

# Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Carmen Lúcia Voigt**  
(Organizadora)

# **Princípios de Química**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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. 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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
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> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P957	Princípios de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-422-1 DOI 10.22533/at.ed.221192406  1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia.  CDD 540.7
<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

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1 ..... 1

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO

*Karina Carvalho de Souza*

*Gabriela Rodrigues dos Santos*

*Grazielly Maria Didier de Vasconcelos*

*Paulo Henrique Marrocos de Oliveira*

*Yêda Medeiros Bastos de Almeida*

*Felipe Cunha da Silva Trindade*

*Glória Maria Vinhas*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924061**

### CAPÍTULO 2 ..... 7

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)

*Heloisa Barbara Rozario Azevedo*

*Fabiane De Oliveira Santana*

*Paula Hortência Santos Magalhães*

*Maria Karoline Silva Souza*

*Caio Cezar Neves Kunrath*

*Menilde Araújo Silva Bião*

*Franco Dani Rico Amado*

*Bruno Souza Fernandes*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924062**

### CAPÍTULO 3 ..... 12

OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA

*Pablo Eduardo Costa dos Santos*

*Cristiane Xavier Resende*

*Zaine Teixeira Camargo*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924063**

### CAPÍTULO 4 ..... 19

CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO

*Nívia do Nascimento Marques*

*Rosângela de Carvalho Balaban*

*Sami Halila*

*Redouane Borsali*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924064**

### CAPÍTULO 5 ..... 32

PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECAÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS

*Carlos Bruno Barreto Luna*

*Eduardo da Silva Barbosa Ferreira*

*Danilo Diniz Siqueira  
Edcleide Maria Araújo  
Elieber Barros Bezerra*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924065**

**CAPÍTULO 6 ..... 50**

**SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA**

*Bruna Luiza Batista de Lima  
Nívia do Nascimento Marques  
Marcos Antonio Villetti  
Rosângela de Carvalho Balaban*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

**FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)**

*Rachel Margalho Barreira Valentim  
Izael Pinho dos Santos  
Victor Soares Pereira  
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
Marcos Allan Leite dos Reis*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924067**

**CAPÍTULO 8 ..... 64**

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE**

*Ingrid Lessa Leal  
Yasmin Carolino da Silva Rosa  
Josiane Dantas Viana Barbosa  
Janice Izabel Druzian  
Bruna Aparecida Souza Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924068**

**CAPÍTULO 9 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA**

*Marina R. d Andrade  
Taynã Isis de S. Santana  
Bruna A. S. Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924069**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS**

*Michel Zampieri Fidelis  
Heitor Suyama  
Eduardo Abreu  
Denise Milleo Almeida  
Giane Gonçalves Lenzi*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240610**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>93</b>
UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL	
<i>Fernanda Vieira Amorim</i>	
<i>Márcia Ramos Luiz</i>	
<i>Ewellyn Silva Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO	
<i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>	
<i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>	
<i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>	
<i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>	
<i>Ari Clecius Alves de Lima</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>117</b>
ADSORÇÃO DE CO <sub>2</sub> EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO	
<i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>	
<i>Eloy Sanz-Pérez</i>	
<i>Raul Sanz</i>	
<i>Amaya Arencibia</i>	
<i>Guillermo Calleja</i>	
<i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>132</b>
CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA	
<i>Riann Queiroz Nóbrega</i>	
<i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>	
<i>Lorena Lucena De Medeiros</i>	
<i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>	
<i>Joelma Moraes Ferreira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>140</b>
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL	
<i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>	
<i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<i>Antonio Cícero De Sousa</i>	
<i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240615</b>	

**CAPÍTULO 16 ..... 147**

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

*Suélen Maria de Amorim*  
*Michele Di Domenico*  
*Tirzhá Lins Porto Dantas*  
*Humberto Jorge José*  
*Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240616**

**CAPÍTULO 17 ..... 157**

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

*Joseane Damasceno Mota*  
*Rochelia Silva Souza Cunha*  
*Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos*  
*Meiry Glaucia Freire Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240617**

**CAPÍTULO 18 ..... 166**

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

*Déborah Fernanda Mamedes da Silva*  
*Deivid Sousa de Figueiroa*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240618**

**CAPÍTULO 19 ..... 177**

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

*Nathália Favarin da Silva*  
*Enrique Chaves Peres*  
*Guilherme Luiz Dotto*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

*Ana Clara Correia Queiroz da Silva*  
*Francisco Mateus Gomes do Nascimento*  
*Francisco Renan Lima Amorim*  
*Guilherme Augusto Magalhães Júnior*  
*Cícero Pessoa de Moura*  
*Rafael Ribeiro Portela*  
*Mayara Sousa de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240620**

**CAPÍTULO 21 ..... 195**

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

*Paulo Henrique Almeida da Hora*  
*Lizandra Fernanda Araújo Campos*  
*Antonio Cícero de Sousa*

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

*Giovani Santana Silva*

*Ângelo Capri Neto*

*Maria da Rosa Capri*

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

**CAPÍTULO 23 ..... 215**

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

*Lúcia Allebrandt da Silva Ries*

*Joyce Helena da Silveira*

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

**CAPÍTULO 24 ..... 227**

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

*Sharise Beatriz Roberto*

*Jomar Berton Junior*

*Rúbia Michele Suzuki*

*Elton Guntendorfer Bonafé*

*Makoto Matsushita*

*Edmilson Antonio Canesin*

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

**CAPÍTULO 25 ..... 242**

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

*María Magdalena Costanzo*

*Rocio Belén Garate*

*Nora Alejandra Comelli*

*Nora Andrea Merino*

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

**CAPÍTULO 26 ..... 253**

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

*Kimberly Paim Abeta*

*Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro*

*Larissa Soares Lima*

*Leila Maria Aguilera Campos*

*Sirlene Barbosa Lima*

*Maria Luiza Andrade da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>267</b>
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>282</b>
O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD)	
<i>Eziel Cardoso da Silva</i>	
<i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>	
<i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>	
<i>Antônio Araújo Rodrigues</i>	
<i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>	
<i>Davi da Silva</i>	
<i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>	
<i>Francisco Maycon Soares</i>	
<i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>	
<i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>	
<i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>	
<i>Julianna de Sousa Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240628</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>292</b>

## EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

### **Kimberly Paim Abeta**

Universidade Salvador - UNIFACS, Escola de  
Arquitetura, Engenharia e TI  
Salvador - Bahia

### **Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro**

Universidade Salvador - UNIFACS, Escola de  
Arquitetura, Engenharia e TI  
Salvador – Bahia

### **Larissa Soares Lima**

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Química  
Salvador – Bahia

### **Leila Maria Aguilera Campos**

Universidade Salvador - UNIFACS, Escola de  
Arquitetura, Engenharia e TI  
Salvador - Bahia

### **Sirlene Barbosa Lima**

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Química  
Salvador - Bahia

### **Maria Luiza Andrade da Silva**

Universidade Salvador - UNIFACS, Escola de  
Arquitetura, Engenharia e TI  
Salvador - Bahia

**RESUMO:** A fotocatalise é um dos processos oxidativos avançados mais eficientes e tem sido amplamente utilizado na degradação de compostos orgânicos em efluentes industriais. Há uma grande variedade de semicondutores

utilizados nesse processo e estudos apontam o óxido de cério como uma alternativa por possuir características semelhantes à de materiais já conceituados como o ferro e o cobre. Assim, foram preparados catalisadores de óxido de cério através dos métodos da precipitação e da combustão. Os sólidos foram caracterizados por espectroscopia do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), difração de raios X (DRX), Redução à Temperatura Programada (TPR) e medida de área superficial específica pelo método BET. O óxido obtido apresenta a fase cúbica em ambos os métodos. O sólido obtido por pelo método da combustão apresentou maior facilidade de redução, enquanto que o obtido pelo método da precipitação apresentou maior cristalinidade. Os materiais sintetizados por combustão e precipitação apresentaram área superficial de 77 m<sup>2</sup>/g e 83 m<sup>2</sup>/g, respectivamente, valores mais elevados do que os encontrados na literatura. Os resultados sugerem que os métodos empregados são eficientes na obtenção de óxido de cério com elevada área superficial específica.

**PALAVRAS-CHAVE:** fotocatalise, óxido de cério, método de combustão, método de precipitação

**ABSTRACT:** Photocatalysis is one of the most efficient advanced oxidation processes and it

has been widely used in the degradation of organic compounds in industrial effluents. There is a great variety of semiconductors used in this process and studies point out the cerium oxide as an alternative because it has similar characteristics to materials already known as iron and copper. Thus, cerium oxide catalysts were prepared by precipitation and combustion methods. The solids were characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), Programmed-Temperature Reduction (TPR) and specific surface area measurement by the BET method. The oxide obtained shows the cubic phase in both methods. The combustion method presented greater ease of reduction of the solid, while the coprecipitation method led to greater crystallinity. The materials synthesized by combustion and coprecipitation had a surface area of 77 m<sup>2</sup>/g and 83 m<sup>2</sup>/g, respectively. These values are higher than those found in the literature. The results suggest that the methods employed are efficient in obtaining cerium oxide with high specific surface area.

**KEYWORDS:** photocatalysis, cerium, synthesis

## 1 | INTRODUÇÃO

As águas industriais e residenciais têm em sua composição uma enorme quantidade de compostos orgânicos tóxicos e em grande maioria de difícil degradação. Como consequência, os processos de descontaminação ambiental tem sido alvo de inúmeras pesquisas, uma vez que existe a necessidade de controlar os efeitos prejudiciais que tais contaminantes oferecem ao meio ambiente e para o ser humano. O efluente líquido gerado por refinarias de petróleo, cervejarias e coquearias possui uma alta concentração de compostos fenólicos, que são tóxicos ao meio ambiente e podem causar mortandade de peixes. Atualmente, o tratamento com lodo ativado é bastante utilizado em efluentes industriais, no entanto, devido a toxicidade dos compostos fenólicos, os microrganismos presentes lodo não resistem ao processo com altas concentrações do poluente (SILVA, 2015; BRITTO, 2008).

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) integram uma classe de compostos orgânicos formados por substâncias cuja característica principal é a presença de dois ou mais anéis aromáticos conjugados (DIAS, 2015). Os HPAs são considerados poluentes orgânicos que recebem destaque em estudos ambientais, devido a sua mutagenicidade, persistência e toxicidade. São, portanto, compostos que oferecem risco significativo para a saúde humana (ZHANG, 2008). Tais poluentes podem ser produzidos naturalmente, através da queima de matéria orgânica, por processos de diagênese (causados pelas modificações físicas, biológicas e químicas dos sedimentos após a sua sedimentação) e biossíntese (realizada por micro-organismos ou plantas). Também podem ser produzidos por processos industriais ligados a exploração e refino de petróleo, a indústria de produção de aço e alumínio, além da combustão incompleta de matéria orgânica como incineração de lixo, combustão veicular e queimadas de florestas (MEIRE, AZEREDO, TORRES, 2007).

Os HPAs produzidos pelo homem podem alcançar os ecossistemas marítimos através dos rejeitos industriais, esgotos domésticos, além de desastres ambientais relacionados a vazamentos de petróleo e derivados. Devido a sua persistência no meio ambiente, estas substâncias podem ser integradas à cadeia alimentar e assim são transferidas por diversos níveis tróficos, o que aumenta a sua periculosidade. (DIAS, 2015; MEIRE, 2007; PERIN, 2010; FURLAN, 2011). Dessa forma, é importante o desenvolvimento de pesquisas que visem a detecção destes compostos, o entendimento de suas estruturas e reatividade e sua eliminação do meio ambiente (DIAS, 2015; FURLAN, 2011).

Diante da problemática envolvendo os HPAs, a fotocatalise heterogênea tem apresentado um ótimo desempenho na degradação destes compostos em diversos sistemas de remediação de poluentes, uma vez que é um processo oxidativo avançado que envolve ativação de um semicondutor, através da emissão de luz. O mecanismo funciona devido à existência da banda de valência (BV), a banda de condução (BC) e o espaço entre elas, que é denominado de band-gap, no qual os elétrons transitam. Para superar essa distância, os elétrons do semicondutor absorvem energia, igual ou superior ao band-gap, emitida pela fonte (artificial ou natural), em forma de fótons para saltar da banda de valência para a banda mais externa. Esse movimento gera lacunas na BV que são capazes de oxidar as moléculas de água ou decompor peróxido de hidrogênio em contato com o semicondutor, gerando radicais que serão responsáveis pela degradação do poluente (OLIVEIRA, 2013; POURAN, 2013). O mecanismo citado está evidenciado na Figura 1.

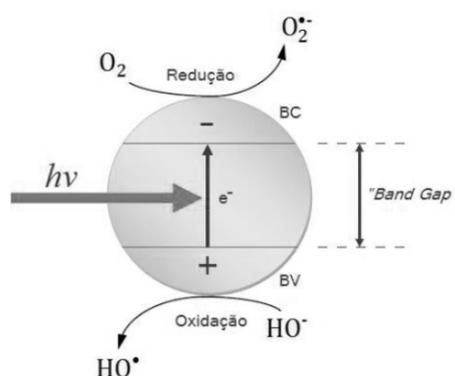


Figura 1 – Esquema representativo da partícula de um semicondutor (ABREU, 2008).

Os catalisadores de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) já estão bastante consolidados na área da fotocatalise, mas recentemente o cério se mostrou um material promissor (ZHANG, 2008; ABREU, 2008). A depender da fase cristalina, o semicondutor  $\text{TiO}_2$  possui uma energia de band-gap relativamente alta, de aproximadamente 3,2 eV. O  $\text{CeO}_2$  possui energia de band-gap de 2,94 eV, a qual possibilita a sua ativação catalítica em comprimentos de onda menos energéticos do que o titânio (CORONADO, 2002). O dióxido de cério apresenta diversas aplicações em processos catalíticos, inclusive na degradação dos HPAs. Wang e Lin (2004), por exemplo, testaram a eficácia de

7 óxidos metálicos –  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  – na incineração catalítica de hidrocarbonetos aromáticos e o dióxido de cério se mostrou o mais ativo entre eles. Da mesma forma, Aranda et al (2009) sintetizaram vários catalisadores de óxido de cério nanocristalinos para a degradação do naftaleno e eles apresentaram elevada atividade na oxidação total do mesmo.

O método utilizado na síntese de catalisadores é um dos fatores que mais influenciam na sua eficiência. Isto por que as etapas e condições de cada método interferem nas propriedades finais do material, tais como o tamanho relativo dos cristais, o volume de poros, a área superficial específica, entre outras. A atividade catalítica é bastante sensível às propriedades do composto sintetizado, o que justifica a importância de se observar qual melhor método de síntese se adequa ao catalisador e a sua aplicação (RODRIGUES; SOUZA; SILVA, 2016). Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos que utilizam diferentes métodos para sintetizar o óxido de cério, tais como Babitha *et al* (2015), que utilizou o método da coprecipitação, Avgouropoulos e Ioannides (2005) e Aranda et al (2009), que utilizaram os métodos da combustão e impregnação.

Segundo Ferreira e Varela (2009), o método da coprecipitação consiste em produzir um hidróxido ou carbonato oriundo da adição simultânea das soluções dos sais precursores e de agentes precipitantes. Após o tempo de maturação, o precipitado formado passará por lavagem, secagem e, por fim, calcinação. Rodrigues et al (2016), por sua vez, afirmam que os agentes precipitantes são, na maioria das vezes, bases e os sais precursores, nitratos. A síntese por este método demanda maior tempo, quando comparada com a combustão, mas apresenta alto rendimento. De acordo com Avgouropoulos e Ioannides (2005), este método é fortemente sensível a variações no pH, de modo que em muitas situações se faz necessário o uso de solução-tampão para garantir que a síntese atinja o objetivo desejado.

O método da combustão consiste no aquecimento de uma solução aquosa contendo os sais precursores, juntamente com um combustível orgânico – em muitas situações é utilizada a ureia (RAO; 2003). O aquecimento provocará a combustão do material, geralmente não-explosiva, de modo que o produto final é um pó fino, composto de óxidos provenientes dos sais precursores. É uma técnica bastante atrativa devido ao seu baixo custo e simplicidade. Além disso, com este método não são necessárias as etapas de lavagem, secagem e calcinação, visto que o método já produz o(s) óxido(s). Os compostos produzidos por este método possuem homogeneidade, além de alta área específica (AVGOUROPOULOS; 2005).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do método de síntese (coprecipitação e combustão) nas propriedades de catalisadores de óxido de cério para o processo de degradação dos HPA's.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Síntese dos materiais

O óxido de cério foi preparado pelos métodos de combustão em solução e coprecipitação, gerando duas amostras, as quais estão nomeadas como CeO-C e CeO, respectivamente. No método da combustão, o combustível orgânico – a ureia – foi colocada para fundir em um cadinho de porcelana. Na sequência, a solução do sal precursor do óxido de cério (nitrato de cério) foi adicionada ao cadinho e a solução final foi homogeneizada. A solução foi aquecida em uma manta até a formação de uma chama, cujo resultado final foi um sólido na forma de pó, que posteriormente foi macerado. Como já fora exposto, neste método não há necessidade de calcinar a amostra, pois já ocorre a formação do óxido de cério. O procedimento experimental resumido da combustão se encontra na Figura 2 e as reações envolvidas neste método estão expressas nas equações 1 e 2.

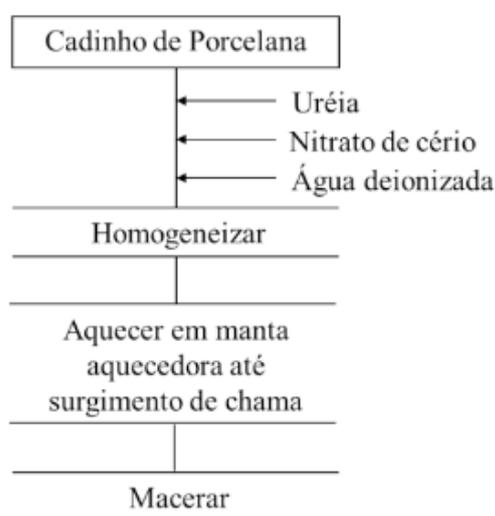


Figura 2 – Procedimento experimental do método de combustão, utilizado na síntese de uma das amostras.



No método de coprecipitação, o sal precursor do óxido de cério (nitrato de cério) e o agente precipitante (hidróxido de sódio) foram adicionados simultaneamente em um béquer através de uma bomba peristáltica. O béquer foi aquecido a uma temperatura de 60 °C e a mistura foi agitada durante 4 horas, que é o tempo de maturação da amostra. O pH fosse mantido em torno de 11, visto que este método é sensível a variações de pH. A reação que ocorre nesta etapa é expressa na equação 3.



Após o tempo de maturação, o precipitado foi lavado 5 vezes com água e etanol, com o intuito de retirar o máximo de íons nitrato (proveniente do sal precursor) e

traços do agente precipitante, presente na amostra. A amostra lavada foi posta em uma estufa por um período de 12h, a 120°C. Por fim, o sólido foi calcinado a 500°C, com fluxo de ar sintético de 100 mL/min, por 4h. A Figura 3 descreve, na forma de fluxograma, o procedimento realizado.

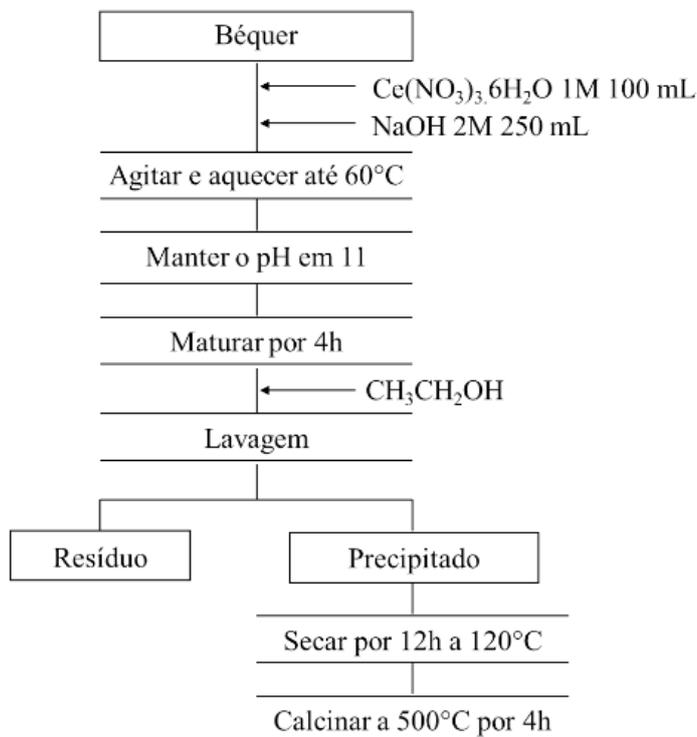


Figura 3 – Procedimento experimental do método de precipitação.

## 2.2 Caracterização das amostras

As amostras obtidas foram caracterizadas através das técnicas de difração de raios-X (DRX), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), medida da área superficial específica (método BET) e redução a temperatura programada (TPR).

A técnica de difração de raios-X (DRX) é uma técnica de caracterização de estruturas cristalinas altamente utilizada no meio científico. Com o seu auxílio, é possível detectar a estrutura cristalina da amostra analisada e, no caso dela ser desconhecida, é possível identificá-la através desta técnica. Além disso, é possível calcular o tamanho médio das partículas. Dentre as vantagens desta técnica estão a rapidez, a simplicidade, a confiabilidade dos resultados obtidos e a possibilidade de ser realizada em materiais mistos (DA FONSECA FILHO; DE CARVALHO LOPES; 2014). Os difratogramas de raios-X foram obtidos através da exposição das amostras à uma fonte de radiação de cobre (Cu), através de uma corrente de 30 mA e voltagem de 40kV. O intervalo da varredura foi de  $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ , a uma velocidade de varredura de  $2^\circ/\text{min}$ .

Na técnica da espectroscopia do infravermelho (FTIR), investiga-se quais átomos e/ou grupos funcionais estão presentes na amostra. Esta investigação é feita

através da frequência relacionada às vibrações dos átomos e moléculas presentes na amostra, quando expostas a radiação na região do infravermelho (GOMES, 2015). A técnica foi realizada em um espectrômetro da marca Shimadzu, na Pós-graduação de Engenharia Química da Universidade Federal da Bahia. Os espectros foram obtidos através da diluição de uma pequena parte da amostra em brometo de potássio (KBr), que foi transformada em uma pastilha. Esta pastilha foi colocada no aparelho para a realização da análise.

A medida da área superficial das amostras fora feita através do método BET (Brunauer, Emmett e Teller), que é um dos modelos matemáticos utilizado para descrever a adsorção física de moléculas (REIS, 2013). No equipamento utilizado para esta análise, avaliou-se a adsorção do gás nitrogênio na superfície das amostras sintetizadas. A área superficial é dada em metro quadrado por massa de catalisador ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) (RODRIGUES; SOUZA; SILVA, 2016).

A redução a temperatura programada (TPR) consiste em avaliar a redução de uma amostra quando exposta ao fluxo de um gás redutor (no caso deste artigo, o  $\text{H}_2$ ), enquanto a temperatura aumenta linearmente com o tempo (NELE, 2006). Esta técnica é extremamente sensível ao método e as condições de síntese. A análise foi realizada na Universidade Federal da Bahia.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier – FTIR

Os espectros de infravermelho da amostra proveniente do método da coprecipitação, calcinada e não calcinada, estão apresentados na Figura 4. Ambos os espectros mostraram absorção na faixa de 400 a  $4000\text{ cm}^{-1}$  e a presença de bandas em diferentes números de onda indicam a presença de diferentes grupos na estrutura das amostras avaliadas. No espectro correspondente a amostra não calcinada, pode-se observar uma banda expressiva no número de onda  $1382,02\text{ cm}^{-1}$ , característica do estiramento da ligação N-O, devido a presença de nitratos. Como pode-se perceber, no espectro correspondente a amostra calcinada, esta banda não é tão expressiva, confirmando que a calcinação foi bem-sucedida na remoção dos íons nitratos. (CELLIAH, 2012; FARAHMANDJOU, 2016; BABITHA, 2015). A banda em  $3410\text{ cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento da ligação O-H, que pode ser característico da molécula da água ou do grupo hidroxila. O primeiro pode estar associado a água utilizada na dissolução dos reagentes e o segundo pode estar relacionado ao hidróxido de sódio que foi utilizado como agente precipitante. Da mesma forma, a banda em  $1630,97\text{ cm}^{-1}$  indica a presença de água no sólido. Por outro lado, após a calcinação, observa-se uma diminuição dessas bandas, indicando a saída de parte dessas espécies após o tratamento térmico. Em números de onda menores foi averiguada a presença da ligação Ce-O, o que confirma a natureza desta amostra (CELLIAH et al, 2012;

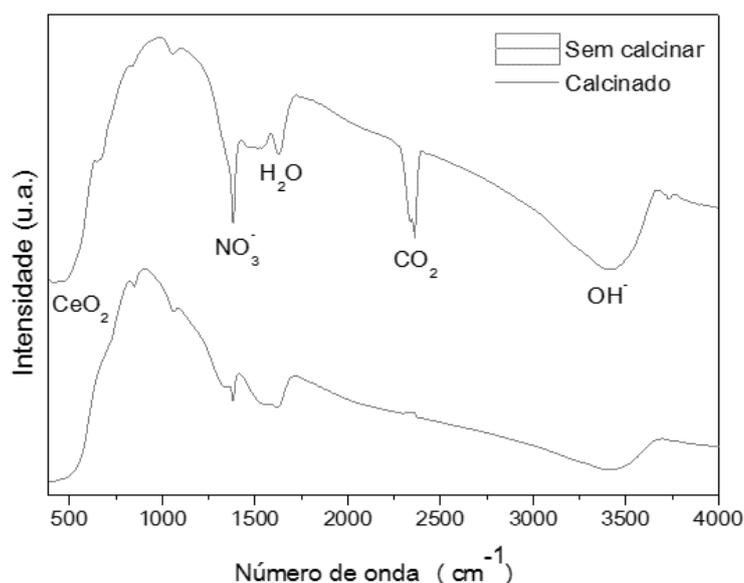


Figura 4 – Espectros no infravermelho do óxido de cério proveniente do método da coprecipitação calcinado e não calcinado.

### 3.2 Difração de raios X

A partir dos difratogramas de raios X das amostras de óxido de cério sintetizadas por combustão e coprecipitação, apresentados na Figura 5, constata-se que a fase cúbica tipo fluorita do óxido de cério IV ( $\text{CeO}_2$ ) foi observada em ambos os casos, de acordo com a ficha JCPDS 81-0792, apresentando picos em  $28^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $47^\circ$ ,  $56^\circ$ ,  $59^\circ$ ,  $69^\circ$ ,  $76^\circ$  e  $79^\circ$ . Pode-se aferir também que não houve formação de outra(s) fase(s) – como a formação de  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ , por exemplo – que pudessem alterar a estrutura do  $\text{CeO}_2$ , pois os picos representados abaixo estão muito próximos em magnitude e formato aos presentes na literatura. Isto leva a conclusão de que, embora as amostras tenham sido sintetizadas por métodos diferentes, a fase cúbica do óxido de cério foi mantida. Além disso, percebe-se que o difratograma da Amostra CeO-C apresenta picos de baixa intensidade, indicando que o material obtido por combustão apresentou uma estrutura menos cristalina do que aquele sintetizado por coprecipitação. Isto se deve ao rápido aquecimento durante a formação do sólido, produzindo aglomerados na superfície do catalisador e conseqüentemente uma estrutura menos organizada (MUCCHILLO, 2005; DE OLIVEIRA, 2001). Os picos referentes ao óxido de cério estão em concordância com os resultados encontrados na literatura. Liu *et al* (2014), por exemplo, sintetizaram óxido de cério a partir do método de coprecipitação e encontrou picos localizados a  $2\theta = 29,2^\circ$ ,  $33,1^\circ$ ,  $47,5^\circ$ ,  $57,6^\circ$ ,  $59,0^\circ$ ,  $64,5^\circ$ ,  $76,7^\circ$ ,  $79,2^\circ$  e  $88,4^\circ$ . Da mesma forma, Kang *et al* (2018) sintetizaram óxidos de cério através do método de combustão e obteve picos semelhantes, localizados a  $2\theta = 29,2^\circ$ ,  $33,1^\circ$ ,  $47,5^\circ$ ,  $57,6^\circ$ ,  $59,0^\circ$ , corroborando com os resultados obtidos.

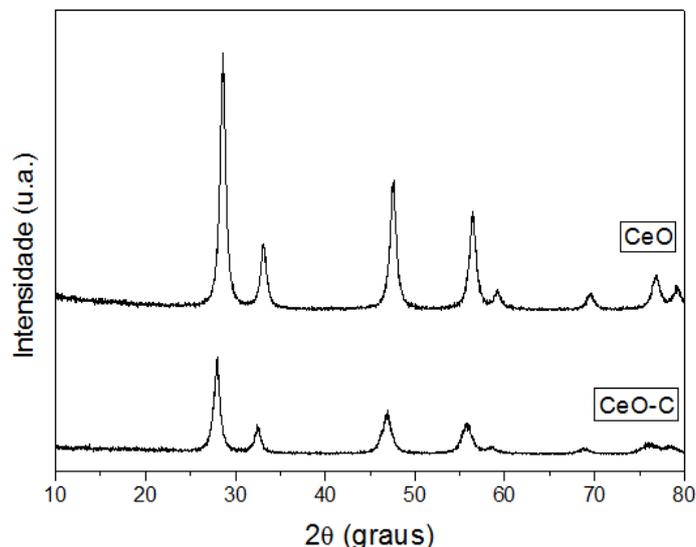


Figura 5 – Difratogramas das amostras de óxido de cério produzidas pelos métodos de co-precipitação (CeO) e combustão (CeO-C).

### 3.3 Redução a temperatura programada

O óxido de cério forma vários óxidos não-estequiométricos, de composição geral  $\text{CeO}_{2-x}$  ( $0 < x < 0,5$ ), quando exposto a uma atmosfera redutora. A redução do óxido de cério ocorre principalmente em duas faixas de temperatura: entre 573 e 873 K (300 °C e 600 °C) e entre 973 e 1273 K (700°C a 1000 °C) (RAO, 2003). A primeira faixa está associada a redução de átomos de oxigênio que estão situados na superfície e, portanto, de mais fácil remoção. A segunda região, por sua vez, está associada com a remoção de oxigênio que afeta o volume da célula unitária (“bulk”). Esta está presente em uma faixa de temperatura maior, pois o oxigênio a ser removido da célula unitária deve primeiro ir para a superfície para depois ser reduzido, o que requer maior energia e, portanto, maior temperatura. Conforme a literatura, ambas as regiões correspondem a redução de  $\text{Ce}^{+4}$  para  $\text{Ce}^{+3}$  representada na equação 4 (FERREIRA, 2013).



Nas Figuras 6 e 7 encontram-se os perfis de redução a temperatura programada das Amostras CeO e CeO-C, respectivamente. Na Amostra CeO, é possível perceber dois picos de redução nas temperaturas de 512°C e 840°C. O pico localizado em 512°C refere-se a redução superficial do óxido de cério, enquanto que o pico localizado em 840°C refere-se a redução “bulk” do óxido de cério. Da mesma forma, o perfil de TPR da Amostra CeO-C também apresenta dois picos de redução; um na temperatura de 385°C e outro na temperatura de 779°C, referentes a redução superficial do cério e a redução “bulk”, respectivamente. No processo de redução “bulk” do óxido de cério, os ânions  $\text{O}^{2-}$  são eliminados do retículo, com a formação do  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (HOLMGREN; ANDERSSON, 1998). A Amostra CeO apresentou temperaturas de redução mais elevadas que a amostra CeO-C, indicando que o uso do método da combustão leva a

uma maior redutibilidade do sólido. Os resultados obtidos estão consistentes com os dados presentes em outros trabalhos. Por exemplo, Konsolakis *et al* (2017) identificaram dois picos principais de redução do óxido de cério, localizados em 550 °C e 775 °C, referentes à redução do óxido de cério na superfície e no “bulk”, respectivamente. Kovacevic *et al* (2016) identificou que os picos acima de 800°C indicam a redução em massa de CeO<sub>2</sub> para Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, enquanto os picos abaixo de 600°C são atribuídos ao consumo de oxigênio na superfície. Davó-quiñonero *et al* (2016) conferiu os picos identificados em torno de 800°C à redução do volume das partículas, de CeO<sub>2</sub> para Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Rached *et al.* (2018) sugeriu que a redução do CeO<sub>2</sub> na superfície ocorre em picos localizados entre 400 °C e 600 °C.

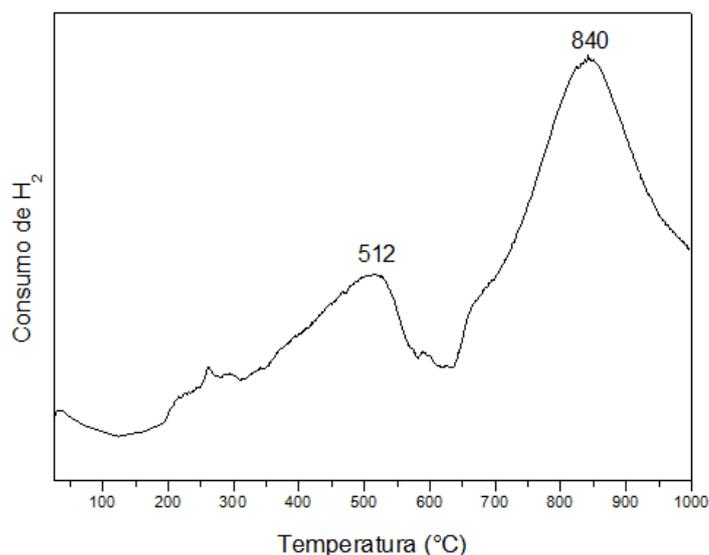


Figura 6 – Perfil de redução termoprogramada da amostra CeO.

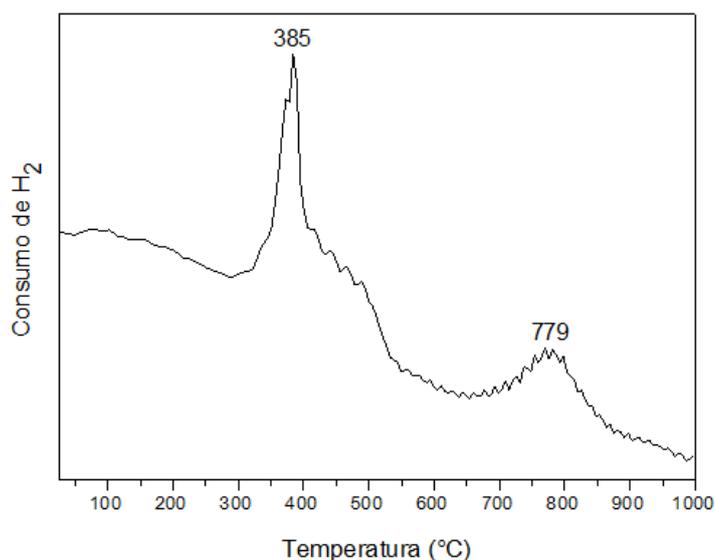


Figura 7 – Perfil de redução termoprogramada da amostra CeO-C.

### 3.4 Medida de área superficial específica

A área superficial específica encontrada na Amostra CeO foi 83,0 m<sup>2</sup>/g, enquanto que a área da Amostra CeO-C foi 77,0 m<sup>2</sup>/g. Tal redução já era esperada e deve-se ao

rápido aquecimento do material durante a combustão, de modo que há formação de aglomerados em sua superfície (VARMA et al., 2016). No entanto, comparando os dados experimentais com os dados obtidos na literatura, pode-se concluir que as amostras sintetizadas apresentaram valores de área mais elevada. Por exemplo, Guillén-Hurtado *et al* (2012) e Florea *et al* (2016) sintetizaram o óxido de cério pelo método de coprecipitação e encontraram área de 57,0 m<sup>2</sup>/g e 36,7 m<sup>2</sup>/g, respectivamente. Enquanto que Umale *et al* (2017) utilizou o método da combustão e encontrou um valor de 31,2 m<sup>2</sup>/g.

## 4 | CONCLUSÕES

O uso de diferentes métodos de síntese não alterou a fase cristalina do óxido de cério, conforme foi evidenciado nos difratogramas de raios X. No entanto, os difratogramas mostraram que o método da combustão produziu um sólido menos cristalino, quando comparado com o sólido formado pelo método da coprecipitação. A partir da análise dos espectros no infravermelho da amostra proveniente do método da coprecipitação, percebeu-se que a calcinação foi bem sucedida na remoção dos íons nitratos, além de confirmar a natureza da amostra.

Nos perfis de redução termoprogramada, foi possível encontrar os dois picos de redução característicos do óxido de cério – a redução superficial e a redução “bulk”, provenientes da redução de Ce<sup>+4</sup> para Ce<sup>+3</sup> – em ambas as amostras, nas faixas de temperatura encontradas na literatura. Contudo, a amostra CeO apresentou temperaturas de redução mais elevadas que a amostra CeO-C, indicando que o uso do método da combustão leva a uma maior redutibilidade do sólido.

O uso do método de combustão levou à formação de um sólido com área superficial específica mais baixa, em relação ao sólido sintetizado pelo método de coprecipitação. No entanto, esses valores foram mais altos que aqueles encontrados na literatura, indicando que ambos os métodos são eficientes na obtenção de óxido de cério com elevada área superficial específica e volume de poros.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Salvador pela oportunidade de desenvolver este projeto e à FAPESB pela bolsa concedida. À Universidade Federal da Bahia e ao grupo CATAM pelas caracterizações das amostras.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. R. F. **Estudo das possibilidades da aplicação de fotocatalise em processos de produção têxtil:** aplicação de TiO<sub>2</sub> nanoestruturado dopado com metais de transição. 2008. 68p. Dissertação (Mestrado) – Universidade da Beira do Interior, 2008.

- ARANDA, A. et al. Total oxidation of naphthalene with high selectivity using a ceria catalyst prepared by a combustion method employing ethylene glycol. **Journal of hazardous materials**, v. 171, n. 1-3, p. 393-399, 2009.
- AVGOUROPOULOS, G.; IOANNIDES, T. Selective CO oxidation over CuO-CeO<sub>2</sub> catalysts prepared via the urea-nitrate combustion method. **Applied Catalysis A: General**, v. 244, n. 1, p. 155-167, 2005.
- BABITHA, K. K. et al. Structural characterization and optical studies of CeO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized by chemical precipitation. **Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP)**, v. 53, n. 9, p. 596-603, 2015.
- BRITTO, J. M.; RANGEL, M. C.; Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. *Quim. Nova*, Vol. 31, No. 1, 114-122, 2008.
- CHELLIAH, M.; RAYAPPAN, J. B. B.; KRISHNAN, U. M.. Synthesis and characterization of cerium oxide nanoparticles by hydroxide mediated approach. **Journal of Applied Sciences**, v. 12, n. 16, p. 1734-1737, 2012.
- CORONADO, J. M.; MARÍA, A. J.; MARTÍNEZ-ARIAS, A.; CONESA, J. C.; SORIA, J.; J.; EPR study of the radicals formed upon UV irradiation of ceria-based photocatalyst. **Photochem. Photobiol.** 2002.
- DA FONSECA FILHO, H. D.; DE CARVALHO LOPES, G. A. Avanços em caracterização de amostras sólidas cristalinas através de Difractometria de Raios-X. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 3, n. 1, p. 31-45, 2014.
- DAVÓ-QUIÑONERO, Arantxa et al. Role of Hydroxyl Groups in the Preferential Oxidation of CO over Copper Oxide-Cerium Oxide Catalysts. **Acs Catalysis**, [s.l.], v. 6, n. 3, p.1723-1731, 10 fev. 2016. American Chemical Society (ACS).
- DE OLIVEIRA, M. J. C. et al. Síntese de óxido de cério (CeO<sub>2</sub>) com alta área superficial por meio do método Hidrotérmico assistido por microondas. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 3, 2011.
- DIAS, I. do N. **Degradação de fluoreno, sulfametoxazol e trimetoprima por fotocatalise, foto-fenton e foto-fenton mediado por complexos de ferrioxalato utilizando radiação solar natural e artificial**. 2015. 156 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 2015.
- FARAHMANDJOU, M.; ZARINKAMAR, M.; FIROOZABADI, T. P. Synthesis of cerium oxide (CeO<sub>2</sub>) nanoparticles using simple CO-precipitation method. **Revista Mexicana de Física**, v. 62, n. 5, p. 496-499, 2016.
- FERREIRA, D. C.; KRAMBROCK, K.. Síntese e Caracterização de Nanopartículas de CeO<sub>2-x</sub> e Avaliação de sua Atividade Catalítica. **Doutorado, Departamento de Física UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Programa de Pós-graduação em Física**, 2013.
- FERREIRA, H. S.; VARELA, M. do C. R. S. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. 2009.
- FLOREA, M.; MATEI-RUTKOVSKA, F. POSTOLE, G.; URDA, A.; NEATU, F.; PÂRVULESCU, V.I.; GELIN, P. Doped ceria prepared by precipitation route for steam reforming of methane. **Catalysis Today**. 2016.
- FURLAN, B. Biodegradação de naftaleno, fenantreno e diesel por isolados do gênero Burkholderia da Amazônia. 2011.
- GOMES, P. B. Caracterização de materiais: uma abordagem das possibilidades de algumas técnicas

instrumentais. **Monografia. Curso de Química. Universidade Federal de São João del-Rei**, 2015.

GUILLÉN-HURTADO, N.; BUENO-LÓPEZ, A.; GARCÍA-GARCÍA, A.; Catalytic performances of ceria and ceria-zirconia materials for the combustion of diesel soot under  $\text{NO}_x/\text{O}_2$  and  $\text{O}_2$ . Importance of the cerium precursor salt. **Applied Catalysis A: General**. 2012.

HOLMGREN, Anna; ANDERSSON, Bengt. Oxygen Storage Dynamics in Pt/CeO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Catalysts. **Journal Of Catalysis**, [s.l.], v. 178, n. 1, p.14-25, ago. 1998. Elsevier BV.

KANG, W.; OZGUR, D. O.; VARMA, A.. Solution Combustion Synthesis of High Surface Area CeO<sub>2</sub> Nanopowders for Catalytic Applications: Reaction Mechanism and Properties. **ACS Applied Nano Materials**, v. 1, n. 2, p. 675-685, 2018.

KONSOLAKIS, M. et al. Effect of cobalt loading on the solid state properties and ethyl acetate oxidation performance of cobalt-cerium mixed oxides. **Journal Of Colloid And Interface Science**, [s.l.], v. 496, p.141-149, jun. 2017. Elsevier BV.

KOVACEVIC, Marijana et al. Effects of Morphology of Cerium Oxide Catalysts for Reverse Water Gas Shift Reaction. **Catalysis Letters**, [s.l.], v. 146, n. 4, p.770-777, 20 fev. 2016. Springer Nature.

LIU, Y. H. et al. Synthesis and character of cerium oxide (CeO<sub>2</sub>) nanoparticles by the precipitation method. **Metalurgija**, v. 53, n. 4, p. 463-465, 2014.

MARTINS, T. S.; HEWER, T. L. R.; FREIRE, R. S. Cério: propriedades catalíticas, aplicações tecnológicas e ambientais. **Química nova**, v. 30, n. 8, p. 2001, 2007.

MEIRE, R. O.; AZEREDO, Antonio; TORRES, João Paulo Machado. Aspectos ecotoxicológicos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. **Oecologia brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 188-201, 2007.

MIRANDA, V. J. M. **Degradação de naftaleno, fenantreno, e benzo [a] pireno em solos e sedimentos de ambientes costeiros, oceânicos e antárticos**. 2008. Tese de Doutorado. Master's thesis, Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

MUCCILLO, E. N. S. et al. Propriedades físicas do óxido de cério preparado por técnica de solução e a condutividade elétrica em função da pressão parcial de oxigênio em cerâmicas sinterizadas. **Cerâmica**, v. 51, n. 318, p. 157-162, 2005.

NELE, M.; MORENO, E. L.; ANDRADE, Heloysa Martins Carvalho. Análise estatística e otimização de perfis de redução termoprogramada (TPR). 2006.

OLIVEIRA, L. C. A.; FABRIS, J. D.; PEREIRA, M. C.; Óxidos de ferro e suas aplicações em processos catalíticos: uma revisão. **Quim. Nova**, Vol. 36, No. 1, 123-130, 2013.

POURAN, S. R.; RAMAN, A. A. A.; DAUD, W. M. A. W.; Review on the application of modified iron oxides as heterogeneous catalysts in Fenton reactions. **Journal of Cleaner Production**, 2013.

RACHED, Jihane Abou et al. Effects of cerium and lanthanum on Ni-based catalysts for CO<sub>2</sub> reforming of toluene. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [s.l.], v. 6, n. 4, p.4743-4754, ago. 2018. Elsevier BV.

RAO, G. R.; MISHRA, B. G.. Structural, redox and catalytic chemistry of ceria based materials. **Bulletin of the catalysis society of India**, v. 2, p. 122-134, 2003.

RAO, G. R.; SAHU, H. R.; MISHRA, B.G. Surface and catalytic properties of Cu–Ce–O composite oxides prepared by combustion method. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 220, n. 1-3, p. 261-269, 2003.

REIS, D. C. N. S. P. Importância do estudo da área superficial específica e porosidade do estearato de magnésio para o setor farmacêutico. **Monografia. Curso de Tecnologias Industriais Farmacêuticas. Fundação Oswaldo Cruz**, 2013.

RODRIGUES, M. S.; SOUZA, R. R.; ANDRADE, M. L. Síntese e caracterização de catalisadores de óxido de ferro dopado com manganês pelos métodos de combustão e coprecipitação. **Seminário Estudantil de Produção Acadêmica**, v. 15, 2016.

SILVA, M. F.; PINEDA, E. A. G.; BERGAMASCO, R.; Aplicação de óxidos de ferro nanoestruturados como adsorventes e fotocatalisadores na remoção de poluentes de águas residuais. *Quim. Nova*, Vol. 38, No. 3, 393-398, 2015.

UMALE, S. V.; TAMBAT, S. N.; SONTAKKE, S. M.; Combustion synthesized CeO<sub>2</sub> as an anodic material in dye sensitized solar cells. **Materials Research Bulletin**. 2017

VARMA, A. et al. Solution combustion synthesis of nanoscale materials. **Chemical reviews**, v. 116, n. 23, p. 14493-14586, 2016.

WANG, C.; LIN, S.. Preparing an active cerium oxide catalyst for the catalytic incineration of aromatic hydrocarbons. **Applied Catalysis A: General**, v. 268, n. 1-2, p. 227-233, 2004.

ZHANG, L. et al. Photocatalytic degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons on soil surfaces using TiO<sub>2</sub> under UV light. **Journal of Hazardous Materials**, v. 158, n. 2-3, p. 478-484, 2008.

## **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 978-85-7247-422-1

