

Franciele Bonatto  
Jair de Oliveira  
João Dallamuta  
(Organizadores)

**Ciência,  
Tecnologia  
e Inovação**

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Franciele Bonatto  
Jair de Oliveira  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Ciência, Tecnologia e Inovação

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © da Atena Editora  
**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Diagramação e Edição de Arte:** 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)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
---	--

C569	Ciência, tecnologia e inovação [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, Jair de Oliveira, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.
------	--

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia.  
ISBN 978-85-7247-125-1  
DOI 10.22533/at.ed.251191802

1. Ciência – Brasil. 2. Inovação. 3. Tecnologia. I. Bonatto, Franciele. II. Oliveira, Jair de. III. Dallamuta, João.

CDD 506

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

Há quase quarenta anos, Alvin Toffler em seu Best Seller, *The Third Wave*, profetizou; “Pode-se criar mais valor com uma ideia em dez segundos do que com dez mil horas em uma linha de produção”. Esta talvez seja a melhor definição de inovação, não exatamente do conceito, mas do que ela efetivamente gera como efeito nas organizações e na sociedade.

Ciência, tecnologia e ambiente, considerando neste último fatores econômicos, sociais e legais, são base para a inovação. No que no que concerne a nossos pesquisadores, eles tem feito a parte deles, produzido ciência e tecnologia a despeito das dificuldades econômicas e culturais no Brasil. Há muito que melhorar sim, mas também a muito há se reconhecer.

Esse livro apresenta dois pilares de inovação, ciência e tecnologia, em uma reunião de vinte e quatro artigos, que são o resultado de pesquisas realizadas nos mais diversos setores com uma riqueza de metodologias e resultados.

Nesta obra, temos a oportunidade de leitura é fruto de trabalhos científicos de diversos pesquisadores. Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!  
Franciele Bonatto  
Jair de Oliveira  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A FORMAÇÃO DOCENTE E AS NOVAS MÍDIAS TECNOLÓGICAS	
Walkiria de Fatima Tavares de Almeida	
Daniel González González	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2511918021</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
LABPATI – LABORATÓRIO DE PROJETOS DE AUTOMAÇÃO E TECNOLOGIAS INOVADORAS	
Jefferson Uchôa Ponte	
Erivando de Sena Ramos	
Alan Cleber Morais Gomes	
Francisco Giovanildo Teixeira de Souza	
Ligia Maria Carvalho Sousa Cordeiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2511918022</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>13</b>
UMA CURADORIA DIGITAL PARA OS DADOS CIENTÍFICOS DE PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO: A CRIAÇÃO DO PROJETO PILOTO	
Nilson Theobald Barbosa	
Linair Maria Campos	
Fabrícia Carla Ferreira Sobral	
Roberto José Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2511918023</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>22</b>
A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS DE ACESSIBILIDADE EM ESPAÇOS PÚBLICOS	
Francisco da Silva Passos	
José William Menezes Ribeiro	
Marlon Amaro Coelho Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2511918024</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>28</b>
CASE DE GESTÃO ADMINISTRATIVA E MODULARIZADA COM USO DO GLPI	
Ricardo Lazzari da Rosa	
Jorge Alberto Messa Menezes Júnior	
Luciano Pereira de Vargas	
Francis Diego Duarte Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2511918025</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>35</b>
EXPERIÊNCIA DE USO DE MAPEAMENTO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO COMO FERRAMENTA DE APOIO AO LEVANTAMENTO E ELICITAÇÃO DE REQUISITOS DE SOFTWARE	
Fernanda Vieira Figueira	
Levi Cacau	
Alex Alves da Silva	
Kemis A. V. da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2511918026</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 41**

CONJUNTO DE PRÁTICAS INTERDISCIPLINARES PROPOSTA PELO PROGRAMA SAVE: *GREEN PARK* (Parque de diversão que gera energia limpa)

Jiam Pires Frigo  
Nandra Martins Soares  
Andreia Cristina Furtado  
Oswaldo Hideo Ando Junior

**DOI 10.22533/at.ed.2511918027**

**CAPÍTULO 8 ..... 50**

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA SERVIDORES DO PCCTAE

Daniel Ferreira de Oliveira  
Taiana Barbosa Pereira  
Marcio Alexandre Silva Ferreira  
Marcelo Duarte da Silva  
Tarcila Gesteira da Silva  
Julliany Sales Brandão  
Enoch Cezar Pimentel Lins da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.2511918028**

**CAPÍTULO 9 ..... 57**

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Pisum sativum* L. SOB INFLUÊNCIA DE ARMAZENAMENTO

Alexandre Alves da Silva  
Adriano Henrique Silva  
Thaís Franco Pires de Lemos  
Beatriz Moreira Zanatta  
Caroline Luiza Benedito  
João Pedro Bufalari da Cunha  
Paulo Frezato Neto  
Vinícius Bechelli Valadão de Araujo  
Ruan Carlos da Silveira Marchi  
Maria Aparecida da Fonseca Sorace  
Conceição Aparecida Cossa

**DOI 10.22533/at.ed.2511918029**

**CAPÍTULO 10 ..... 62**

GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE *Lactuca sativa* L. APÓS PRAZO DE VALIDADE

Thaís Franco Pires de Lemos  
Alexandre Alves da Silva  
Adriano Henrique Silva  
Beatriz Moreira Zanatta  
Caroline Luiza Benedito  
João Pedro Bufalari da Cunha  
Paulo Frezato Neto  
Vinícius Bechelli Valadão de Araujo  
Ruan Carlos da Silveira Marchi  
Maria Aparecida da Fonseca Sorace  
Conceição Aparecida Cossa

**DOI 10.22533/at.ed.25119180210**

**CAPÍTULO 11 ..... 68**

PARÂMETROS DE CRESCIMENTO SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA NO GRÃO-DE-BICO

Daniela Oliveira Silva  
Mauren Sorace  
Naielen de Lara Lopes  
Débora Del Moura Soares  
Bruna Lana Campanenute Soares  
Ruan Carlos da Silveira Marchi  
Ana Beatryz Prenzier Suzuki

**DOI 10.22533/at.ed.25119180211**

**CAPÍTULO 12 ..... 80**

POTENCIAL ALELOPÁTICO DE EXTRATO AQUOSO DE TUBÉRCULOS DE *Cyperus rotundus* L.  
SOBRE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Digitaria insularis* L.

Olivia Pak Campos  
Conceição Aparecida Cossa  
Maria Aparecida da Fonseca Sorace  
Ruan Carlos da Silveira Marchi  
Leonardo Sgargeta Ustulin  
Paulo Frezato Neto

**DOI 10.22533/at.ed.25119180212**

**CAPÍTULO 13 ..... 86**

CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE SUBPRODUTO DE LARANJA (*CITRUS SINENSIS*) QUANTO  
A COMPOSIÇÃO DE FIBRAS, COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE

Isabela Julio Iwassa  
Cecília Pinzon  
Eliane Dalva Godoy Danesi  
Beatriz Cervejeira Bolanho Barros

**DOI 10.22533/at.ed.25119180213**

**CAPÍTULO 14 ..... 95**

AVALIAÇÃO SENSORIAL E INTEÇÃO DE COMPRA DE PÃES COM ADIÇÃO DE FARINHA DE  
GERGELIM *Sesamum indicum* L.

Roberta de Oliveira Sousa Wanderley  
Paulo Alves Wanderley  
Wellita Azevedo Silva  
Anna Catarina Costa Paiva  
Janine Patrícia Melo Oliveira  
Altevir Paula de Medeiros  
Oswaldo Soares da Silva  
Élida Ramalho da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.25119180214**

**CAPÍTULO 15 ..... 100**

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGIÊNICO-SANITÁRIAS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E  
MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE PANIFICADORAS SITUADAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA  
GRANDE-PB

Deyzi Santos Gouveia  
Fernanda Ellen Martins Oliveira Araújo  
Yasmim Maria Azevedo Santos  
Rebeca de Lima Dantas  
Mércia Melo de Almeida Mota  
Nubênia de Lima Tresena

**DOI 10.22533/at.ed.25119180215**

<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>115</b>
ÓXIDO DE ZINCO (ZNO) E A DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DA CAFEÍNA	
Lariana Negrão Beraldo de Almeida Giane Gonçalves Lenzi Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli Onelia Aparecida Andreo dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180216</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>130</b>
INFRAESTRUTURA DE SÍTIOS INSTITUCIONAIS UTILIZANDO CONTÊINERES DOCKER	
Carlos Vinícius Braga dos Santos Felipe Evangelista dos Santos Luiz Carlos Barbosa Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180217</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>136</b>
DESENVOLVIMENTO DE SEMI-EIXO DE FIBRA DE CARBONO/EPÓXI PARA O PROTÓTIPO BAJA – SACI VII: PROJETO ESTRUTURAL E VALIDAÇÃO	
Rafael Pereira da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180218</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>153</b>
ESTUDO NUMÉRICO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM DISSIPADORES	
Ulysses Lucius Salles Pereira Ana Lúcia Fernandes de Lima e Silva Amanda Aparecida Silva Angel Edecio Malaguera Mora	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180219</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>174</b>
FATORES TERMODINÂMICOS ASSOCIADOS À CONVECÇÃO PROFUNDA SOBRE A REGIÃO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA	
Gabriel Miller de Oliveira Marcos Daisuke Oyama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180220</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>184</b>
EVALUATION OF HETEROGENEOUS CATALYSTS DERIVED FROM WHITE AND BROWN CHICKEN EGG SHELL FOR SOYBEAN BIODIESEL SYNTHESIS	
Diego Oliveira Cordeiro Marta Maria da Conceição Luis Ferreira de Lima Janduir Egito da Silva Eduardo Lins Barros Neto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180221</b>	



<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>200</b>
SÍNTESE E ESTUDO DE HIDROXIAPATITA E BETA FOSFATO TRICÁLCICO PARA USO BIOMÉDICO	
Thatiane Cristine Silva Pereira Batista	
Gerson Avelino Fernandes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180222</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>213</b>
DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES COM O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NA INDÚSTRIA SUÍNA. ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE CUNHA, SÃO PAULO	
Larissa Ferraz Felipe Santos	
Christian Jeremi Rodriguez Coronado	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180223</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>228</b>
PRODUÇÃO ECOLÓGICA DE SABÕES	
João Gabriel da Silva Andrade	
Valéria Aquilino Barbosa	
Tânia Mara Rizzato	
Vagner Roberto Batistela	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180224</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>244</b>
PROPOSTA DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NAS ETAPAS DE QUEIMA E, INSPEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO, EM UMA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA NO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PARÁ	
Magda Tayane Abraão de Brito	
Rayssa Bezerra Silva	
Antônio Pereira Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25119180225</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>265</b>

## ÓXIDO DE ZINCO (ZNO) E A DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DA CAFEÍNA

### **Lariana Negrão Beraldo de Almeida**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química – Maringá- Paraná

### **Giane Gonçalves Lenzi**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Departamento de Engenharia Química – Ponta Grossa - Paraná

### **Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Departamento de Engenharia Química – Ponta Grossa - Paraná

### **Onelia Aparecida Andreo dos Santos**

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química – Maringá- Paraná

**RESUMO:** O ZnO é um semicondutor que pode ser utilizado em reações fotocatalíticas devido ao seu baixo custo, forte capacidade de oxidação e por apresentar boas propriedades fotocatalíticas. Dentre muitas vantagens da utilização do ZnO na fotocatalise heterogênea tem-se que, este material, pode absorver uma ampla faixa de espectro solar e maior quantidade de irradiação do que alguns óxidos metálicos semicondutores. O comprimento de onda correspondente do ZnO é 425 nm. Procedimentos como tratamento térmico e adição de aditivos ou metais, podem alterar positivamente as características do ZnO e,

consequentemente, beneficiar os resultados da fotodegradação. Neste capítulo, serão apresentados resultados de degradação de cafeína utilizando ZnO impregnado ou não com Fe e Ag, bem como antes e após a calcinação a 400 °C. Além disso, caracterização de área específica, difração de raios X e espectroscopia fotoacústica, e comparação com a literatura atual sobre outras fotoreações contendo ZnO e cafeína também será retratado.

**PALAVRAS-CHAVES:** Cafeína, Degradação, Fotocatálise heterogênea, semicondutor, ZnO.

**ABSTRACT:** The ZnO is a semiconductor can be used in photocatalytic reactions due to its low cost, strong oxidation capacity and good photocatalytic properties. Among the many advantages of using ZnO in photocatalysis is that ZnO can absorb a wide range of solar spectrum and greater amount of light than some semiconducting metal oxides. The corresponding threshold of ZnO is 425 nm. Procedures such as thermal treatment, addition of additives or metals, can positively alter the characteristics of ZnO and consequently benefit the results of the photodegradation. In this chapter, will be presented results of caffeine degradation using ZnO impregnated or not with Fe and Ag, as well as before and after the calcination at 573 K. Moreover, characterization of specific area, X-Ray

diffraction and Photoacoustic spectroscopy, and comparison with current literature on other photoreactions containing ZnO will also be portrayed.

**KEYWORDS:** Caffeine, Degradation, Heterogeneous photocatalysis, semiconductor, ZnO.

## 1 | INTRODUÇÃO

Neste capítulo, o ZnO é apresentado como material semicondutor aplicado na fotodegradação da cafeína, uma substância muito comum encontrada em bebidas como cafés e chás, mas quando detectada em corpos hídricos e até em água para consumo humano, classifica-se como um contaminante de preocupação emergente, tais compostos são assim denominados por não haver legislação sobre o limite de descarte no meio ambiente, bem como seus efeitos aos seres humanos ainda são pouco conhecidos. Além do mais, a presença de tais substâncias nas matrizes aquáticas pode alertar sobre falhas no sistema de tratamento de efluentes e águas.

Diante desta problemática, pesquisadores estão buscando processos e técnicas que degradem e consigam mineralizar tais compostos classificados como contaminantes de preocupação emergente. Dentre os métodos pesquisados, tem-se os processos oxidativos avançados (POA's) que são capazes de degradar as moléculas orgânicas por meio da geração de radicais hidroxila muito reativos (DEWIL et al., 2017). O radical hidroxila pode ser produzido por meio de reações que envolvam radiação UV, de substâncias com forte potencial oxidante como ozônio ( $O_3$ ) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), por semicondutores como o óxido de zinco (ZnO) e dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) ou ainda por meio das combinações destes ( $O_3/H_2O_2$ ,  $O_3/UV$ ,  $H_2O_2/UV$ , entre outros) (AMORIM; LEÃO; MOREIRA, 2009; ARAÚJO et al., 2016).

Embora possam haver outros elementos presentes na reação que atuem na degradação do poluente, em geral, acredita-se que o radical hidroxila é o principal responsável por essa reação, na qual irá atacar o composto orgânico por meio da abstração de hidrogênio da molécula (AZBAR; YONAR; KESTIOGLU, 2004).

Os POA's podem ser divididos em homogêneos e heterogêneos. O sistema homogêneo contém apenas uma fase e pode ser classificado como: fotólise direta ou geração de radical hidroxila. Na fotólise direta, a luz ultravioleta (UV) é a fonte exclusiva a degradar o composto orgânico, já na geração de radical hidroxila utilizam-se oxidantes fortes como ozônio, peróxido de hidrogênio para a degradação, podendo estes serem conciliados ou não com a radiação. Já os POA's heterogêneos apresentam em seu sistema, semicondutores que participarão como catalisadores da reação, tais como em sistemas de eletro-fenton e a fotocatalise heterogênea (JARDIM, Wilson de Figueiredo; TEIXEIRA, 2004).

No processo de fotocatalise heterogênea, que é o POA em que daremos enfoque neste capítulo, alguns fatores podem influenciar a reação, tais como o pH, intensidade da fonte luminosa, concentração inicial do poluente e o semicondutor, no entanto, esse

último, merece uma atenção especial; sua escolha, custo e suas propriedades fazem toda diferença na reação química.

É neste ponto que surgem algumas perguntas como, qual melhor semiconductor a ser utilizado? O que é importante saber sobre suas características? Como fazer para melhorar o desempenho fotocatalítico do catalisador? A seguir, mostraremos algumas destas respostas aplicadas especificamente na degradação da cafeína.

## 2 | ZnO NA FOTODEGRADAÇÃO DA CAFEÍNA

### 2.1 Cafeína e sua presença no meio ambiente

A cafeína é uma substância orgânica pertencente à classe das metilxantinas, sua estrutura é caracterizada como 1,3,7-trimetilxantina tendo sua fórmula e peso molecular como  $C_8H_{10}N_4O_2$  e  $194,19 \text{ g mol}^{-1}$ , respectivamente (MONTAGNER et al., 2014). Tal substância está presente em produtos alimentícios bastante consumidos no dia a dia, tais como café, chás e bebidas energéticas (MEJIA; RAMIREZ-MARES, 2014; MONTAGNER et al., 2014)

Após consumida, a cafeína é excretada pelo corpo humano por meio da urina e assim atinge o esgoto doméstico, que se for despejado sem tratamento prévio pode poluir o corpo hídrico receptor deste efluente, e quando detectada em corpos hídricos tal substância é classificada como um contaminante de preocupação emergente.

Um dos primeiros estudos a identificar tais contaminantes em corpos d'água foi realizado em 1998 por Thomas A. Ternes. O pesquisador detectou algumas drogas e metabólitos selecionados em um rio na Alemanha, concluindo que as etapas da estação de tratamento de esgoto local eram insuficientes para eliminar completamente tais compostos (TERNES, 1998).

Desde então, estudiosos encontraram diversos contaminantes emergentes nas mais diversas matrizes ambientais, tais como em efluentes da estação de tratamento de esgoto (KOSMA; LAMBROPOULOU; ALBANIS, 2010) em águas de superfície (KIM et al., 2007; MEFFE; BUSTAMANTE, 2014; PITARCH et al., 2016; ROBLES-MOLINA et al., 2014) E em águas para consumo humano (JARDIM et al., 2012; RODIL et al., 2012) e em águas subterrâneas (KONG et al., 2016; LAPWORTH et al., 2012; PITARCH et al., 2016)

### 2.2 POA: Fotocatálise heterogênea

Como mencionando anteriormente, os POA's são processos oxidativos que veem surgindo como tratamentos alternativos ou complementares para a degradação de poluentes orgânicos. A fotocatalise heterogênea se classifica como um POA, e tal processo acontece por meio da aceleração da taxa de uma determinada reação química induzida pela absorção da luz por um catalisador ou molécula existente

(GAYA, 2014). Em outras palavras, a reação de fotocatalise heterogênea, ocorre quando um fotocatalisador (semicondutor como  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZnO}$ ) recebe por irradiação, fótons de energia superior ou igual à sua energia de band gap, propiciando a transição eletrônica, ou seja, um elétron sai da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC) promovendo uma lacuna ( $h^+$ ) na BV com potencial positivo e que por meio de moléculas de água adsorvidas na superfície do fotocatalisador, gera radicais hidroxila ( $\text{HO}\cdot$ ) os quais posteriormente podem reagir com o poluente orgânico oxidando-o (HERRMANN, 2010; ZIOLLI; JARDIM, 1998).

Alguns fatores influenciam na reação fotocatalítica, tais como o pH, intensidade da fonte luminosa, concentração inicial do poluente e o semicondutor, no entanto, esse último, merece uma atenção especial, sua escolha, seu custo e suas propriedades fazem toda diferença na reação química.

Os fotocatalisadores comumente utilizados são semicondutores inorgânicos, que estão sob a forma de óxidos, sulfetos, compósitos e óxidos complexos, como por exemplo, o  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnS}$ , entre outros, que em sua condição normal, os níveis de energia são descontínuos, não conduzem energia, contudo, quando em contato com fótons de energia igual ou maior à energia de band gap, ocorre a excitação eletrônica (ZIOLLI; JARDIM, 1998).

Como o processo de fotocatalise heterogênea tem como base a adsorção, a superfície do catalisador tem grande influência, devendo então ser fotoquimicamente resistente e fotoativa. Além disso, a cristalinidade, composição, área específica, a facilidade do processo de recombinação do par elétron-lacuna, podem também influenciar a reação fotocatalítica (GAYA, 2014).

### 2.3 ZnO como fotocatalisador

Um dos catalisadores mais utilizados é o  $\text{TiO}_2$ , devido à sua fotoestabilidade e por não ser tóxico. No entanto, o  $\text{ZnO}$  vem ganhando bastante destaque entre os materiais selecionados para as reações de fotocatalise por se apresentar com baixo custo, forte capacidade de oxidação e boa propriedade fotocatalítica. É um pó branco, inodoro e insolúvel em água e pode ser utilizado como catalisador em indústrias de borracha, de pintura, de fertilizantes e de cosméticos (LEE et al., 2016) Estudos recentes têm utilizado o óxido de zinco em reações fotocatalíticas como semicondutor na degradação de poluentes, tais como: na degradação do fármaco Alprazolam (FINCUR et al., 2017), cafeína e do corante resazurina (BITENC et al., 2013), os compostos sulfametoxazol, trimetoprima e diclofenaco (CRUZ et al., 2010), corante violeta de metila (JEYASUBRAMANIAN; HIKKU; SHARMA, 2015) entre outros.

O óxido de zinco apresenta energia de band gap (3,3 eV) próxima à energia do  $\text{TiO}_2$  na forma anatase, sendo assim, estima-se que a sua ação fotocatalítica seja parecida ao  $\text{TiO}_2$  o que o torna uma alternativa na utilização em processos fotocatalíticos pois,

o ZnO é relativamente mais barato que o TiO<sub>2</sub>. Outra característica interessante do composto é que ele consegue absorver uma ampla gama do espectro solar, contudo uma desvantagem é que pode ocorrer a fotocorrosão (LEE et al., 2016; MIRZAEI et al., 2016), ou seja, perda mássica de ZnO pela liberação de íons Zn<sup>+2</sup> na solução aquosa (HAN et al., 2014; VU et al., 2013)

Em relação à estrutura cristalina do ZnO ele pode apresentar três formas diferentes rocksalt, wurtzite e zinc blend. A estrutura rocksalt só é produzida sob altas pressões, sendo então a forma mais rara do óxido de zinco, já as estruturas wurtzite (hexagonal) e a zinc blend (cúbica) apresentam-se bem semelhantes tendo apenas o ângulo das unidades tetraédricas diferentes, sendo 60° para zinc blend e 0° para wurtzite. Das três, a estrutura mais comum é a wurtzite, pois apresenta maior estabilidade termodinâmica entre as demais estruturas (ASHRAFI; JAGADISH, 2007; LEE et al., 2016)

Ainda em relação à estrutura cristalina do ZnO, de acordo com Wang et al. (WANG et al., 2017) o óxido de zinco possui alguns defeitos intrínsecos, como por exemplo vacâncias de oxigênio e vacâncias de íons de zinco que podem desempenhar papel importante na atividade fotocatalítica do material, contudo, os pesquisadores revelam que grandes defeitos na estrutura do ZnO podem resultar em uma diminuição da atividade fotocatalítica, isto porque podem atuar como centros de recombinação do par elétron-lacuna. Bhatia e Verma (BHATIA; VERMA, 2017) verificaram experimentalmente que um aumento nos defeitos na superfície do ZnO, bem como a variação na energia de band gap do material melhorou a eficiência fotocatalítica do ZnO estudado.

Com o intuito de melhorar o desempenho fotocatalítico do catalisador, tratamentos térmicos, como a calcinação, podem ser aplicados, assim como a adição de compostos à superfície destes materiais, tais como metais de transição. Tem-se como exemplos: prata em Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SILVA et al., 2002) e em TiO<sub>2</sub> (CHAKER et al., 2016; LENZI et al., 2011) e catalisadores de TiO<sub>2</sub> dopados com diferentes metais tais como, cobre, ouro, zinco, paládio, ferro, alumínio, estanho (CORRADINI et al., 2008; DA SILVA; LANSARIN; MORO, 2013; MAHY et al., 2016).

## 2.4 Efeito da calcinação no ZnO na fotodegradação da cafeína

A calcinação é uma reação endotérmica, ou seja, a reação direta é favorecida por altas temperaturas. É um tratamento térmico aplicado à sólidos, e que pode remover impurezas e componentes orgânicos rapidamente, assim como modificar a estrutura, área específica e a distribuição dos sítios ativos na superfície do sólido (ALMEIDA et al., 2017; STANMORE; GILOT, 2005)

Em 2017, realizou-se um estudo (ALMEIDA et al., 2017) para verificar e comparar a atuação do ZnO não calcinado e calcinado em quatro etapas, na degradação da cafeína. O processo de calcinação seguiu as seguintes condições: partiu-se da temperatura de 25 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup> foi para 100 °C,

no qual permaneceu por 30 min, em seguida foi para 200 e 300 °C da mesma forma, e por último atingiu 400 °C e permaneceu por 240 min.

Por meio da caracterização foi possível verificar que houve algumas alterações no ZnO não calcinado e pós calcinação, o que refletiu no desempenho fotocatalítico. Os resultados da área específica, volume de poro, diâmetro médio de poro, energia de band gap e comprimento de onda de absorção são mostrados na Tabela 1.

<b>Catalisador</b>	<b>Área específica (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volume de poro (cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Diâmetro médio de poro (Å)</b>	<b>Band gap (eV)</b>	<b>Comprimento de onda de absorção (nm)</b>
ZnO não calcinado	7.895	0.01154	29.23	3.12	398
ZnO calcinado	9.835	0.01285	26.12	3.11	399

Tabela 1. Características do ZnO calcinado e não calcinado aplicado à fotodegradação da cafeína.

Além do mais, na caracterização de difração de Raios-X (DRX) ambos catalisadores apresentaram estrutura cristalina wurtzite hexagonal, mostrando que o tratamento térmico à 673 K não modificou a estrutura cristalina do ZnO. Em relação a área específica nota-se que houve um aumento quando o ZnO fora calcinado que pode ser referido à liberação de resíduos adsorvidos na superfície do catalisador, e conseqüentemente o aumento da área específica. Além disso a calcinação em mais de uma etapa pode ser utilizada para produzir poros e amostras uniformes, a temperatura de calcinação, tempo e a taxa de aquecimento pode ser ajustado para modular tamanho, morfologia e cristalinidade dos materiais (PAN et al., 2016).

Já para os valores de band gap e conseqüentemente do comprimento de onda de absorção, verifica-se que tal processo de calcinação em 4 etapas não alterou expressivamente os valores.

Em relação à aplicação do ZnO calcinado e não calcinado na degradação da cafeína, a Figura 1 apresenta o comportamento do composto orgânico durante o tempo de reação.

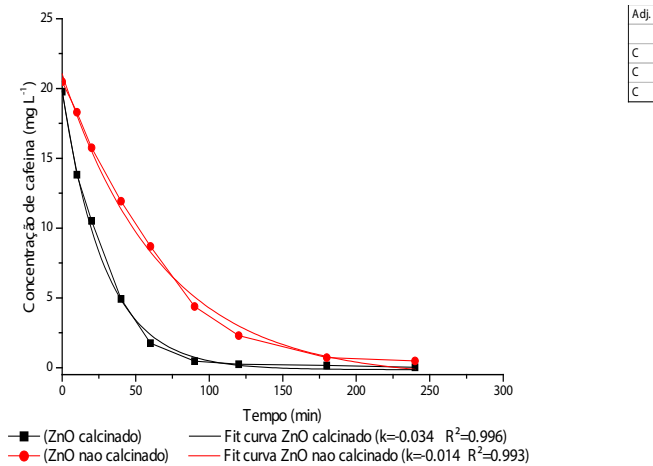


Figura 1. Evolução da concentração de cafeína durante a reação de fotodegradação com ZnO calcinado e não calcinado.

Nota-se que ambos os catalisadores foram eficazes na degradação da cafeína, sendo que o catalisador calcinado apresentou uma resposta mais rápida à reação, em outras palavras, degradou mais rapidamente o composto orgânico. Isso é comprovado pela constante de velocidade da reação ( $k$ ) que foi obtida por meio do ajuste não linear, o valor  $k$  para o ZnO calcinado foi superior ao valor do  $k$  para ZnO não calcinado. Tal comportamento está relacionado às características do material que se apresentaram mais favoráveis à reação, em especial a área específica que exibiu a maior diferença.

## 2.5 Efeito da Adição de Metais À Superfície do ZnO na Degradação da Cafeína

A adição de metais à superfície de catalisadores, não é uma prática nova no meio fotocatalítico, contudo, há uma vasta possibilidade de combinação de metais com o semicondutor na aplicação nas mais diversas reações.

Algumas pesquisas em variadas aplicações já revelaram resultados positivos quanto a incorporação de metais à superfície de ZnO, tais como: Ag em ZnO na degradação do azul de metileno (HEIGHT et al., 2006; NGHIA et al., 2012), Fe em ZnO na degradação do Rhodamina B (RhB) (YI et al., 2014), Fe em ZnO na decomposição aquosa do p-nitrofenol (ROKHSAT; KHAYATIAN, 2018),  $\text{Sr}^{2+}$  em ZnO na oxidação fotocatalítica do laranja de metila e no azul de metileno (KUMARAN; MURALEEDHARAN, 2017), dentre outros.

Neste tópico será apresentado resultados da degradação da cafeína utilizando ZnO com ferro e prata e comparar-se-á aos resultados obtidos pela literatura atual.

Os catalisadores de ZnO dopados com Fe e Ag foram preparados pelo método de impregnação via úmida como descrito em (LENZI et al., 2011). A carga metálica nominal de prata e ferro impregnada em ZnO foi de 8% em peso de Ag e 8% em peso de Fe



Os testes fotocatalíticos foram realizados com solução de cafeína com concentração de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  em água ultrapura, com quantidade de catalisador de  $0,3 \text{ g L}^{-1}$ . A reação foi conduzida em reator de vidro de formato cilíndrico, com sistema de refrigeração (encamisado) e agitação magnética constante. Além disso o reator manteve-se aberto ao ambiente durante todo o tempo de reação e em tempos determinados amostras foram coletadas e filtradas (para separação do catalisador) e as leituras realizadas em espectrofotômetro UV-Vis.

A Figura 2 mostra os materiais utilizados como catalisadores e a Figura 3 apresenta os resultados obtidos para os catalisadores de ZnO dopados com Fe e Ag na fotodegradação da cafeína.

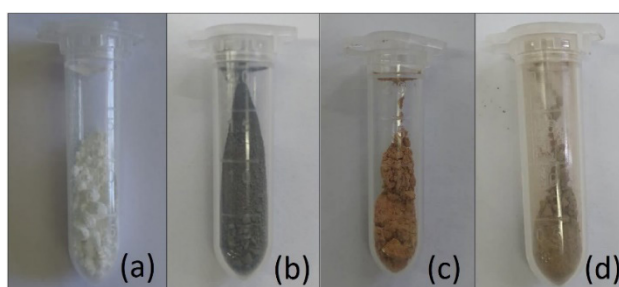


Figura 2. Catalisadores (a) ZnO, (b) 8%Ag-ZnO, (c) 8%Fe-ZnO and (d) 8%Ag-8%Fe-ZnO

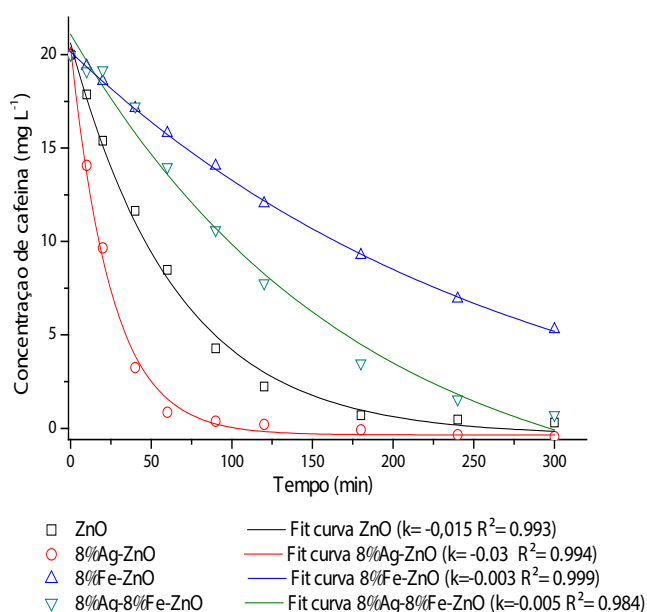


Figura 3. Degradação da cafeína com ZnO dopado com Fe e Ag.

Primeira observação é em relação à coloração dos materiais. Como dito anteriormente o ZnO se apresenta como um pó branco, já com a adição de Ag o material passou a apresentar uma coloração cinza e quando adicionado Fe, uma coloração marrom. Já para a adição simultânea de Fe e Ag a coloração marrom predominou.

Quando observamos a Figura 3, nota-se que os quatro catalisadores utilizados apresentaram uma boa degradação da cafeína ao final dos 300 minutos de reação,

segundo a seguinte ordem decrescente: 8%Ag-ZnO, ZnO, 8%Ag-8%Fe-ZnO e 8%Fe-ZnO. Para auxiliar a compreensão do comportamento dos materiais testados, algumas caracterizações foram realizadas:

**Difração de raios-X (DRX):** As análises dos materiais foram realizadas em um difratômetro Rigaku-Denki com radiação Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) a uma tensão de 140 V e uma corrente de 40 mA. Os padrões obtidos foram então comparados com os cartões de dados de difração do Joint Committee of Powder Drifraction Standards.

**Propriedades dos poros (Método B.E.T.):** Área específica, diâmetro médio dos poros e volume de poros foram estabelecidos usando um analisador QUANTACHROME - Modelo Nova-1200 com adsorção de N $_2$  a 77 K. As amostras foram previamente submetidas a um tratamento térmico a 573 K, sob vácuo de 2 horas para eliminar a água os poros dos sólidos.

**Espectroscopia fotoacústica:** As análises para determinação da energia de band gap e o comprimento de onda de absorção foram realizadas seguindo as mesmas condições descritas em (ALMEIDA et al., 2017).

Os resultados da caracterização são apresentados na Figure 4 e Tabela 2.

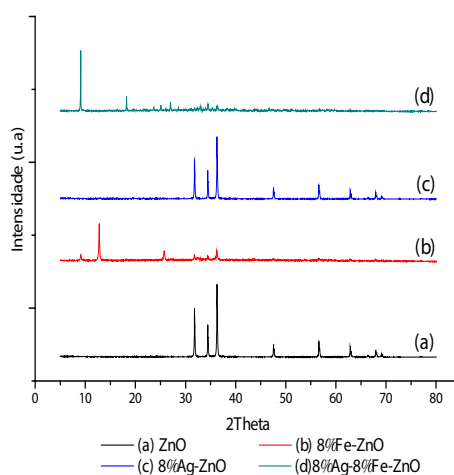


Figura 4. DRX para os catalisadores de ZnO puro e dopados com Fe e Ag.

Catalisador	Área específica (m $^2$ g $^{-1}$ )	Volume de poro (cm $^3$ g $^{-1}$ )	Diâmetro médio de poro (Å)	Band Gap (eV)	Comprimento de onda de absorção (nm)
ZnO	08	0.0115	29	3.12	397
8%Ag-ZnO	08	0.0113	29	3.92	316
8%Fe-ZnO	11	0.0161	31	3.37	367
8%Ag-8%Fe-ZnO	05	0.0071	28	3.33	372

Tabela 2. Área específica, volume de poro, diâmetro médio de poro, band gap e comprimento de onda de absorção para os catalisadores estudados.

Quanto ao DRX apresentado na Figura 4, nota-se que todos os materiais apresentaram ZnO na forma hexagonal wurtzite, sendo esta a mais comum para este material. Os picos característicos desta forma cristalina estão localizados em aproximadamente  $2\theta=32, 34, 36, 47, 57, 62$  e  $68^\circ$ . Logo verifica-se que o processo de adição de metais à superfície do ZnO não modificou a estrutura cristalina do material, embora os picos característicos apresentaram menor intensidade quando apenas com Fe e com Fe e Ag. Em relação ao catalisador com 8%Ag e 8%Fe, foi identificado picos característicos ao nitrato de Ag ( $\text{AgNO}_3$ ) e óxido Fe ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), respectivamente; ambos com forma cristalina ortorrômbica. Yi et al. (2014) estudaram catalisadores à base de ZnO dopados com ferro, também observaram menor intensidade nos picos característicos de ZnO com a adição do metal. Os autores relacionaram esta redução de cristalinidade da partícula devido à incorporação do metal no material.

Para o catalisador bimetálico contendo Fe e Ag, foi possível identificar, hidróxido de zinco nitrato hidratado ( $\text{Zn}_5(\text{OH})_8(\text{NO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2$ ) em sistema cristalino monoclinico e nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) com cristalinidade ortorrômbica. Contudo, não foi possível identificar ferro na estrutura do material.

Sobre a análise textural e de espectroscopia fotoacústica, os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que a adição apenas de Ag não modificou o tamanho da área específica e o diâmetro médio de poro, contudo, diminuiu o volume de poro. Quando adicionado apenas Fe ao ZnO, nota-se um pequeno aumento em todas as variáveis. Por outro lado, a adição simultânea de Fe e Ag diminuiu a área específica, volume de poro e o diâmetro médio de poro. Tais modificações podem ser consideradas pequenas, mas que provavelmente favoreceram ou não, a performance dos catalisadores durante a reação. Além disso, de modo geral, a adição tanto de prata quanto de Fe aumentou a energia de band gap do ZnO mas todos os catalisadores apresentaram comprimento de onda de absorção na região do ultravioleta < 400 nm. De acordo Rodnyi e Khodyuk (2011) a adição de alguns elementos, tais como Ga, In, Mg, pode provocar um deslocamento da borda de adsorção óptica dos cristais fazendo com que o valor do band gap aumente.

Analisando os dados das caracterizações com os resultados da fotodegradação da cafeína, verifica-se que a adição de ferro na superfície do ZnO, tanto na composição do catalisador monometálico (8%Fe-ZnO) quanto na composição do catalisador bimetálico (8%Ag-8%Fe-ZnO), não favoreceu o desempenho do catalisador. Na presença de 8%Fe-ZnO e de 8%Ag-8%Fe-ZnO, a degradação da cafeína foi de aproximadamente 73,5% e de 96,4%, respectivamente para 300 min de reação.

Por sua vez, a adição de prata na superfície do ZnO, na composição do catalisador monometálico (8%Ag-ZnO), aumentou a atividade catalítica com relação ao ZnO puro, visto que o catalisador com apenas Ag apresentou na primeira hora de reação uma degradação aproximadamente de 96%.

No presente estudo, a adição de Ag na superfície do ZnO aumentou a energia de band gap do material (3,12 eV para 3,9 eV para as amostras ZnO puro e 8%Ag-ZnO,

respectivamente) o que teoricamente não deveria favorecer a reação de degradação, no entanto, em relação aos componentes presentes na amostra, determinados pela análise de difração de raios-x, há uma diferença na composição da estrutura do catalisador 8%Ag/ZnO, ou seja, foi observado a presença de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ). Desta forma, provavelmente, o nitrato de prata favoreceu a atividade catalítica do ZnO por ter evitado que o processo de recombinação do par elétron-lacuna acontecesse. Hsu e Chang (2014) sintetizaram nanobastões de Ag em ZnO em malhas de arame de aço inoxidável, e estudaram tais catalisadores na degradação de corante alimentício Black 2; os autores verificaram que a adição de Ag na superfície de ZnO promoveu a separação de pares de elétron-lacunas fotoinduzidos, aumentando a atividade fotocatalítica do material.

Para melhor visualização do desempenho do nosso catalisador com os outros já descritos na literatura tem-se a Tabela 3.

A Tabela 3 apresenta uma comparação com os estudos já encontrados na literatura sobre a degradação da cafeína utilizando ZnO como fotocatalisador.

Catalisador	Preparação do catalisador	Processo utilizado	Resultado	Referência
8%Ag-ZnO	Método de impregnação	Fotocatálise	95.7% em 60 min 99% em 120 min 100% em 240 min	Nosso estudo
5%Ag-ZnO- $\text{Al}_2\text{O}_3$	Co precipitação + processo cerâmico	Fotocatálise	100% em 55 min	(ELHALIL, Alaâeddine et al., 2017)
1%Mg-ZnO- $\text{Al}_2\text{O}_3$	Co precipitação + processo cerâmico	Fotocatálise	98.9% em 70 min	(ELHALIL, A et al., 2018a)
5%Ca-ZnO- $\text{Al}_2\text{O}_3$	Co precipitação + processo cerâmico	Fotocatálise	98.5% em 70min	(ELHALIL, A et al., 2018b)
ZnO/ZEO compoóitos; 6.1% em peso	Método de impregnação	Adsorção + Fotocatálise	60% em 120 – adsorção 100% em 120 min - fotocatalise	(SACCO; VAIANO; MATARANGOLO, 2018)

Tabela 3. Comparação com estudos reportados na literatura atual com diferentes catalisadores de ZnO na degradação da cafeína.

Pela Tabela 3, é possível observar que nosso estudo proporciona ótimos desempenhos para a degradação da cafeína por fotocatalise heterogênea utilizando o ZnO com Ag como fotocatalisador. Além de apresentar uma metodologia de síntese muito simples e com baixos custos.

### 3 | CONCLUSÃO

A partir desse estudo é possível observar que o ZnO tem se apresentado um

material promissor em reações de fotocatalise heterogênea. Essa tendência está relacionada as boas propriedades de fotoestabilidade e fotoatividade que o óxido de zinco pode proporcionar. Em relação à aplicação do ZnO à degradação do composto orgânico, cafeína, nota-se que a calcinação pode favorecer o desempenho do ZnO isso porque, o tratamento térmico pode aumentar a área específica e diminuir a energia de band gap, fatos estes que favorecem a reação. Em paralelo ao tratamento térmico que pode apresentar melhoras às características do ZnO como fotocatalisador, a adição de metais à superfície do material pode mostrar-se atraente também. No presente estudo, provou-se que a adição de prata favoreceu a fotoreação de degradação da cafeína, contudo a adição simultânea de Fe and Ag bem como apenas a adição de Fe prejudicou o ZnO. Provavelmente o composto orgânico apresenta maior facilidade em ser adsorvida na superfície do catalisador contendo prata no estado de oxidação mais alto, óxido de prata, ou ainda na forma de nitratos de prata. Além da presença do metal à superfície, pode ter dificultado a recombinação do par elétron-lacuna. Diversas combinações de metais com ZnO podem ser feitas e testadas a fim de encontrar-se a melhor proporção e condições para aplicação em reações fotocatalíticas a fim de aplicá-las em tratamentos de água.

#### 4 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao COMCAP e a UTFPR pelas análises realizadas e ao CNPq pelo suporte financeiro.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.N.B. et al. Performance Evaluation of Catalysts of ZnO in Photocatalytic Degradation of Caffeine Solution. **Chemical Engineering Transactions**, v. 57, p. 667–672, 2017.

AMORIM, Camila Costa De; LEÃO, Mônica Maria Diniz; MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz. Comparison of Various Advanced Oxidation Processes for Azo Dye Degradation. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 14, p. 543–550, 2009.

ARAÚJO, Karla Santos De et al. Advanced Oxidation Processes: A Review of Fundamentals and Applications in the Treatment of Urban and Industrial Wastewaters. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, p. 387–401, 2016.

ASHRAFI, A; JAGADISH, C. Review of Zincblende ZnO : Stability of Metastable ZnO Phases. **Journal of Applied Physics**, v. 102, p. 01-12, 2007.

AZBAR, N; YONAR, T; KESTIOGLU, K. Comparison of Various Advanced Oxidation Processes and Chemical Treatment Methods for COD and Color Removal from a Polyester and Acetate Fiber Dyeing Effluent. **Chemosphere**, v. 55, p. 35–43, 2004.

BHATIA, Sonik; VERMA, Neha. Photocatalytic Activity of ZnO Nanoparticles with Optimization of Defects. **Materials Research Bulletin**, v. 95, p. 468–476, 2017.

BITENC, Marko et al. The Impact of ZnO Load , Stability and Morphology on the Kinetics of the

- Photocatalytic Degradation of Caffeine and Resazurin. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 137, p. 202–209, 2013.
- CHAKER, H et al. Photocatalytic Degradation of Methyl Orange and Real Wastewater by Silver Doped Mesoporous TiO<sub>2</sub> Catalysts. **Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry**, v. 318, p. 142–149, 2016.
- CORRADINI, S. A.da S. et al. Characterization and Hydrogenation of Methyl Oleate over Ru/TiO<sub>2</sub>, Ru-Sn/TiO<sub>2</sub> Catalysts. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 354, p. 4865–4870, 2008.
- CRUZ, Lutécia H et al. Photocatalytic Degradation of Sulfametoxazole, Trimethoprim and Diclofenac in Aqueous Solutions. **Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1270–1274, 2010.
- DA SILVA, William Leonardo; LANSARIN, Marla Azário; MORO, Celso Camilo. Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of Nanostructured TiO<sub>2</sub> Catalysts Doped with Metals. **Química Nova**, v. 36, p. 382–386, 2013.
- DEWIL, Raf et al. New Perspectives for Advanced Oxidation Processes. **Journal of Environmental Management**, v. 195, p. 93–99, 2017.
- ELHALIL, A et al. Photocatalytic Degradation of Caffeine as a Model Pharmaceutical Pollutant Mg Doped ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Heterostructure. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, 2018a.
- ELHALIL, A et al. Synthesis, Characterization and Efficient Photocatalytic Activity of Novel Ca / ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanomaterial. **Materials Today Communications**, v. 16, p. 194–203, 2018b.
- ELHALIL, Alaâeddine et al. Enhanced Photocatalytic Degradation of Caffeine as a Model Pharmaceutical Pollutant by Ag-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite. **Desalination and Water Treatment**, v. 94, p. 254–262, 2017.
- FINCUR, Nina L et al. Removal of Alprazolam from Aqueous Solutions by Heterogeneous Photocatalysis: Influencing Factors, Intermediates, and Products. **Chemical Engineering Journal**, v. 307, p. 1105–1115, 2017.
- GAYA, Umar Ibrahim. **Heterogeneous Photocatalysis Using Inorganic Semiconductor Solids**. [S.l.: s.n.], 2014. v. 39.
- HAN, Chuang et al. Improving the Photocatalytic Activity and Anti-Photocorrosion of Semiconductor ZnO by Coupling with Versatile Carbon. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 16, p. 16891–16903, 2014.
- HEIGHT, Murray J. et al. Ag-ZnO Catalysts for UV-Photodegradation of Methylene Blue. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 63, p. 305–312, 2006.
- HERRMANN, Jean-marie. Photocatalysis Fundamentals Revisited to Avoid Several Misconceptions. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 99, p. 461–468, 2010.
- HSU, Mu-hsiang; CHANG, Chi-jung. Ag-Doped ZnO Nanorods Coated Metal Wire Meshes as Hierarchical Photocatalysts with High Visible-Light Driven Photoactivity and Photostability. **Journal of Hazardous Materials**, v. 278, p. 444–453, 2014.
- JARDIM, Wilson de Figueiredo; TEIXEIRA, Claudia Poli de Almeida Barêa. **Caderno Temático - Processos Oxidativos Avançados**. Campinas: UNICAMP, 2004. v. 03.
- JARDIM, Wilson F. et al. An Integrated Approach to Evaluate Emerging Contaminants in Drinking Water. **Separation and Purification Technology**, v. 84, p. 3–8, 2012.

- JEYASUBRAMANIAN, K.; HIKKU, G. S.; SHARMA, R. Krishna. Photo-Catalytic Degradation of Methyl Violet Dye Using Zinc Oxide Nano Particles Prepared by a Novel Precipitation Method and Its Anti-Bacterial Activities. **Journal of Water Process Engineering**, v. 8, p. 35–44, 2015.
- KIM, Sang D et al. Occurrence and Removal of Pharmaceuticals and Endocrine Disruptors in South Korean Surface , Drinking , and Waste Waters. **Water Research**, v. 41, p. 1013–1021, 2007.
- KONG, Lingxiao et al. Screening of 1300 Organic Micro-Pollutants in Groundwater from Beijing and Tianjin, North China. **Chemosphere**, v. 165, p. 221–230, 2016.
- KOSMA, Christina I; LAMBROPOULOU, Dimitra A; ALBANIS, Triantafyllos A. Occurrence and Removal of PPCPs in Municipal and Hospital Wastewaters in Greece. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 804–817, 2010.
- KUMARAN, Nimisha N; MURALEEDHARAN, K. Photocatalytic Activity of ZnO and Sr 2+ Doped ZnO Nanoparticles. **Journal of Water Process Engineering**, v. 17, p. 264–270, 2017.
- LAPWORTH, D J et al. Emerging Organic Contaminants in Groundwater : A Review of Sources , Fate and Occurrence. **Environmental Pollution**, v. 163, p. 287–303, 2012.
- LEE, K M et al. Recent Developments of Zinc Oxide Based Photocatalyst in Water Treatment Technology: A Review. **Water Research**, v. 88, p. 428–448, 2016.
- LENZI, G G et al. Photocatalytic Reduction of Hg (II) on TiO<sub>2</sub> and Ag/TiO<sub>2</sub> Prepared by the Sol – Gel and Impregnation Methods. **Desalination**, v. 270, p. 241–247, 2011.
- MAHY, Julien G et al. Towards a Large Scale Aqueous Sol-Gel Synthesis of Doped TiO<sub>2</sub>: Study of Various Metallic Dopings for the Photocatalytic Degradation of Pnitrophenol. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 329, p. 189–202, 2016.
- MEFFE, Raffaella; BUSTAMANTE, Irene. Emerging Organic Contaminants in Surface Water and Groundwater: A First Overview of the Situation in Italy. **Science of the Total Environment**, v. 481, p. 280–295, 2014.
- MEJIA, Elvira Gonzalez; RAMIREZ-MARES, Marco Vinicio. Impact of Caffeine and Coffee on Our Health. **Trends in Endocrinology and Metabolism**, v. 25, n. 10, p. 489–492, 2014.
- MIRZAEI, Amir et al. Removal of Pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Compounds from Water by Zinc Oxide-Based Photocatalytic Degradation : A Review. **Sustainable Cities and Society**, v. 27, p. 407–418, 2016.
- MONTAGNER, Cassiana C et al. **Cafeína Em Águas de Abastecimento Público No Brasil. Capítulo 1- A Cafeína No Ambiente**. [S.l.: s.n.], 2014.
- NGHIA, Nguyen Van et al. Preparation and Characterization of Silver Doped ZnO Nanostructures. **Open Journal of Synthesis Theory and Applications**, v. 1, p. 18–22, 2012.
- PAN, Lun et al. MOF-Derived C-Doped ZnO Prepared via a Two-Step Calcination for Efficient Photocatalysis. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 189, p. 181–191, 2016.
- PITARCH, Elena et al. Comprehensive Monitoring of Organic Micro-Pollutants in Surface and Groundwater in the Surrounding of a Solid-Waste Treatment Plant of Castellón, Spain. **Science of the Total Environment**, v. 548–549, p. 211–220, 2016.
- ROBLES-MOLINA, José et al. Monitoring of Selected Priority and Emerging Contaminants in the

Guadalquivir River and Other Related Surface Waters in the Province of Jaén, South East Spain. **Science of the Total Environment**, v. 479–480, p. 247–257, 2014.

RODIL, Rosario et al. Emerging Pollutants in Sewage, Surface and Drinking Water in Galicia (NW Spain). **Chemosphere**, v. 86, p. 1040–1049, 2012.

RODNYI, P A; KHODYUK, I V. Optical and Luminescence Properties of Zinc Oxide (Review). **Optics and Spectroscopy**, v. 111, p. 776–785, 2011.

ROKHSAT, Eliza; KHAYATIAN, Ali. Enhanced Photocatalytic Activity of Fe Doped ZnO Hierarchical Nanosheets on the Degradation of P- Nitrophenol under Visible Light. **Inorganic and Nano-Metal Chemistry**, p. 1–7, 2018.

SACCO, Olga; VAIANO, Vincenzo; MATARANGOLO, Mariantonietta. ZnO Supported on Zeolite Pellets as Efficient Catalytic System for the Removal of Cadmium by Adsorption and Photocatalysis. **Separation and Purification Technology**, v. 193, p. 303–310, 2018.

SILVA, M K et al. Evaluation of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and Ag/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in the Photocatalytic Degradation of Dyes from Textile Industries. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 19, p. 359–363, 2002.

STANMORE, B. R.; GILOT, P. Review-Calcinación and Carbonation of Limestone During Thermal Cycling for CO<sub>2</sub> Sequestration. **Fuel Processing Technology**, v. 86, p. 1707–1743, 2005.

TERNES, Thomas A. Occurrence of Drugs in German Sewage Treatment Plants and Rivers\*. **Water Research**, v. 32, p. 3245–3260, 1998.

VU, Tan T. et al. Fabrication of Wire Mesh-Supported ZnO Photocatalysts Protected against Photocorrosion. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 140–141, p. 189–198, 2013.

WANG, Hui et al. Interface-Defect-Mediated Photocatalysis of Mesocrystalline ZnO Assembly Synthesized in-Situ via a Template-Free Hydrothermal Approach. **Applied Surface Science**, v. 412, p. 517–528, 2017.

YI, Shasha et al. Enhanced Visible-Light Photocatalytic Activity of Fe / ZnO for Rhodamine B Degradation and Its Photogenerated Charge Transfer Properties. **Applied Surface Science**, v. 319, p. 230–236, 2014.

ZIOLLI, Roberta Lourenço; JARDIM, Wilson F. Mechanism Reactions of Photodegradation of Organic Compounds Catalyzed by TiO<sub>2</sub>. **Quimica Nova**, v. 21, p. 319–325, 1998.



## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**FRANCIELE BONATTO.** Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)- Campus Guarapuava. Graduação e Mestrado em Engenharia de Produção pela UTFPR. Doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: *Supply Chain*, gestão da qualidade e gestão da produção.

**JAIR DE OLIVEIRA** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Administrador de empresas pela UENP. Mestre em administração pela UFPR e doutor em engenharia de produção pela EESC-USP. Trabalha com os temas: Pequena empresa e Ensino para o empreendedorismo.

**JOÃO DALLAMUTA.** Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, gestão Engenharia da Qualidade, Planejamento Estratégico, Estratégia de Marketing

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-125-1

