroline Drumm

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria-Rio Grande do Sul

### Siara Silvestri

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria-Rio Grande do Sul

### Sérgio Luiz Jahn

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria-Rio Grande do Sul

### Edson Luiz Foletto

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria-Rio Grande do Sul

**RESUMO:** Nesse trabalho foram sintetizadas partículas de  $\text{LaFeO}_3$  pela rota solvotérmica. O material obtido foi caracterizado através de difração de raios-X (DRX) e isotermas de adsorção-desorção de  $\text{N}_2$ . A atividade catalítica deste material foi avaliada através da degradação de dois corantes tipo azo, frequentemente usados pela indústria de alimentos, o amarelo tartrazina e vermelho

amaranto, em reação foto-Fenton sob luz solar. Os resultados de caracterização confirmam a formação da ferrita de lantânio, com estrutura cristalina e área superficial de  $5,04 \text{ m}^2/\text{g}$ . A  $\text{LaFeO}_3$  apresentou boa atividade fotocatalítica na reação foto-Fenton, solar removendo 100% da cor da solução com amarelo tartazina após 75 minutos, e após 30 min para o corante vermelho amaranto. As quantidades utilizadas na reação foram de  $0,3 \text{ g/L}$  de catalizador e  $2,8 \text{ mmol/L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Ambas as reações apresentaram baixa lixiviação de ferro do catalisador nas soluções. **PALAVRAS-CHAVE:** Ferrita de lantânio. Corantes. foto-Fenton solar.

**ABSTRACT:** In this work,  $\text{LaFeO}_3$  particles were synthesized by the solvothermic route. The material obtained was characterized by X-ray diffraction (XRD) and adsorption-desorption isotherms of  $\text{N}_2$ . The catalytic activity of this material was evaluated by the degradation of two azo dyes, frequently used by the food industry, tartrazine yellow and amaranth red, by Photo-Fenton reaction under sunlight. The characterization results confirm the formation of lanthanum ferrite, with crystalline structure and surface area of  $5.04 \text{ m}^2/\text{g}$ .  $\text{LaFeO}_3$  presented good photocatalytic activity in the photo-fenton reaction, solar removing 100% of the solution color with yellow tartazin after 75 minutes, and after 30 min for the amaranth red dye. The

amounts used in the reaction were 0.5 g / L of catalyst and 2,8 mmol / L of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Both reactions presented low iron leaching of the catalyst in the solutions.

**KEYWORDS:** Lanthanum ferrite. Dyes. Photo-Fenton solar.

## 1 | INTRODUÇÃO

As indústrias alimentícias utilizam em seus processos produtivos grandes quantidades de corantes, com a finalidade de atribuir cor a seus produtos. Esses corantes possuem baixa degradabilidade frente aos métodos tradicionais utilizados em seu tratamento (SILVA et al., 2008). A presença desses corantes nas águas residuárias, principalmente do tipo azo, trazem danos ao ambiente aquático, colorindo a água e impedindo a penetração da luz. Além disso, eles podem causar efeitos cancerígenos, reações de hipersensibilidade e efeitos genotóxicos à fauna, flora e à saúde humana (VAIANO et al., 2015). Os corantes, amarelo tartrazina e vermelho amaranto são classificados como azos (Figura 1). Esse grupo de corantes é caracterizado por possuir duplas ligações entre as moléculas de nitrogênio (N=N) entre os anéis aromáticos. Essas ligações conferem cor aos corantes e são as mais reativas nessas moléculas. Podem ser oxidadas por radicais hidroxilas ou reduzidas por elétrons na banda de condução (YAGUB et al., 2014).

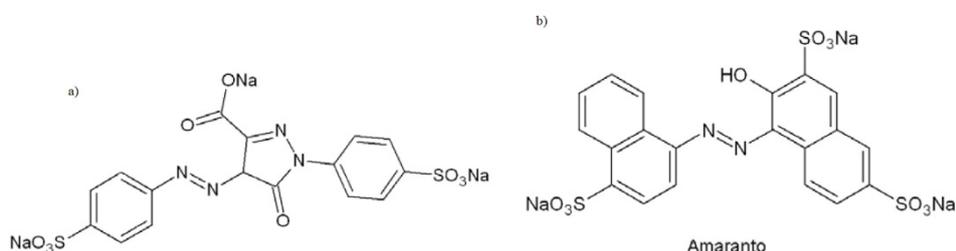


Figura 1: Estrutura química (a) Amarelo Tartrazina. e (b) Vermelho Amaranto

Fonte: MARMITT; PIROTTA; STÜLP (2010)

Para o tratamento de efluentes contendo esses contaminantes, os processos oxidativos avançados (POAs) são métodos bastante utilizados e efetivos, pois estas tecnologias utilizam principalmente o radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ) para a oxidação dos poluentes, o qual se destaca por apresentar forte poder oxidante (ARAÚJO et al, 2016).

Dentre os POAs, as reações Fenton têm se apresentado como promissoras para degradação de grande variedade de compostos orgânicos. Estas reações consistem na decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), por íons ferrosos, em meio ácido, gerando o radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ). A eficiência do processo pode ser melhorada pela incidência de radiação, uv-visível em um processo denominado foto-Fenton, devido à geração adicional desses radicais (HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M. J et al 2014).

O foto-Fenton solar, processo aplicado neste trabalho, é uma das mais inovadoras variações desse sistema e possibilita a utilização da irradiação solar como uma alternativa de baixo custo, principalmente no Brasil, por ser um país com energia solar abundante. Apesar do grande potencial de utilização dessa tecnologia em nosso país, ainda são poucos os estudos que utilizam este sistema (MARCELINO et al., 2015).

Uma desvantagem apresentada pelo processo foto-Fenton homogêneo, o qual utiliza o ferro dissolvido em solução, consiste na necessidade de remoção destes íons ferrosos através de sua precipitação, formando grandes quantidades de lodos com hidróxido férricos, gerando um novo resíduo ((BABUPONNUSAMI; MUTHUKUMAR, 2014; SOUZA; ZAMORA; ZAWADZKI, 2008). Para resolver esses problemas tem sido bastante utilizado a imobilização de íons ferrosos em suportes sólidos, ou ainda a utilização de óxidos de ferro ou ferritas, as quais podem ser removidos da solução após a reação, permitindo sua reutilização no processo (MACDONALD et al., 2014).

Entre as ferritas conhecidas, a ferrita de lantânio do tipo perovskita, possui uma ampla aplicação, sendo utilizada como materiais eletrodos (SEKHARA et al. 2013), sensores químicos (MORI; ITAGAKI; SADAOKA, 2014) e catalisadores heterogêneos em reações industriais (ARANDIYAN, 2013) devido as suas vantagens de não toxicidade e alta estabilidade térmica (NIE et al., 2015), podendo ser aplicada também em reações do tipo Fenton. Desta forma este trabalho tem como objetivo principal avaliar a eficiência da  $\text{LaFeO}_3$  como catalisador na degradação de corantes alimentícios, através da reação foto-Fenton sob irradiação solar.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Síntese do catalisador

A síntese da ferrita de lantânio seguiu a metodologia proposta por Kuma; Thangappan; Jayavel (2017). Como precursores de lantânio e ferro foram utilizados nitrato de lantânio hexahidrato [ $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  -Vetec] e de nitrato de ferro III [ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  -Vetec] nas proporções 1:1, colocados em 50 ml de água destilada sob agitação magnética. Ácido cítrico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  -Vetec) foi adicionado na solução, na mesma quantidade molar do nitrato metálico. A solução foi agitada durante 5 horas à temperatura ambiente. Utilizou-se uma solução de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$  -Vetec) para ajustar o pH em 9,2 e estabilizar o nitrato na solução. Após agitação durante 3 horas à temperatura ambiente, a mistura foi transferida para autoclaves de aço inox revestidas com teflon e mantidas a 180 °C durante 20 horas e depois resfriada à temperatura ambiente.

O produto final foi obtido após a lavagem com água deionizada e etanol, seguido de filtragem do pó que, subsequentemente foi seco à 100 °C e calcinado a 800 °C por 6 horas.

## 2.2 Caracterização do catalisador

A ferrita de lantânio ( $\text{LaFeO}_3$ ) foi caracterizada através de um difratômetro de raios-X (Rigaku Miniflex 300), com fonte de radiação Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,54051 \text{ \AA}$ ), fonte de energia com 30 kV e 10 mA, grau de avanço de  $0,05^\circ$  e tempo de aquisição de 0,5 s. A superfície específica foi determinada através da análise das isotermas de adsorção/dessorção de  $\text{N}_2$  (ASAP 2020 Micromeritics), pelo método Brunauer, Emmett & Teller (BET). A degradação do corante orgânico foi medida através da absorbância com o uso de um espectrofotômetro (Bel Photonics, SP 1105). A quantidade de ferro dissolvido presente no fim da reação foi medida através da análise de um espectrofotômetro de absorção atômica de chama (Agilent Technologies, 200 series AA).

## 2.3 Degradação fotocatalítica

As atividades fotocatalíticas da ferrita de lantânio ( $\text{LaFeO}_3$ ) foram avaliadas pela degradação dos corantes alimentícios amarelo tartrazina ( $\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_7\text{S}_2$  - Duas rodas) e vermelho amarantho ( $\text{C}_{20}\text{H}_{11}\text{N}_2\text{Na}_3\text{O}_{10}\text{S}_3$  - Duas rodas). Os ensaios foram realizados em um foto-reator de vidro de (250 mL) com 150 mL de solução aquosa dos corantes e concentração de 50 mg/L, sob agitação magnética e irradiação de luz solar à temperatura ambiente. Antes de iniciar a reação, o pH de cada solução foi ajustado para 3 com ácido sulfúrico (0,2 M). A solução foi agitada no escuro durante 30 min para alcançar o equilíbrio de adsorção dos corantes com o catalisador. Após, foram adicionados aos foto-reatores 2,8 mmol/L peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ -50% - Exodo) e os mesmos mantidos sob luz solar. Alíquotas de 3 ml foram coletadas em intervalos de tempo de 10 min, centrifugadas para remover o fotocatalisador e realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro de UV-vis (Bel Photonics, SP1105).

A porcentagem da eficiência de descoloração (ED%) dos corantes ao longo do tempo foi calculada de acordo com a equação 1:

$$ED(\%) = \left( \frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde  $A_0$  é a absorbância inicial da solução e a  $A_t$  é a absorbância no tempo de reação t.

Os ensaios foram realizados na cidade de Santa Maria – RS ( $29^\circ 41' 03'' \text{ S}$  e  $53^\circ 48' 25'' \text{ W}$ ) entre às 11:15h e 12:30h para o corante amarelo tartrazina e entre às 11:15 e 11:45 para o corante vermelho amarantho do dia 12 do mês de novembro de 2017.

## 3 | RESULTADOS

### 3.1 Caracterização do catalisador

A Figura 2 apresenta o difratograma da ferrita de lantânio ( $\text{LaFeO}_3$ ) em que se pode verificar os picos de difração característicos mais intensos a  $2\theta$  de  $22,45^\circ$ ,  $32,01^\circ$ ,  $39,54^\circ$ ,  $45,97^\circ$ ,  $57,21^\circ$ ,  $67,18^\circ$ ,  $76,45^\circ$ , confirmando a formação da estrutura cristalina correspondente ao arquivo do padrão de DRX (JCDPS 15-0148). Considerando-se assim que houve a formação das partículas de ferrita de lantânio nas condições empregadas neste trabalho, assim como o encontrado em outros trabalhos da literatura (NIE et al., 2015).

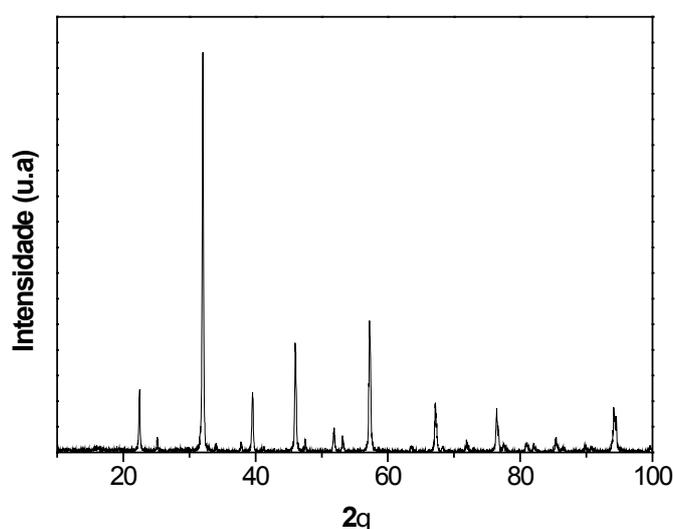


Figura 2: Difratograma do catalisador  $\text{LaFeO}_3$ .

Os resultados indicaram que  $\text{LaFeO}_3$  tem uma estrutura com área superficial de  $5,04 \text{ m}^2/\text{g}$ . De acordo com as normas da IUPAC, as isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio apresentadas na Figura 3 são do tipo IV, representando predominantemente estrutura característica mesoporosa da  $\text{LaFeO}_3$ , com um *loop* de histerese observado na faixa de  $0,75-1,0 \text{ p/p}_0$ .

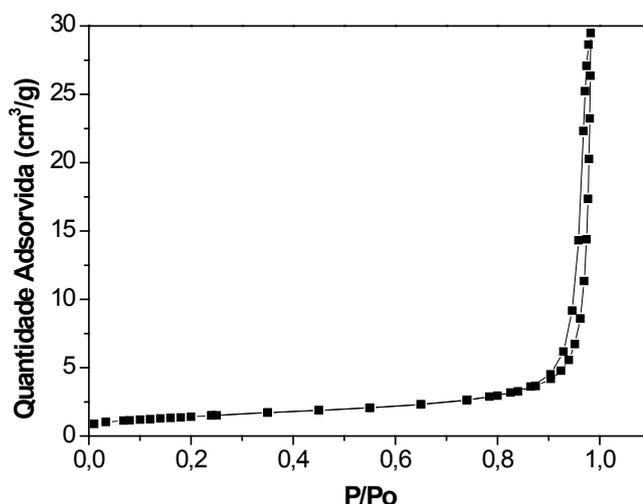


Figura 3: Isotherma adsorção/dessorção de nitrogênio.

### 3.2 atividade fotocatalítica do catalisador $\text{LaFeO}_3$

As reações para determinar a atividade catalítica da ferrita de lantânio ( $\text{LaFeO}_3$ ) foram realizadas conforme as variações apresentadas na tabela 1. Todas as reações foram realizadas em pH 3 e tempo de experimento de 75 minutos para o amarelo tartrazina e 30 minutos para o vermelho amaranço.

Reação	$\text{H}_2\text{O}_2$ (2,8 mmol/L)	Radiação solar	Catalisador (0,3 g/L)
A		X	X
B			X
C	X		
D	X	X	
E(Fenton)	X		X
F(foto-Fenton)	X	X	X

Tabela 1: Variações nas reações de atividade catalítica da ferrita de lantânio.

As reações A, B e C não apresentaram degradação significativa. As Figuras 4 e 5 mostram os resultados da atividade catalítica da ferrita de lantânio na degradação dos corantes amarelo tartrazina e vermelho amaranço para as reações D, E e F, respectivamente.

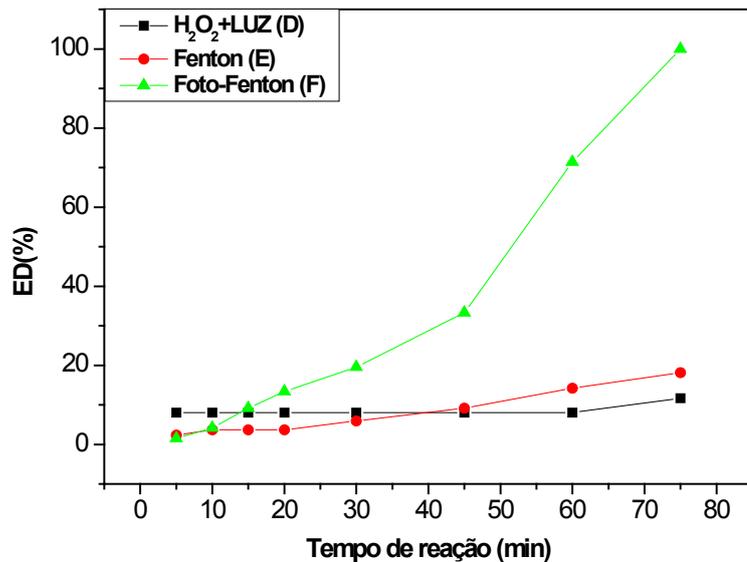


Figura 4 Comparação da eficiência de descoloração do amarelo tartrazina nos ensaios D (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Luz solar), E (Fenton), F (foto-Fenton).

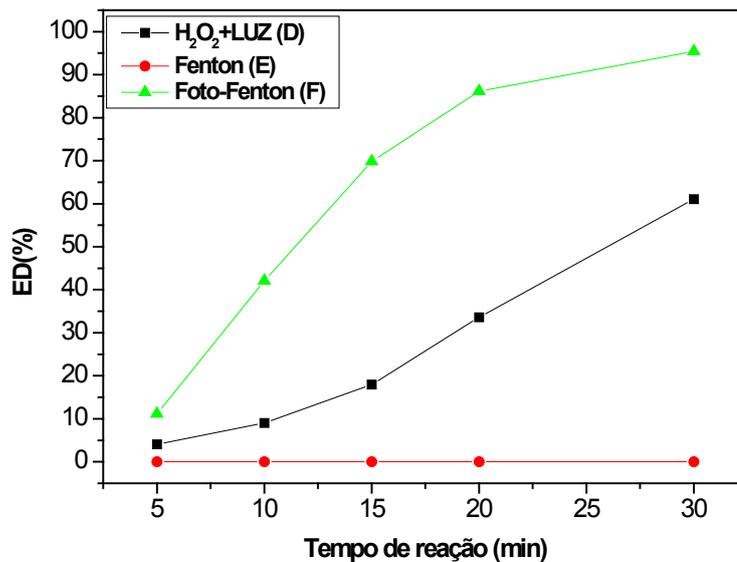


Figura 5: Comparação da eficiência de descoloração do vermelho amaranto nos ensaios D (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Luz solar), E (Fenton), F (foto-Fenton).

A intensidade da radiação solar do início dos experimentos foi de 2877 KJ/m<sup>2</sup> (INMET,2017). Pode-se observar que para o corante amarelo tartrazina e vermelho amaranto na ausência do catalisador (D), na presença de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e luz solar, as eficiências de remoções dos corantes foram de 11,68% e 61,07%, respectivamente. Já na reação Fenton, na ausência da radiação solar, na presença do catalisador (LaFeO<sub>3</sub>) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (E), a degradação ocorreu apenas para o corante amarelo tartrazina (18%), e na reação foto-Fenton (F), na presença do catalisador (LaFeO<sub>3</sub>), peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e luz solar, a degradação atingiu aproximadamente 100% para ambos corantes, em 75 minutos de reação para o corante amarelo tartrazina e 30

minutos para o corante vermelho amaranço.

O amarelo tartrazina possui um número maior de duplas ligações que o corante vermelho amaranço (figura 1), necessitando de maior tempo para realizar a sua degradação.

Ao término do tempo de reação, foi realizado espectrometria de absorção atômica para verificar a quantidade de ferro dissolvido na solução aquosa. Os resultados demonstraram uma concentração de 2,8 e 2,4 mg/L de Ferro para o amarelo tartrazina e o vermelho amaranço, respectivamente. Estes valores estão dentro dos padrões de lançamento de efluentes permitidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 430/2011, onde o máximo permitido é 15 mg/L.

## 4 | CONCLUSÃO

As partículas de ferrita de lantânio ( $\text{LaFeO}_3$ ) foram sintetizadas pela rota solvotérmica e as caracterizações mostram que foram obtidas com sucesso. Na reação foto-Fenton (F) a eficiência catalítica da  $\text{LaFeO}_3$  foi eficaz para ambos corantes, 100% em 75 minutos de reação para o corante amarelo tartrazina e 30 minutos para o corante vermelho amaranço. Já nas reações somente com peróxido e luz solar (D) e Fenton (E) a eficiência foi aproximada 11,68% e 18%, respectivamente, para o amarelo tartrazina. Nessas condições, não se observou atividade na reação (E) para o vermelho amaranço, apenas para a reação (D) (61,07%). Conforme os resultados obtidos, a  $\text{LaFeO}_3$  mostra-se um promissor catalisador em reações de degradação de corantes tipo azo sob radiação solar.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

ANDOULSI, Refka; HORCHANI-NAIFER, Karima; FÉRID, Mokhtar. **Structural and electrical properties of calcium substituted lanthanum ferrite powders**. Powder technology, v. 230, p. 183-187, 2012.

ARANDIYAN, Hamidreza et al. **Three-dimensionally ordered macroporous  $\text{La}_0.6\text{Sr}_0.4\text{MnO}_3$  with high surface areas: active catalysts for the combustion of methane**. Journal of catalysis, v. 307, p. 327-339, 2013.

BRASIL. Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Diário Oficial da União, 2011.

BABUPONNUSAMI, Arjunan; MUTHUKUMAR, Karuppan. **A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 2, n. 1, p. 557-572, 2014.

- GUPTA, Vinod Kumar; JAIN, Rajeev; VARSHNEY, Shaily. **Electrochemical removal of the hazardous dye Reactofix Red 3 BFN from industrial effluents.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 312, n. 2, p. 292-296, 2007.
- HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M. J. et al. **Treatment of effluents from wool dyeing process by photo-Fenton at solar pilot plant.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 2, n. 1, p. 163-171, 2014.
- INMET, In. Instituto nacional de meteorologia. 2017. **Dados on line da Estação Automática: Santa Maria (RS).** Disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Acesso em: 12/11/2017.
- KUMAR, R. Dhinesh; THANGAPPAN, R.; JAYAVEL, R. **Synthesis and characterization of LaFeO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> nanocomposites for visible light photocatalytic activity.** Journal of Physics and Chemistry of Solids, v. 101, p. 25-33, 2017.
- MARCELINO, R. B. P. et al. **Solar energy for wastewater treatment: review of international technologies and their applicability in Brazil.** Environmental Science and Pollution Research, v. 22, n. 2, p. 762-773, 2015.
- MARMITT, Sandro; PIROTTA, Lilian V.; STÜLP, Simone. **Aplicação de fotólise direta e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios.** Química Nova, v. 33, n. 2, p. 384-388, 2010.
- MORI, Masami; ITAGAKI, Yoshiteru; SADAOKA, Yoshihiko. **Effect of VOC on ozone detection using semiconducting sensor with SmFe<sub>1-x</sub>CoxO<sub>3</sub> perovskite-type oxides.** Sensors and Actuators B: Chemical, v. 163, n. 1, p. 44-50, 2012.
- NIE, Yulun et al. **Enhanced Fenton-like degradation of refractory organic compounds by surface complex formation of LaFeO<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.** Journal of hazardous materials, v. 294, p. 195-200, 2015.
- SANTOS DE ARAÚJO, Karla et al. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais.** Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 11, n. 2, 2016.
- SEKHAR, Praveen Kumar et al. **Effect of perovskite electrode composition on mixed potential sensor response.** Sensors and Actuators B: Chemical, v. 183, p. 20-24, 2013.
- SOUZA, Kely V.; PERALTA-ZAMORA, Patricio; ZAWADZKI, Sônia Faria. **Imobilização de ferro (II) em matriz de alginato e sua utilização na degradação de corantes têxteis por processos Fenton.** Química Nova, v. 31, n. 5, p. 1145-1149, 2008.
- VAIANO, V. et al. **Food azo-dyes removal from water by heterogeneous photo-Fenton with LaFeO<sub>3</sub> supported on honeycomb corundum monoliths.** Journal of Environmental Engineering, v. 141, n. 12, p. 04015038, 2015.
- WANG, Kaixuan et al. **Immobilizing LaFeO<sub>3</sub> nanoparticles on carbon spheres for enhanced heterogeneous photo-Fenton like performance.** Applied Surface Science, v. 404, p. 138-145, 2017.
- YAGUB, Mustafa T. et al. **Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review.** Advances in colloid and interface science, v. 209, p. 172-184, 2014.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**CARMEN LÚCIA VOIGT** Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-231-9

