



Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# Química:

Desvendando propriedades e  
comportamentos da matéria 2

  
Ano 2022



Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# Química:

Desvendando propriedades e  
comportamentos da matéria 2

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Química: desvendando propriedades e comportamentos da matéria 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
Q6	<p>Química: desvendando propriedades e comportamentos da matéria 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0486-6 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.866221409">https://doi.org/10.22533/at.ed.866221409</a></p> <p>1. Química - Estudo e ensino. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 540.7</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Química: Desvendando propriedades e comportamentos da matéria 2 ” é constituído por dez capítulos de livros que foram divididos em três eixos-temáticos: *i)* ensino de química; *ii)* química inorgânica e suas aplicações e; *iii)* produção de álcool e química ambiental.

O primeiro tema é constituído por três capítulos que procuraram investigar as dificuldades no processo de ensino-aprendizagem de química sob o olhar do aluno em relação às aulas no sistema remoto e as dificuldades enfrentadas por futuros professores de química durante a pandemia do COVID-19 (março/2020 a dezembro/2021). O terceiro capítulo apresentou um estudo em relação ao tema “Estação Meteorológica” como gerador do conhecimento químico.

Os capítulos de 4 a 7 apresentam trabalhos que procuraram investigar a química inorgânica e suas diferentes aplicações, entre as quais: *i)* transformação do 2-metilofeno sobre argila modificada pela incorporação de zinco; *ii)* a importância do conhecimento dos compostos de coordenação; *iii)* introdução de filmes finos de  $CeO_2$  sobre a superfície de materiais cerâmicos com porosidade construída de  $TiO_2$  utilizando a técnica de réplica e; *iv)* utilização de Terras Raras como indicador fotoluminescente de pH.

Por fim, o terceiro eixo temático apresenta um estudo que demonstra o potencial de produção de etanol de segunda geração a partir da biomassa vegetal da Gigoga (vegetal que se prolifera em ambientes aquáticos de águas doces e salobras com elevada contaminação). O oitavo capítulo apresenta a eficiência da biomassa proveniente da maçã como bioadsorvente de  $Cu(II)$ ,  $Fe(II)$  e  $Ni(II)$ . Finaliza-se com o capítulo 10 que apresenta um estudo para remoção do hormônio 17 $\alpha$ -Ethinilestradiol sob cristais de  $WO_3$  e ativados por luz policromática.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ENSINO REMOTO EM MEIO À PANDEMIA DA COVID-19: DIFICULDADES E PERCEPÇÕES DE BOLSISTAS PIBID E ALUNOS NO ENSINO DE QUÍMICA


Caren Layssa Marques Santana  
Werley Denison Lima de Lima  
Alexsandro Sozar Martins  
Ana Rosa Carriço de Lima. M. Duarte  
Kelly das Graças Fernandes Dantas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214091>

### **CAPÍTULO 2..... 7**

RELATO DE AULAS REMOTAS EM COMPONENTES CURRICULARES EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA NO ENSINO


Aline Valquiria da Silva Maciel  
Brenda Vanzin Ribas  
Edneia Durlí

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214092>

### **CAPÍTULO 3..... 10**

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA


Carla Aparecido da Silva Lopes  
Eliane Flora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214093>

### **CAPÍTULO 4..... 13**

ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES DO 2-METILTIOFENO SOBRE A ARGILA KSF MODIFICADA ATRAVÉS DA PILARIZAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE ZINCO

Manuela Lisboa de Oliveira  
Vivian Lima dos Santos  
Eneida Andrade Cardoso  
Vitor Almeida de Novaes Galvão  
Angelica Amaral de Oliveira  
Arthur Pinto Mariano  
Ronaldo Costa Santos  
Luiz Antônio Magalhães Pontes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214094>

### **CAPÍTULO 5..... 25**

INTRODUÇÃO A QUÍMICA DOS COMPOSTOS POR COORDENAÇÃO


Emanoel Jorge Silva Gomes  
Silvia Cristianne Nava Lopes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214095>

**CAPÍTULO 6..... 35**

**SÍNTESE DE FILME FINO DE CeO<sub>2</sub> SUPORTADO EM CERÂMICA POROSA DE TiO<sub>2</sub> A PARTIR DA TÉCNICA DE RÉPLICA**


Daniel Coelho do Amaral  
Alley Michael da Silva Procópio  
Isabela Cristina Fernandes Vaz  
Ana Cristina Tolentino Cabral  
Márcio Roberto de Freitas  
Mercês Coelho da Silva  
Francisco Moura Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214096>

**CAPÍTULO 7..... 44**

**INDICADOR FOTOLUMINESCENTE DE pH: UMA INTRODUÇÃO ÀS TERRAS RARAS**


José Gabriel Santos Barbosa  
Jorge Fernando Silva de Menezes  
Andrei Marcelino Sá Pires Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214097>

**CAPÍTULO 8..... 60**

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA GIGOGA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO VIA ROTA QUÍMICA**


Carolina Mello Coutinho Fonseca  
Marina Pinheiro Gomes  
Gisel Chenard Díaz  
Yordanka Reyes Cruz  
Leonard Guimarães Carvalho  
Donato Alexandre Gomes Aranda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214098>

**CAPÍTULO 9..... 75**

**BIOMASSA DE MAÇÃ COMO BIORSORVENTE PARA REMOÇÃO DE Cu(II), Fe(II) E Ni(II) EM SOLUÇÕES AQUOSAS**

Aline Raiza Aparecida Ribeiro  
Alexandre Gomes  
Aline Rocha Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8662214099>

**CAPÍTULO 10..... 86**

**FOTODEGRADAÇÃO DO 17 $\alpha$ -ETINILESTRADIOL SOB CRISTAIS DE WO<sub>3</sub> SUPOSTADOS EM SBA-15 ATIVADOS POR LUZ POLICROMÁTICA**

Antonio Ferreira Soares Filho  
Luis Fernando Guimarães Noletto  
Vitória Eduardo Mendes Vieira  
Renato Pereira de Sousa  
Geraldo Eduardo da Luz Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.86622140910>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>101</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>102</b>

## SÍNTESE DE FILME FINO DE $\text{CeO}_2$ SUPORTADO EM CERÂMICA POROSA DE $\text{TiO}_2$ A PARTIR DA TÉCNICA DE RÉPLICA

Data de aceite: 01/09/2022

Data de submissão: 13/08/2022

### Daniel Coelho do Amaral

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira/Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7470560977695127>

### Alley Michael da Silva Procópio

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira/Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/4492313554425263>

### Isabela Cristina Fernandes Vaz

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira/Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0317653706770363>

### Ana Cristina Tolentino Cabral

Centro Universitário Funcesi  
Itabira/Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9804785785950382>

### Márcio Roberto de Freitas

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira/Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/3432082192375254>

### Mercês Coelho da Silva

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira/Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8411643483611882>

### Francisco Moura Filho

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira/Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9330470036613511>

**RESUMO:** O trabalho demonstra um método simples para a produção de cerâmica porosa de  $\text{TiO}_2$  (CPT) revestida com  $\text{CeO}_2$  na forma de filme fino. A técnica de réplica utilizou esponja de poliuretano 30 PPI e suspensão cerâmica de  $\text{TiO}_2$ . A técnica de *Dip Coating* foi utilizada para revestir a superfície da CPT na forma de filme fino de  $\text{CeO}_2$  (FFC) e a síntese da resina polimérica de cério foi obtida pelo método dos precursores poliméricos. A análise térmica indicou um material termoestável a partir de 500 °C. Análises por difração de raios X dos pós de  $\text{CeO}_2$  calcinados entre 600 a 900 °C por 120 minutos apresentam-se cristalinas com estrutura cúbica do tipo fluorita. A microscopia eletrônica de varredura evidenciou o crescimento e a formação de FFC em forma de ilhas e escamas de peixes ao longo de 10 deposições na superfície da CPT.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filme fino, Síntese, Cerâmica porosa,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ .

### SYNTHESIS $\text{CeO}_2$ THIN FILM SUPPORTED ON $\text{TiO}_2$ POROUS CERAMIC USING THE REPLICA TECHNIQUE

**ABSTRACT:** The work demonstrates a simple method for obtaining a  $\text{TiO}_2$  porous ceramic (TPC) coated with  $\text{CeO}_2$  in the thin film form. Replica technique used a 30 PPI polyurethane sponge and  $\text{TiO}_2$  ceramic suspension. Dip coating technique was used coat the surface of the CPT in the form of a  $\text{CeO}_2$  thin film (CTF) and cerium polymeric resin synthesis was obtained by polymeric precursors method. Thermal analysis indicated a thermostable material from 500 °C.

X-ray diffraction analyzes of  $\text{CeO}_2$  powders calcined between 600 and 900 °C for 120 minutes show crystalline with a fluorite-like cubic structure. Scanning electron microscopy showed the growth and formation of CTF in the form of islands and fish scales over 10 depositions on the surface of the TPC.

**KEYWORDS:** Thin film, Synthesis, Porous ceramic,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ .

## INTRODUÇÃO

Cerâmicas porosas (CPs) ou reticuladas, materiais frágeis e de alta porosidade, são subclasses de cerâmicas avançadas. Elas vêm sendo amplamente estudadas devido a algumas características e propriedades que favorecem em aplicações tecnológicas, como por exemplo, alta porosidade aliada à sua permeabilidade, sendo ideal para uso como suportes catalíticos e sensores de gases (HOU et al., 2013; VOIGT et al., 2013; BETKE et al., 2016; LIANG et al., 2017).

Atualmente, existem inúmeros métodos ou técnicas para obtenção de CPs, sendo os mais empregados: método da fase sacrificial, método *gelcasting* de espumas e método da esponja polimérica ou método de réplica (YANG et al., 2011; EOM et al., 2013; VAKIFAHMETOGLU et al., 2016). Sendo a técnica da réplica, uma das mais citadas por sua simplicidade e versatilidade, patenteada por Schwartzwaldner e Somers (1963), que consiste na impregnação de um substrato de estrutura celular bem definida (esponja polimérica), geralmente de poliuretano (PU), em uma suspensão cerâmica de maneira a obter um material com morfologia celular idêntica à do molde precursor original, onde passa por um processo de secagem, pirólise e sinterização a uma determinada temperatura.

As CPs são materiais essenciais para a fabricação de conversores catalíticos, chamados de Catalisadores de Três Vias (CTV) que realizam a purificação dos gases de exaustão, transformando os gases nocivos produzidos durante o processo de combustão em gases menos tóxicos ao meio ambiente (ULRICH et al., 2018). Os CTV são normalmente formados por óxidos refratários com alta área superficial, chamados monólitos de cordierita de magnésio ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ), com estrutura em favo de mel, porosos e geralmente impregnados de metais nobres como platina (Pt), paládio (Pd) e ródio (Rh). O  $\text{CeO}_2$ , devido a sua alta capacidade de armazenamento de oxigênio, tem sido amplamente aplicado em reações redox, essa característica tem atraído pesquisas científicas para sua aplicação como suporte catalítico para a realização de reações catalíticas heterogêneas em CTV (BATISTA; DUTRA, 2013; POURKHALIL et al., 2018; LI et al., 2019).

Segundo Oliveira e colaboradores (2011), os compostos de Ce possuem algumas propriedades interessantes, como por exemplo, faixa de potencial redox (+3/+4), alta mobilidade dos íons oxigênio na rede cristalina, alta afinidade pelos elementos oxigênio, nitrogênio e enxofre, e essas propriedades conferem-lhe boa aplicabilidade tecnológica. Estudos relatam que o  $\text{CeO}_2$  é utilizado na forma de mistura de óxidos metálicos e como suporte catalítico para potencialização catalítica, e a medição da CAO tem sido utilizada

como parâmetro de ativação e inativação dos catalisadores (BATISTA; DUTRA, 2013; POURKHALIL et al., 2018; DESCORME et al., 2002).

## OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo reportar uma abordagem inovadora na obtenção de filme fino (*coating*) de  $\text{CeO}_2$  suportada em uma matriz cerâmica porosa de  $\text{TiO}_2$  por *dip coating*, para futura aplicação em sistema redox de gases em catalisadores automotivos. O método dos precursores poliméricos foi utilizado para a síntese da resina polimérica de cério e a técnica da réplica utilizada para produção dos filtros cerâmicos porosos de  $\text{TiO}_2$ .

## METODOLOGIA

Uma suspensão cerâmica composta de 200 g de  $\text{TiO}_2$ , 150 mL de água destilada, 4 mL de defloculante (poliacrilato de amônio) e 1 mL de  $\text{HNO}_3$  (conc) foi colocada em um moinho de bolas, modelo MA500/CF da Marconi, por 24 horas a 600 rpm. Foi utilizada como molde polimérico uma esponja de poliuretano (PU) com abertura de 30 poros por polegada (PPI) (Modelo PRO-314 Azul - ProEspuma®) em forma de cubos. A esponja foi pré-tratada quimicamente, permanecendo imersa em uma solução de  $\text{HNO}_3$  1,5 mol  $\text{L}^{-1}$  por 12 horas, depois lavada com água destilada e seca à temperatura ambiente. Em seguida, a esponja foi imersa e retirada da SCT, sendo retirado o excesso de solução, e tratado termicamente a 80 °C por 30 min e a 110 °C por 60 min, ambos empregando uma taxa de aquecimento de 1 °C  $\text{min}^{-1}$ . Após a secagem, a decomposição da esponja e a sinterização da cerâmica porosa de  $\text{TiO}_2$  (CPT) foram realizadas usando três temperaturas, 500 °C e 1000 °C por 60 min e 1500 °C por 300 min em diferentes taxas de aquecimento, 0,5 °C  $\text{min}^{-1}$ , 2 °C  $\text{min}^{-1}$  e 3 °C  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente. Para obter o filme fino de  $\text{CeO}_2$  (FFC), foi utilizada uma resina polimérica de cério (RPC) previamente preparada pelo método dos precursores poliméricos (MPP) com a seguinte razão estequiométrica de acordo com a patente Pechini (1967) 1 mol  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 4 mol de ácido cítrico: 16 mol de etilenoglicol. Uma solução aquosa de ácido cítrico foi adicionada à solução aquosa de  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  para o processo de complexação do metal Ce, que permaneceu por 30 min sob agitação a 60 °C. O pH da solução resultante foi ajustado para 6. Para a reação de poliesterificação do Ce, foi adicionado etilenoglicol à solução resultante da complexação do Ce, sob agitação a 50 °C por 12 horas.

O processo de revestimento da CPT com Ce para formar o FFC, foi realizado pela técnica de imersão na resina polimérica de cério (RPC). Em seguida, a CPT foi deixada em repouso sobre o papel toalha por 24 horas para remover o excesso de resina e prevenir o envenenamento dos poros e, posteriormente, sinterizado a 900 °C por 120 min com taxa de aquecimento de 5 °C  $\text{min}^{-1}$ . Este processo de imersão e queima do material foi repetido até a décima vez, para garantir a formação do FFC na superfície do material.

O estudo da decomposição da matéria orgânica e da estabilidade térmica do  $\text{CeO}_2$ , foi realizada por análise termogravimétrica (TG) e térmica diferencial (DTA) do pó de  $\text{CeO}_2$  pré-calcinado da RPC a 300 °C. O material teste foi submetido a aquecimento de 35 a 980 °C a uma taxa de aquecimento de 10 °C  $\text{min}^{-1}$  com fluxo de ar sintético de 50  $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$  em um analisador térmico simultâneo, modelo DTG 60 da Shimadzu. A fim de identificar a evolução de fase e a estrutura cristalina do  $\text{CeO}_2$ , foi realizada análise de difração de raios X (DRX) do pó de  $\text{CeO}_2$  tratado termicamente de 600 a 900 °C. Para as análises foi utilizado um difratômetro, modelo DMax/2500PC da Rigaku, com tubo de cobre ( $\text{Cu-K}\alpha$ ,  $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$ ) a 40 kV e 60 mA. Os espectros de difração foram obtidos na faixa de  $2\theta$  entre 20° e 80°, modo contínuo em 0,02°  $0,12 \text{ s}^{-1}$ . Para avaliar e caracterizar a estrutura morfológica da superfície da CPT revestida com  $\text{CeO}_2$ , foi realizada análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com incidência eletrônica retro-espalhada em um microscópio eletrônico de varredura, modelo VEGA3 da TESCAN, acoplada a um detector de espectroscopia e energia dispersiva de raios X (EDS), modelo 410-M da Bruker.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de investigar e estimar a temperatura de calcinação e obter as perdas de massa do material em relação à decomposição do polímero, o pó de  $\text{CeO}_2$  desagregado e peneirado após a pré-calcinação a 300 °C foi submetido à análise termogravimétrica. Os eventos de perda de massa do material são mostrados na Fig. 1 e pela TG/DTA, foram observados dois eventos. O primeiro evento ocorre entre a temperatura ambiente a 200°C, sendo atribuído à saída de moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  (umidade) fracamente ligadas por hidratação e de gases ( $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2$ ) adsorvidos na superfície do material (FU et al., 2005), correspondente ao pico endotérmico a 62 °C na curva DTA. O Segundo evento ocorre entre 250 a 450 °C, referente à saída de  $\text{CO}_2$  proveniente da decomposição da matéria orgânica por reações de oxidação derivados do ácido cítrico e etilenoglicol correspondente ao pico exotérmico a 380 °C na curva DTA (FU et al., 2005). Acima de 500 °C, obteve-se um composto termoestável de  $\text{CeO}_2$  devido à perda de massa desprezível nessa região. Nesse contexto, utilizaram-se temperaturas de calcinação acima de 500 °C para obter  $\text{CeO}_2$  monofásico como filme fino na superfície do CPT.

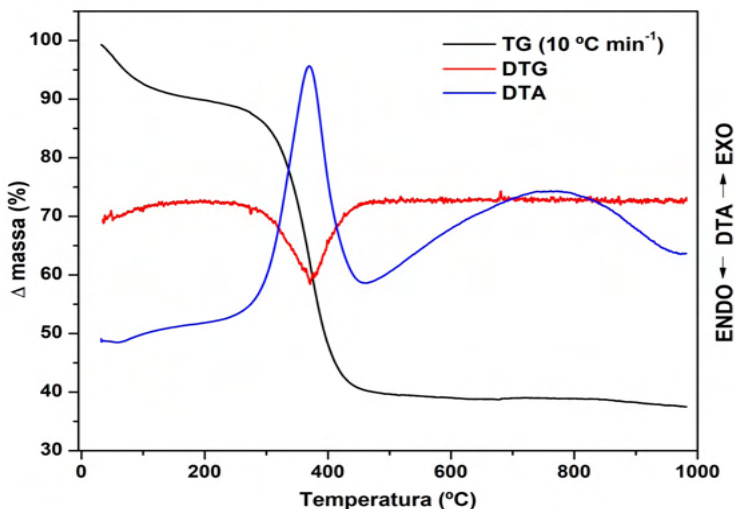


Figura 1 – Análise TG/DTA do pó de  $\text{CeO}_2$  pré-calcinado a  $300\text{ }^\circ\text{C}$ , desagregado e peneirado em uma malha de 270 mesh.

Para identificar e acompanhar a formação da fase cristalina os padrões de DRX do pó de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{CeO}_2$  são apresentados na Fig. 2. O difratograma do pó de  $\text{TiO}_2$  apresenta picos bem definidos, cristalino e monofásico, característicos da fase rutilo de estrutura tetragonal, pertencente ao grupo espacial  $\text{P4}_2/\text{mm}$  (Fig. 2a). Enquanto, o pó da CPT apresentou picos mais estreitos e intensos, que podem ser relacionados a um maior grau de cristalinidade, porém, uma segunda fase  $\text{Ti}_3\text{O}_5$ , de estrutura ortorrômbica, grupo espacial  $\text{CmCm}$ , relacionado a picos de baixa intensidade após sinterização do material a  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  foi observado (Fig. 2b) (VALLEJO; OLGUÍN, 2015). O padrão de DRX do pó de  $\text{CeO}_2$  pelo MPP revela picos também cristalinos e característicos de uma estrutura cúbica do tipo fluorita, pertencente ao grupo espacial  $\text{Fm}3\text{m}$  e a formação da fase  $\text{CeO}_2$  nas temperaturas estudadas (Fig. 2c). Um fator importante observado, foi que a transformação da fase e o aumento da cristalinidade ocorre em função do aumento da temperatura de calcinação do material (CASALI et al., 2014), que corrobora com os resultados TG/DTA, sendo impossível obter a fase  $\text{CeO}_2$  abaixo de  $500\text{ }^\circ\text{C}$ .



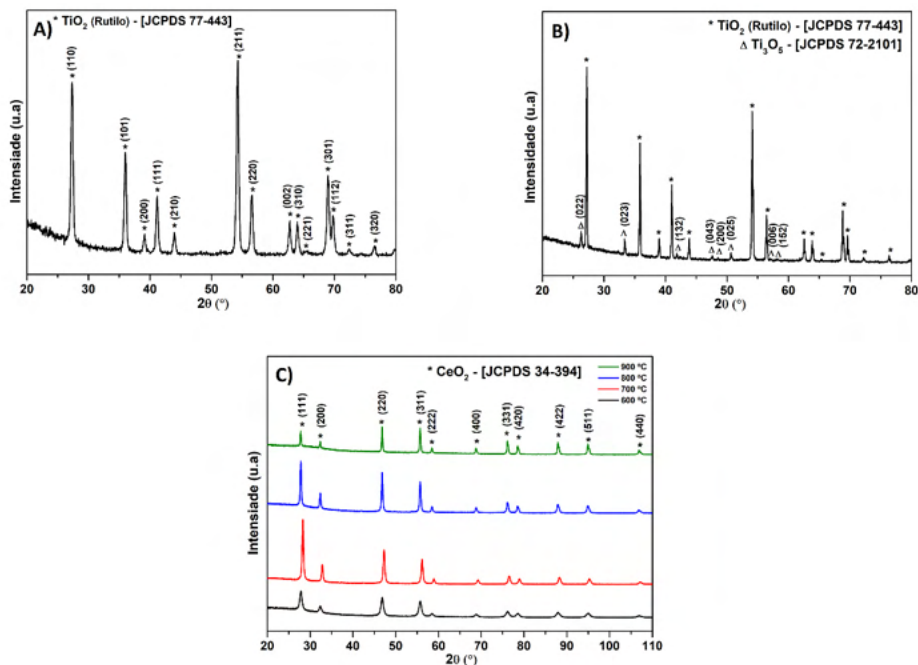


Figura 2 – Padrões de DRX obtidos do pó; a) de  $\text{TiO}_2$ ; b) da CPT peneirada em uma malha de 100 mesh e sinterizada à  $1500^\circ\text{C}$  por 300 minutos; c) de  $\text{CeO}_2$  peneirado em uma malha de 270 mesh e calcinado de  $600^\circ\text{C}$  a  $900^\circ\text{C}$  por 120 minutos.

Baseando nos resultados de TG/DTA e DRX, o processo de imersão, deposição e sinterização a  $900^\circ\text{C}$  foi realizado em 10 camadas para formar o filme fino de  $\text{CeO}_2$ . O crescimento, formação e identificação do FFC na superfície do material foi analisado por MEV/EDS (Fig. 3). Após 2 deposições (Fig. 3a), o filme fino apresentou formato de ilhas em pontos específicos. A Fig. 3b apresenta o filme fino na forma de escamas grandes na superfície do material após 4 deposições. Enquanto na Fig. 3c, tem-se o revestimento da CPT na forma de FFC em grande parte da superfície do material após 8 deposições. Após 10 deposições (Fig. 3d), o filme fino pode ser visto. De modo geral, com base nas micrografias, foi possível evidenciar o crescimento do revestimento da CPT na forma FFC ao longo das deposições. O espectro de EDS mostrado na Fig. 3e, identifica de forma qualitativa picos referentes aos elementos titânio (Ti), cério (Ce) e oxigênio (O) presentes após 10 deposições do material. Observa-se que os picos associados ao Ti são mais intensos e ao Ce são menos intensos, pois de forma qualitativa o substrato é composto de  $\text{TiO}_2$  em maior quantidade e o filme fino é composto de  $\text{CeO}_2$  em menor quantidade, resultados que corroboram com as análises TG/DTA e DRX.

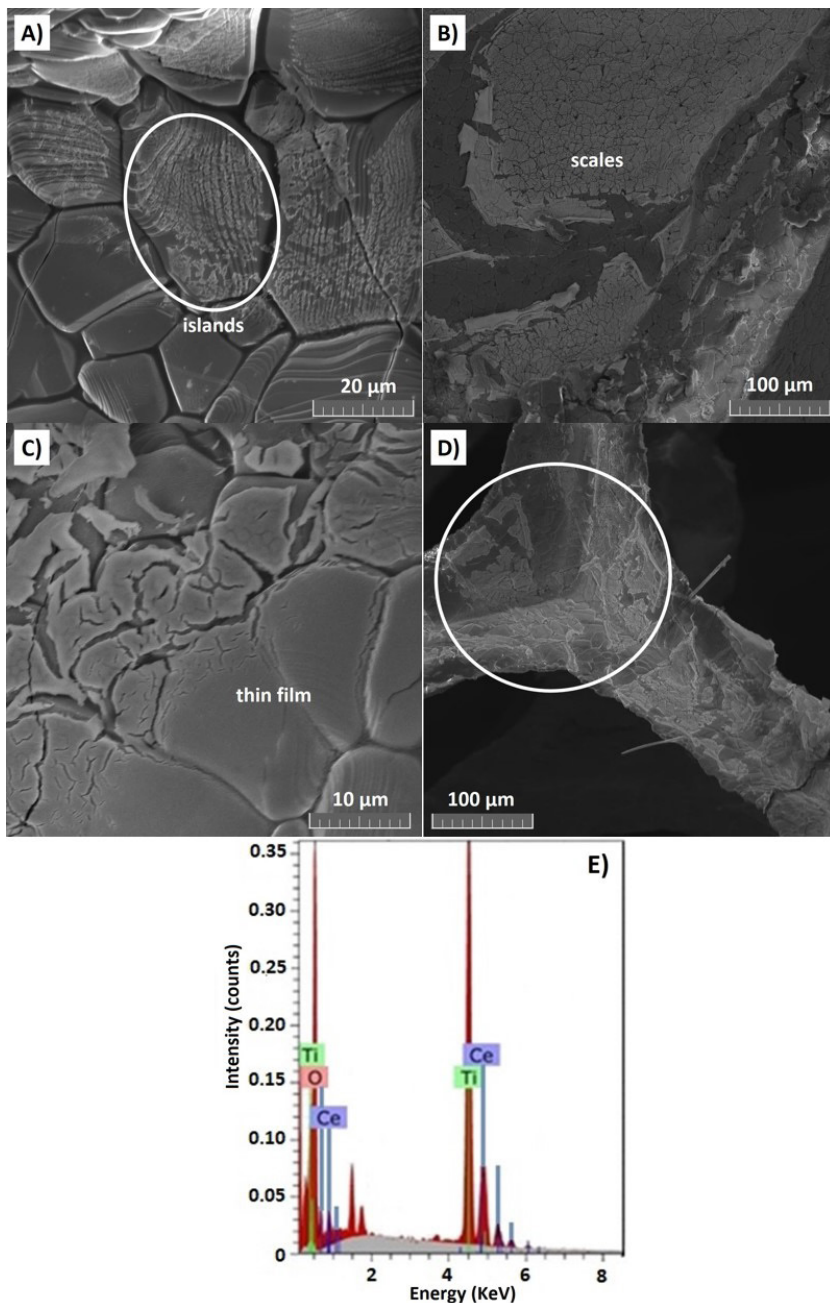


Figura 3 – Micrografias de filmes finos obtidos por MEV das CPT imersas em RPC, calcinadas a 900°C por 120 minutos; (a) 2 deposições; (b) 4 deposições; (c) 8 deposições; (d) 10 deposições; (e) Espectro de EDS após 10 deposições.

## CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, uma cerâmica porosa de  $\text{TiO}_2$  revestida com  $\text{CeO}_2$  na forma de filme fino foi obtida através da técnica de réplica, um método simples e prático. O método dos precursores poliméricos foi utilizado para a síntese do filme fino de  $\text{CeO}_2$  cristalino a partir de  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , obtendo a fase  $\text{CeO}_2$  de estrutura cúbica do tipo fluorita, conforme os resultados de TG/DTA e DRX. Através da análise morfológica via MEV/EDS foi possível identificar, evidenciar e acompanhar o crescimento e a formação do filme fino de  $\text{CeO}_2$  na superfície cerâmica de  $\text{TiO}_2$  pela técnica de *dip coating* até 10 deposições.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

## REFERÊNCIAS

BATISTA, C. H.; DUTRA, A. J. B. **Caracterização de catalisadores automotivos novos e usados visando à reciclagem dos metais**. Revista Matéria 18 (4) (2013) 1451-1458.

BETKE, U.; LIEB, A.; SCHEFFLER, F.; SCHEFFLER, M. **Manufacturing of reticulated open cellular aluminum nitride ceramic foams from aqueous AlN suspensions**. Advanced Engineering Materials 19 (3) (2016) 660-668.

CASALI, G. P.; MAZZO, T.; LONGO, E.; MUCCILLO, R. **Síntese e propriedades fotoluminescentes do óxido de cério dopado com magnésio**. Cerâmica 60 (2014) 371-378.

DESCORME, C.; TAHA, R.; MOUADDIB-MORAL, N.; DUPREZ, D. **Oxygen storage capacity measurements of three-way catalysts under transient conditions**. Appl. Catal. A 223 (2002) 287-299.

EOM, J-H.; KIM, Y-W.; RAJU, S. **Processing and properties of macroporous silicon carbide ceramics: A review**. Journal of Asian Ceramic Societies 1 (2013) 220-242.

FU, Y-P.; LIN, C-H.; HSU, C-S. **Preparation of ultrafine  $\text{CeO}_2$  powders by microwave-induced combustion and precipitation**. Journal of Alloys and Compounds 391 (2005) 110-114.

HOU, Z.; YE, F.; LIU, L.; LIU, Q.; ZHANG, H. **Effects of solid content on the phase assemblages, mechanical and dielectric properties of porous  $\alpha$ -SiAlON ceramics fabricated by freeze casting**. Ceramics International 39 (2) (2013) 1075-1079.

LI, P.; CHEN, X.; LI, Y.; SCHWANK, J. W. **A review on oxygen storage capacity of  $\text{CeO}_2$ -based materials: Influence factors, measurement techniques, and applications in reactions related to catalytic automotive emissions control**. Catalysis Today 327 (2019) 90-115.

LIANG, X.; LI, Y.; LIU, J.; SANG, S.; CHEN, Y.; LI, B.; ANEZIRIS, C.G. **Improvement of the mechanical properties of SiC reticulated porous ceramics with optimized three layered struts for porous media combustion.** *Ceramics International* 43 (4) (2017) 3741-3747.

OLIVEIRA, M. J. C.; QUIRINO, M. R.; NEIVA, L. S.; GAMA, L.; OLIVEIRA, J. B. **Síntese de óxido de cério (CeO<sub>2</sub>) com alta área superficial por meio do método hidrotérmico assistido por micro-ondas.** *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* 6 (3) (2011) 70-174.

PECHINI, Maggio P. **Method preparing lead and alkaline earth titanates and niobates and coating method using the same two form a capacitor.** U.S. Patent n°. 3.330.697, 1967.

POURKHALIL, M.; IZADI, N.; RASHIDI, A.; MOHAMMAD-TAHERI, M. **Synthesis of CeO<sub>x</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst for the NH<sub>3</sub>-SCR of NO<sub>x</sub>.** *Materials Research Bulletin* 97 (2018) 1-5.

SCHWARTZWALDER, K.; SOMERS, A. V. **Method of making porous ceramic articles.** U.S. Patent n°. 3.090.094 A, 1963.

ULRICH, V.; FROESE, C.; MOROZ, B.; PYRJAIEV, P.; GERASIMOV, E.; SINEV, I.; CUENYA, B. R.; MUHLER, M.; BUKHTIYAROV, V.; GRÜNERT, W. **Three-way catalysis with supported gold catalysts: Poisoning effects of Hydrocarbons.** *Applied Catalysis B: Environmental* 237 (2018) 1021-1032.

VAKIFAHMETOGLU, C.; ZEYDANLI, D.; COLOMBO, P. **Porous polymer derived ceramics.** *Materials Science and Engineering R* 106 (2016) 1-30.

VALLEJO, E.; OLGUÍN, D. **New metastable phases in a trititanium pentoxide compound.** *Mater. Res. Express* 2 (2015) 126101.

VOIGT, C.; JACKEL, E.; ANEZIRIS, C. G.; HUBALKOVA, J. **Investigations of reticulated porous alumina foam ceramics based on different coating techniques with the aid of μCT and statistical characteristics.** *Ceramics International* 39 (3) (2013) 2415-2422.

YANG, J.; YU, J.; HUANG, Y. **Recent developments in gelcasting of ceramics.** *Journal of the European Ceramic Society* 31 (2011) 2569-2591.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Análise termogravimétrica (TG) 38

### B

Biocombustíveis 60, 62, 73

Biomassa 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 70, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 81, 82

Biossorção 75, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Biossorvente 75, 77, 78, 79, 80, 81, 85

### C

Catalisadores 13, 15, 18, 19, 22, 23, 36, 37, 42, 86, 89, 97

Celulignina 60, 64, 65, 72

Celulósico 61, 66, 69, 70, 71, 72, 73

Cerâmicas Porosas (CPs) 36

Cobre 38, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85

Combustíveis fósseis 14, 60, 62

Compostos de coordenação 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 46, 57

*Coronavirus Disease 2019* 7

### D

Designificação 60, 64, 65, 69, 70, 72

Desreguladores Endócrinos (DEs) 87

Difração de Raios-X (DRX) 86, 90

### E

Efeito estufa 60, 62

Efeitos ecotoxicológicos 86, 87

Ensino da Química 25

Ensino remoto 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (FAAS) 75, 78

Espectroscopia e Energia Dispersiva de Raios X (EDS) 38

Estrogênio sintético 86

Etanol 60, 61, 62, 63, 64, 65, 68, 71, 72, 73, 74

### F

Fenômenos atmosféricos 10

Ferro 17, 25, 45, 75, 76, 77, 78, 81, 82, 83, 84, 85

Filme fino de CeO<sub>2</sub> (FFC) 35, 37, 40, 42

Fisissorção 13, 16, 18

Fotoluminescente 44, 47, 49, 50, 52, 55, 57, 58

## **G**

Gigoga 60, 61, 62, 63, 65, 66, 68, 70, 72

*Google Classroom* 1, 3

*Google Forms* 1, 3

*Google Meet* 7

## **H**

Hemicelulósico 60, 61, 65, 66, 68, 70, 71, 72

Hidrólise ácida 60, 64, 65, 66, 68, 69, 70

## **L**

Luz Ultravioleta (UV) 86

## **M**

Maçã gala 75, 77

Meio ambiente 13, 14, 34, 36, 61, 62, 76, 85, 86, 87

Meteorologia 10, 11, 12

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 35, 38, 75, 77, 80

## **N**

Níquel 28, 29, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 90

## **O**

Organização Mundial da Saúde (OMS) 2, 5, 7, 9

Óxidos semicondutores 87

## **P**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) 2, 3, 5

## **R**

Resíduos agroindustriais 75, 77

## **T**

Terras raras 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 55, 57

## W

*WhatsApp* 1, 3



# Química:

## Desvendando propriedades e comportamentos da matéria 2

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)





# Química:

## Desvendando propriedades e comportamentos da matéria 2

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)