

**Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias nas Engenharias 4



**Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta**
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias nas Engenharias

4

**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 e Geraldo Alves

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

134 Impactos das tecnologias nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-194-7
DOI 10.22533/at.ed.947191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia.
I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.
CDD 658.5

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

APRESENTAÇÃO

Caro leitor(a)

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em engenharia e tecnologia. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de simulação, projetos e caracterização no âmbito da engenharia e aplicação de tecnologia.

Tecnologia é o pilar mais importante da engenharia. Os profissionais que se dedicam a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos não estão preocupados com todos os aspectos da tecnologia, mas com a tecnologia existente, bem como com a tecnologia futura considerada viável. Uma visão ampla de tecnologia é portanda fundamental para engenheiros. É esta amplitude de áreas e temas que procuramos reunir neste livro.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Tecnologia e Engenharia em Foco

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE UM FREIO	
<i>Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior</i> <i>David Domingos Soares da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915031	
CAPÍTULO 2	9
DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DUREZA E DA MICROESTRUTURA DO AÇO AISI 5160 NA CONDIÇÃO PADRÃO E ESFEROIDIZADO	
<i>Anelise Pereira da Silva</i> <i>Suelen de Fátima Felisberto</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i> <i>Jorge Luiz Rosa</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915032	
CAPÍTULO 3	17
INOVAÇÕES EM BROCA: UTILIZAÇÃO DE JATO DE ÁGUA COM ALTO CONTEÚDO ENERGÉTICO E ALARGADORES MECÂNICOS COMO PRINCÍPIO DE ESCAVAÇÃO	
<i>Rafael Pacheco dos Santos</i> <i>Lidiani Cristina Pierri</i> <i>Jair José dos Passos Junior</i> <i>Anderson Moacir Pains</i> <i>Marcos Aurélio Marques Noronha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915033	
CAPÍTULO 4	25
ESTUDO DE UM CONTROLADOR DE UM BRAÇO ROBÓTICO COM DOIS GRAUS DE LIBERDADE COM BASE EM LMI	
<i>Márcio Roberto Covacic</i> <i>Ruberlei Gaino</i> <i>Cesar Capobianco</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915034	
CAPÍTULO 5	33
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA DE SOLDAGEM NO PROCESSO DE SOLDAGEM A LASER NO AÇO BLAR	
<i>Ana Paula Alves de Oliveira</i> <i>Francisco Cardoso de Melo Junior</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Emerson Augusto Raymundo</i> <i>João Maurício Godoy</i> <i>Marcelo Bergamini de Carvalho</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915035	

CAPÍTULO 6	42
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA TÉCNICA DE CONTROLE PREDITIVO NÃO LINEAR PRÁTICA NO ACIONAMENTO DE UM MOTOR CC	
<i>Cleber Asmar Ganzaroli</i>	
<i>Douglas Freire de Carvalho</i>	
<i>Luiz Alberto do Couto</i>	
<i>Rafael Nunes Hidalgo Monteiro Dias</i>	
<i>Wesley Pacheco Calixto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915036	
CAPÍTULO 7	55
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE PRESENÇA USANDO LEITOR CCD E CRIPTOGRAFIA NO MODELO DE CIFRA DE VIGÊNERE	
<i>Éric Dias Souza</i>	
<i>Victor Francisco Rigolo Fernandes de Almeida</i>	
<i>Wagner dos Santos Clementino de Jesus</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915037	
CAPÍTULO 8	61
MODELAGEM DINÂMICA E CONTROLE PID DE MANIPULADORES ROBÓTICOS COM APLICAÇÃO NO ROBÔ DENSO VP6242G	
<i>Leonardo Augusto Arruda</i>	
<i>Márcio Roberto Covacic</i>	
<i>Ruberlei Gaino</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915038	
CAPÍTULO 9	81
MODELAGEM CINEMÁTICA E SIMULAÇÃO 3D DO MANIPULADOR INDUSTRIAL DENSO VP6242G	
<i>Giovani Augusto de Lima Freitas</i>	
<i>Márcio Roberto Covacic</i>	
<i>Ruberlei Gaino</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915039	
CAPÍTULO 10	103
PROGRAMAÇÃO LÓGICA INDUTIVA APLICADA À COMPUTAÇÃO MUSICAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
<i>Clenio Batista Gonçalves Junior</i>	
<i>Murillo Rodrigo Petrucelli Homem</i>	
DOI 10.22533/at.ed.94719150310	
CAPÍTULO 11	119
ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DO FERRO FUNDIDO FC 250 SOB EFEITO DA CORROSÃO EM SOLUÇÃO ÁCIDA	
<i>Lariane Ferreira Sena</i>	
<i>Rafaela Cunha dos Reis</i>	
<i>Aline Alcamin Monteiro</i>	
<i>Paula Luisa Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.94719150311	

CAPÍTULO 12 130

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CÉRIA DOPADA COM GADOLÍNIA E CO-DOPADA COM ÓXIDO DE COBRE

*Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes
Thamyscira Herminio Santos da Silva
Allan Jedson Menezes de Araújo
Erik Benigno Grisi de Araújo Fulgêncio
Lizandra Fernanda Araújo Campos
Ricardo Peixoto Suassuna Dutra
Daniel Araújo de Macedo*

DOI 10.22533/at.ed.94719150312

CAPÍTULO 13 146

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE LIGAS CU-AL-MN PASSÍVEIS DO EFEITO MEMÓRIA DE FORMA ENVELHECIDAS

*Marcos Barbosa Dos Anjos Filho
Carlos Cássio de Alcântara
José Joelson de Melo Santiago*

DOI 10.22533/at.ed.94719150313

CAPÍTULO 14 153

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO ADITIVO DE CARBONO MICROGRAF® 9930MA NA CAPACIDADE C-20 DA PLACA NEGATIVA DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

*Lucas Carvalho Santana
André Castilho dos Santos
Cynthia Mayara de Carvalho
Gilberto Augusto de Oliveira Brito
Christiano Jorge Gomes Pinheiro*

DOI 10.22533/at.ed.94719150314

CAPÍTULO 15 162

DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO NA ÁGUA PRODUZIDA: UMA ANÁLISE A PARTIR DE UMA PRÁTICA LABORATORIAL

*Raul José Alves Felisardo
Gabriela Menezes Silva
César de Almeida Rodrigues*

DOI 10.22533/at.ed.94719150315

CAPÍTULO 16 168

ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO PELO BAGAÇO DE BUTIÁ PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES

*Luciana Machado Rodrigues
Vanessa Rosseto
Clarissa Ferreira Pin
Ethielle Bordignon de Carvalho Prestes*

DOI 10.22533/at.ed.94719150316

CAPÍTULO 17 176

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM NOVO ADSORVENTE DE BAIXO CUSTO NA ADSORÇÃO E DESSORÇÃO MONO E MULTICOMPONENTE DE METAIS PESADOS EM COLUNA DE LEITO FIXO

Gabriel André Tochetto
Danieli Brandler
Deisy Maria Memlak
Francine Caldart
Gean Delise L. P. Vargas
Cleuzir da Luz
Joceane Pigatto
Adriana Dervanoski

DOI 10.22533/at.ed.94719150317

CAPÍTULO 18 187

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO COMPLEXO OXALATO DE NÍOBIO NA OBTENÇÃO DE BIODIESEL SOB VIA METÉLICA

Rayane Ricardo da Silva
Carlson Pereira de Souza
Tiago Fernandes Oliveira
Maria Veronilda Macedo Souto
Angelinne Costa Alexandrino

DOI 10.22533/at.ed.94719150318

CAPÍTULO 19 195

ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE ENTRE RESÍDUO OLEOSO DA INDÚSTRIA DE E & P DE PETRÓLEO E CIMENTO PORTLAND PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETO

Yane Coutinho Lira
Fernanda Cavalcanti Ferreira
Romildo Alves Berenguer
Rodrigo Mendes Patrício Chagas
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Milton Bezerra das Chagas Filho

DOI 10.22533/at.ed.94719150319

CAPÍTULO 20 205

RETENÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DE COBRE E ZINCO EM CASCA DE MARACUJÁ AMARELO

Bianca de Paula Ramos
Rosane Freire Boina

DOI 10.22533/at.ed.94719150320

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 217

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CÉRIA DOPADA COM GADOLÍNIA E CO-DOPADA COM ÓXIDO DE COBRE

Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes

Universidade Federal da Paraíba - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa – Paraíba

Thamyscira Herminio Santos da Silva

Universidade Federal da Paraíba - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa – Paraíba

Allan Jedson Menezes de Araújo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Natal – Rio Grande do Norte

Erik Benigno Grisi de Araújo Fulgêncio

Universidade Federal da Paraíba - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa – Paraíba

Lizandra Fernanda Araújo Campos

Universidade Federal da Paraíba - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa – Paraíba

Ricardo Peixoto Suassuna Dutra

Universidade Federal da Paraíba - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa – Paraíba

Daniel Araújo de Macedo

Universidade Federal da Paraíba - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, João Pessoa – Paraíba

sólido (CCOS) são uma boa alternativa para suprir a crescente demanda energética mundial. As soluções sólidas à base de céria são materiais promissores para aplicação como eletrólitos de CCOS, pelas maiores condutividades iônicas comparadas ao eletrólito tradicional de zircônia estabilizada com ítria. A desvantagem desses eletrólitos está nas altas temperaturas de processamento requeridas para completa densificação. Uma solução para diminuir estas temperaturas é a co-dopagem com óxidos de metais de transição com baixo ponto de fusão. Este trabalho é focado no comportamento de soluções sólidas de céria com adição de CuO. Os efeitos do teor de óxido de gadolínio sobre a sinterabilidade, microestrutura e propriedades elétricas foram avaliados e discutidos. Utilizou-se o método de Pechini para sintetizar composições nominais $\text{Ce}_{0,99-x}\text{Gd}_x\text{Cu}_{0,01}\text{O}_{2-\delta}$ ($0 \leq x \leq 0,3$). A análise térmica em pós tratados a 300 °C determinou a temperatura ideal de calcinação. A difratometria de raios X foi aplicada aos pós calcinados determinando suas características cristalográficas. A sinterabilidade foi investigada por dilatometria até 1200 °C. As propriedades elétricas foram investigadas por espectroscopia de impedância. Os resultados indicam a formação eficaz de soluções sólidas com estrutura fluorita, havendo uma redução do tamanho de cristalito com o aumento do teor de

RESUMO: As células a combustível de óxido

gadolínia. A dopagem com gadolínia favorece a densificação e diminui o tamanho do grão. A condutividade elétrica aumenta com a adição de gadolínia, atingindo um máximo de 7,81 mS/cm a 600 °C para a amostra contendo 15% em mol deste dopante.

PALAVRAS-CHAVE: eletrólitos, céria, sinterização, condutividade.

ABSTRACT: Solid oxide fuel cells (SOFC) are a good alternative to supply the growing global energy demand. Solid solutions based on ceria are promising materials for application as SOFC electrolytes, due to the higher ionic conductivities compared to the traditional yttria stabilized zirconia electrolyte. The disadvantage of these electrolytes is the high processing temperatures needed for complete densification. One solution to decrease this temperature is the addition of low melting point transition metal oxides. This work is focused on the behavior of solid solutions of ceria with addition of CuO, evaluating the effect of gadolinium oxide content on sintering, microstructure and electrical properties. The Pechini method was used to synthesize nominal compositions $\text{Ce}_{0.99-x}\text{Gd}_x\text{Cu}_{0.01}\text{O}_{2-\delta}$ ($0 \leq x \leq 0.3$). Thermal analysis in powders treated at 300 °C determined the ideal calcination temperature. The XRD with the Rietveld refinement were applied to the calcined powders determining their crystallographic characteristics. The sintering was investigated by dilatometry up to 1200 °C. MEV determined the mean grain size. The electrical properties were investigated by impedance spectroscopy. The results indicate the effective formation of crystalline solid solutions with fluorite structure, with a decrease in crystallite size with an increase in gadolinium content. Doping with gadolinia favors densification and decreases grain size. The electrical conductivity increases with the addition of gadolinium, reaching a maximum of 7.81 mS / cm at 600 °C for a sample containing 15 mol% of this dopant.

KEYWORDS: electrolytes, ceria, sintering, conductivity.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética ainda é suprida pelo uso desenfreado de combustíveis fósseis, uma fonte de energia primária, não renovável e que produz altas emissões de gases poluentes. Espera-se que as fontes de energia renováveis possam melhorar a qualidade da distribuição e aumentar a quantidade da energia gerada. Devido a tal preocupação, uma nova tecnologia de geração limpa de energia ganha espaço para uso em veículos e estações geradoras de energia em residências, hospitais e pequenas indústrias, é a tecnologia das células a combustível (também conhecidas como pilhas a combustível) (ETT *et al.*, 2002).

Nas últimas duas décadas, as pesquisas em um tipo específico de célula a combustível, denominada célula a combustível de óxido sólido (CCOS) têm aumentado consideravelmente. As células a combustível de óxido sólido se mostram como uma boa solução energética, pois possuem flexibilidade de uso de combustíveis e grande possibilidade de aplicação. O crescente interesse por esse tipo de tecnologia é justificado pela elevada eficiência energética das células a combustível em comparação

a outros sistemas de produção de energia, podendo chegar a 85%. No entanto, os altos custos de fabricação dos componentes e a baixa durabilidade dos dispositivos, devido às altas temperaturas de operação (tipicamente entre 500 e 1000 °C) limitam a seleção de componentes e aceleram efeitos de degradação associados a processos termicamente ativados. Neste cenário, justifica-se a necessidade de encontrar materiais que suportem as altas temperaturas necessárias para operação das células a combustível de óxido sólido, com objetivo de diversificar e ampliar sistemas de produção de energia mais sustentáveis (GÖTZ *et al.*, 2000; CARRETE *et al.*, 200; 1AMARAL *et al.*, 2016; LARMINE *et al.*, 2003).

2 | CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

Células a combustível podem ser definidas como equipamentos eletroquímicos que convertem a energia livre de uma reação química em energia elétrica e calor, através da combinação eletroquímica de um combustível com um oxidante (oxigênio ou o próprio ar atmosférico). A operação da célula a combustível pode ser contínua, pois o combustível e o oxidante são estocados externamente, isto é, não há o consumo dos eletrodos, como ocorre nas pilhas eletroquímicas. A possibilidade de usar diversos combustíveis, tais como hidrogênio, metano, etanol, metanol e biogás, é uma das principais vantagens das células a combustível. O grande potencial de aplicação das células a combustível deve-se, principalmente, à combinação entre confiabilidade, operação silenciosa e modularidade, características que as tornam uma tecnologia adequada para geração de energia descentralizada (livre de redes de distribuição) e ininterrupta (enquanto houver fornecimento dos gases reagentes). A célula a combustível de óxido sólido (CCOS) oferece uma tecnologia de baixa poluição para gerar eletricidade eletroquimicamente e com alta eficiência. Sua eficiência gira em torno de 45 a 60%, podendo chegar a mais de 85% nos sistemas de co-geração de energia. Além do seu alto desempenho, quando comparada a outros tipos de células a combustível, a CCOS apresenta tolerância ao monóxido de carbono, o que viabiliza a utilização de combustíveis como os hidrocarbonetos (VARGAS 2012; SINGHAL *et al.*, 2009; ARIAS 2012 SINGHAL, 2000; LAPA, 2008) (LAPA, 2008).

O arranjo da célula é constituído por dois eletrodos porosos, onde o cátodo estar em contato com um gás oxidante e o ânodo com um gás combustível, e um eletrólito denso separando estes eletrodos. Os materiais para os componentes de uma SOFC são selecionados com base nas suas propriedades de condução elétrica; compatibilidade química; estabilidade estrutural a altas temperaturas e durante a fabricação da célula e expansão térmica semelhante entre os diferentes componentes. O eletrólito denso é um óxido cerâmico inorgânico e por essa natureza opera em elevadas temperaturas, tipicamente entre 500 e 1000°C. As aplicações das células a combustível de óxido sólido de maior desenvolvimento são aquelas para unidades estacionárias destinadas à produção de algumas dezenas de kW de potência elétrica.

Assim como as demais células a combustível, as CCOSs também são compostas por quatro unidades básicas: o eletrodo em contato com o ar (cátodo), o eletrodo em contato com o combustível (ânodo), o eletrólito e o interconector. Em geral, estes componentes necessitam de alguns pré-requisitos como foi dito anteriormente, bem como ter uma boa resistência mecânica, baixo custo e facilidade de fabricação (LAPA, 2008; GÖTZ, 2000; AMADO, 2017; VERANITISAGUL, 2012; DATTA, 2009).

2.1 Materiais Para Células a Combustível de Óxido Sólido

Para o funcionamento correto das células a combustível de óxido sólido, os materiais utilizados devem atender a certos requisitos, devido às altas temperaturas de operação que estão envolvidas, tais como adequada expansão térmica, compatibilidade química, resistência a fadiga térmica, resistência a corrosão, estabilidade em atmosfera redutora e oxidante e propriedade condutora envolvendo íons e/ou elétrons (WANDEKAR, 2006).

As atuais pesquisas de desenvolvimento das CCOS têm como objetivo diminuir a temperatura de operação para faixas em torno de 600-800°C, ou ainda menores. Esse objetivo pode ser alcançado com o desenvolvimento de novos materiais que alcancem a mesma eficiência energética em temperaturas inferiores ou melhorando os materiais atuais sem comprometer a eficiência, em temperatura de operação menor. Dentre os principais materiais que estão sendo pesquisados merecem destaque os compósitos cerâmica-metal (cermets) de óxido de cério com níquel ou ferro para o anodo, os óxidos mistos baseados em lantânio e estrôncio para o catodo e as soluções sólidas à base de céria dopadas com óxidos de gadolínio ou samário para o eletrólito (WANDEKAR, 2006).

Além desses, são extensivas as pesquisas para encontrar materiais adequados para o uso no interconector. Este é o componente que apresenta as maiores exigências e deve ter alta condutividade eletrônica, estabilidade tanto em atmosfera redutora como em oxidante, baixa permeabilidade a gases, expansão térmica próxima do eletrólito e dos eletrodos e ser quimicamente inerte com todos os outros componentes e com o material de contato elétrico. Os principais materiais usados são as cromitas de lantânio dopadas com íon de metais alcalinos terrosos ou com íons de metais de transição (ÖKSÜZÖMER, 2013; LAPA, 2008)

O material mais utilizado e desenvolvido tecnologicamente para eletrólitos é o óxido de zircônia estabilizada com 8% em mol de óxido de ítria (YSZ), $(\text{ZrO}_2)_{0,92}(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0,08}$. A zircônia na fase cúbica apresenta uma maior condutividade iônica e também uma melhor estabilidade mecânica quando comparado com as fases monoclinica e tetragonal, portanto a adição do óxido de ítria tem como objetivo estabilizar a fase cúbica da zircônia a partir da temperatura ambiente. Para diminuir as perdas de desempenho associadas à alta resistência ôhmica da YSZ, especialmente abaixo de 800 °C, filmes de YSZ com espessura variando entre 5 e 20 µm costumam ser depositados sobre o

anodo . Além deste material, outros materiais têm sido adotados como eletrólitos por ter condutividade iônica maior que a da YSZ na mesma temperatura de operação, tais como os materiais a base de céria dopada com algum elemento de terras raras (gadolínio e samário, por exemplo) e os óxidos de bismuto estabilizados, porém não apresentam a mesma estabilidade química da YSZ (LAPA, 2008; SINGHAL, 2000; LOPES, 1999).

Eletrólitos a base de óxido de cério (céria) dopado com óxidos de gadolínio, samário ou cálcio apresentam condutividades maiores que os eletrólitos a base de zircônia, mas tendem a desenvolver condutividade eletrônica em atmosfera redutora (como resultado da transformação para Ce^{3+}). Os óxidos de bismuto apresentam elevada condutividade iônica e alta reatividade, mas são facilmente reduzidos e têm baixa resistência (LAPA, 2008).

2.2 Eletrólitos à Base de Céria Dopada com Gadolínia

A céria pura não apresenta boas propriedades de condução de íons oxigênio, uma deficiência que pode ser contornada utilizando-se do artifício de dopagem com óxidos de terras raras. Estes eletrólitos à base de céria vêm se tornando uma alternativa bastante atraente para substituição dos eletrólitos à base de zircônia. Dentre os eletrólitos a base de céria dopada, aqueles contendo o íon gadolínio têm sido extensivamente investigados. As soluções sólidas contendo os íons Gd^{+3} e Ce^{+4} (céria dopada com gadolínia, CGO) estão entre os materiais de eletrólito mais utilizados para aplicação em temperaturas baixas e intermediárias (500 a 750 °C) (LAPA 2008; MARTÍNEZ, 2013; SINGHAL, 2004; SHAO *et al.*, 2012; CALLISTER, 2008; HAO *et al.*, 2012).

O aumento da condutividade com a dopagem, está relacionado com o aumento das vacâncias de oxigênio na rede cristalina da céria, o que favorece a difusão dos íons oxigênio ao longo da estrutura. A afinidade da céria com os elementos de terras raras Sm^{+3} e Gd^{+3} é maior devido à proximidade dos seus raios iônicos com o dos íons Ce^{+4} , o que favorece o surgimento das vacâncias de oxigênio. Para minimizar o gasto energético associado às altas temperaturas de sinterização dos eletrólitos de CGO, algumas rotas de processamento vêm sendo utilizadas. Uma dessas rotas é a incorporação de aditivos de sinterização. Nos últimos anos, existem grandes estudos nos efeitos simultâneos do uso de nanopartículas e da co-dopagem com aditivos de sinterização para a obtenção de eletrólitos à base de céria em temperaturas abaixo de 1300 °C. Os principais aditivos investigados são: MnO_2 , Mn_3O_2 , Co_3O_4 , CoO , CuO e Fe_2O_3 . A eficácia do aditivo de sinterização se deve à sua capacidade de formação de fase líquida na estrutura e/ou a sua capacidade de aproximar os contornos de grão, favorecendo o fluxo atômico (BURINSKAS *et al.*, 2011; NICHOLAS *et al.*, 20017; BARAL *et al.*, 2013; DONG *et al.*, 2010; PAREDES *et al.*, 2006; MATOVIC *et al.*, 2011)

Segundo Lapa (2009), os metais de transição utilizados como aditivos de sinterização nos eletrólitos à base de céria têm uma tendência de segregar apenas

nos contornos de grão, em decorrência dos seus raios iônicos serem menores que os raios dos cátions da rede. Para que a incorporação de aditivos como Cu, Mn, Co e Fe altere a carga dos contornos de grão de forma benéfica, evitando a formação de uma segunda fase, há uma faixa de composição adequada para cada aditivo de sinterização (GODOI *et al.*, 2008).

3 | METODOLOGIA

Pós de céria dopada com diferentes teores de gadolínia, de acordo com a composição $Ce_{0,99-x}Gd_xCu_{0,01}O_{2-\delta}$ ($x = 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ e $0,3$) e co-dopada com 1% em mol de CuO, que atua como aditivo de sinterização, foram obtidos pelo método dos precursores poliméricos (método Pechini). As amostras preparadas foram denominadas de acordo com a presença e teor de gadolínia, como pode ser observado na Tabela 1.

Composição	Denominação da amostra
$Ce_{0,99}Cu_{0,01}O_{1,995}$	Ce0Gd
$Ce_{0,94}Gd_{0,05}Cu_{0,01}O_{1,96}$	Ce5Gd
$Ce_{0,89}Gd_{0,1}Cu_{0,01}O_{1,94}$	Ce10Gd
$Ce_{0,84}Gd_{0,15}Cu_{0,01}O_{1,91}$	Ce15Gd
$Ce_{0,79}Gd_{0,2}Cu_{0,01}O_{1,89}$	Ce20Gd
$Ce_{0,74}Gd_{0,25}Cu_{0,01}O_{1,865}$	Ce25Gd
$Ce_{0,69}Gd_{0,3}Cu_{0,01}O_{1,84}$	Ce30Gd

Tabela 1: Denominação das amostras preparadas.

A primeira etapa da síntese química é a dissolução do ácido cítrico em água destilada, à temperatura de 50 °C durante 10 minutos. Em seguida é adicionado o nitrato de cério ($Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$) e a temperatura reacional é aumentada para a faixa entre 65 e 70 °C, por um intervalo de 1 hora. Após esse intervalo, são adicionados os nitratos de gadolínio e cobre, nesta ordem, de acordo com a composição desejada. Intervalos de 1 hora são adotados entre a adição destes nitratos.

A última etapa de síntese consiste na adição do etilenoglicol e aumento da temperatura para 75-80 °C, promovendo a reação de poliesterificação que transforma a solução límpida em uma resina polimérica contendo os cátions Ce^{+4} , Gd^{+3} e Cu^{+2} . Foram obtidas no total, sete resinas poliméricas, uma sem gadolínio e as demais com o teor de Gd variando entre 5 e 30 % em mol.

Para obtenção dos pós precursores, foi realizado um tratamento térmico nas resinas poliméricas. Cada resina foi submetida a uma temperatura de 300 °C, com taxa de aquecimento de 1 °C/min, durante 120 minutos de patamar. O material resultante de cada tratamento térmico foi desagregado em almofariz de ágata até que resultasse nos pós precursores. Esses pós foram submetidos a uma etapa de calcinação a 500

°C, com taxa de aquecimento de 3 °C/min e patamar de 1 h. Os pós calcinados foram caracterizados por difratometria de raios X. A análise da estrutura cristalina através das determinações de parâmetro de rede, tamanho do cristalito e densidade teórica foi realizada pela técnica de difratometria de raios X. Utilizou-se o equipamento de modelo XRD-7000, da Shimadzu, e os parâmetros para o ensaio foram varredura angular 2θ entre 20 e 80°, passo de 0,02° e tempo de contagem de 2s por passo usando radiação monocromática K α do Cobre ($\lambda = 1.5418\text{\AA}$) obtida com 40 kV e corrente de filamento de 40 mA.

O refinamento Rietveld dos resultados obtidos pela difratometria de raios X foi realizado usando o software MAUD, sendo que para cada composição utilizou-se um padrão ICSD específico. Para a fase CeO₂ utilizou-se a carta padrão ICSD 72155, para a fase Ce_{0,9}Gd_{0,1}O_{1,95} o padrão utilizado foi o ICSD 28795, para a fase Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{1,8} foi o padrão ICSD 28796 e para a fase Ce_{0,7}Gd_{0,3}O_{1,85} foi usado o padrão ICSD 28797.

As densidades teóricas foram calculadas usando a Eq. 1.

$$\rho_t = \left(\frac{4}{N_A \cdot a^3} \right) \left[(0,99 - x)M_{Ce} + xM_{Gd} + 0,01M_{Cu} + \left(2 - 0,005 - \frac{x}{2} \right) M_O \right] \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, N_A é o número de Avogrado, “a” é o parâmetro de rede, M é a massa atômica de cada elemento, “x” é o teor de gadolínio e “y” é o teor de cobre.

Para cada composição preparada, pelo menos duas pastilhas cerâmicas foram obtidas. A confecção das pastilhas (diâmetro de 10 mm, espessura de 2 mm) foi realizada por prensagem uniaxial em prensa hidráulica modelo MPH-30, da Marcon. Utilizou-se pressão de 127 MPa, mantida por um intervalo de tempo de 30 segundos. Após a prensagem, as pastilhas foram sinterizadas em forno tipo mufla com atmosfera de ar na temperatura de 1050 °C, usando taxa de aquecimento de 3 °C/min e patamar de 5 h. Para realizar as medidas elétricas, eletrodos porosos de prata foram preparados usando pasta de prata. A pasta foi depositada em faces paralelas das pastilhas e curada a 600 °C por 1 h em ar. A caracterização elétrica das pastilhas sinterizadas a 1050 °C/5 h foi realizada por espectroscopia de impedância na faixa de temperatura entre 200 e 600 °C, em ar, usando um analisador de impedância Solartron modelo 1260, porta amostra triplo e um forno tubular. A faixa de frequência utilizada foi entre 1 Hz e 3 MHz, com uma amplitude de sinal de 0,1 V. Os resultados de impedância foram analisados utilizando o programa ZView (Scribner Associates, Inc.).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização estrutural e a pureza das soluções sólidas Ce_{0,99-x}Gd_xCu_{0,01}O_{2- δ} (x = 0; 0,05; 0,10; 0,15; 0,2; 0,25 e 0,30) obtidas pelo método dos precursores poliméricos e calcinadas a 300 °C por 1 h, foram determinadas por difratometria de raios X (DRX). Os padrões de difração dos pós calcinados, ilustrados na Figura 1, evidenciam a presença de picos característicos da estrutura cúbica tipo fluorita, a mesma do óxido

de cério (CeO_2). Dentro do limite de detecção da difratometria de raios X, não há evidências de formação de fases secundárias, sugerindo que os teores de Cu^{+2} e Gd^{+3} não ultrapassaram os seus limites de solubilidade na rede da céria, dentro das condições de preparação adotadas neste trabalho.

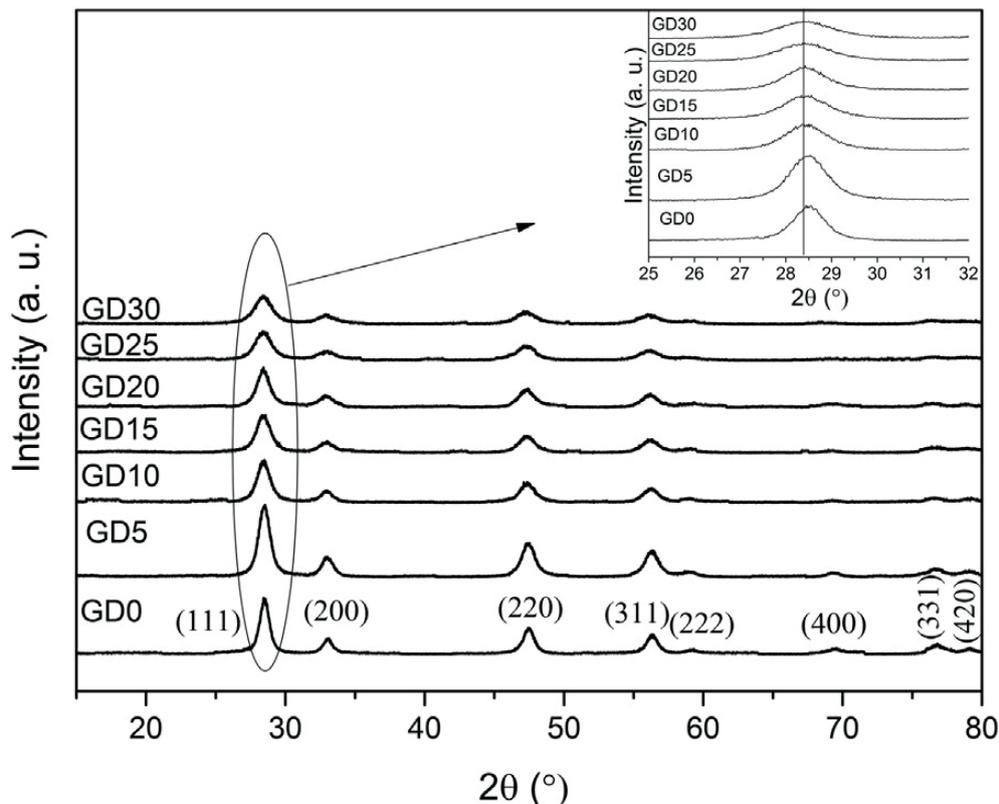


Figura 1: Difratogramas de raios X para os pós com diferentes teores de gadolândia.

Observa-se que o teor do íon gadolínio exerce efeito sobre o alargamento e a intensidade dos picos de difração, sendo uma indicação da variação do tamanho de cristalito. Deste modo, espera-se que a amostra que apresente menor tamanho de cristalito seja aquela que contém a maior dopagem de gadolínio, um resultado que será posteriormente confirmado por refinamento Rietveld dos dados de difração. Uma vez que os íons Ce^{4+} são inicialmente substituídos por Cu^{2+} , formando a solução sólida $\text{Ce}_{0,99}\text{Cu}_{0,01}\text{O}_{2-\delta}$, e posteriormente substituídos por teores crescentes de Gd^{3+} , originando soluções sólidas Ce-Gd-Cu-O, há um progressivo aumento das vacâncias de oxigênio (indicadas pelo símbolo δ). Estas vacâncias conduzem a um aumento no parâmetro de rede e conseqüente alargamento dos picos de difração (STEELE, 2000).

Os difratogramas de raios X apresentam um leve desvio do pico principal, plano (111), com o aumento do teor de gadolândia. Esse efeito pode ser melhor observado na Figura, onde os picos além de ser mais alargados e com menor intensidade, também se deslocam para ângulos 2θ menores com o aumento do teor de gadolândia. Esse leve deslocamento evidencia a formação da solução sólida, indicando um aumento do parâmetro de rede como resultado da substituição de íons Ce^{4+} por Gd^{3+} , este último com maior raio iônico (COSTA *et al.*, 2015).

Uma caracterização estrutural detalhada dos pós calcinados foi realizada por

refinamento Rietveld dos dados de difração. Este método baseia-se na simulação de um padrão de difração calculado que em seguida é subtraído do padrão de difração observado (obtido experimentalmente) e a diferença entre esses padrões são minimizadas por adequação das estruturas cristalinas e funções matemática que descrevem o formato dos picos de difração. O refinamento Rietveld torna possível a análise detalhada das fases presentes, a determinação de tamanho de cristalitos e os seus respectivos parâmetros de rede (WANDEKAR *et al.*, 2006).

O refinamento Rietveld dos dados de difração, realizado utilizando o programa computacional Maud e cartas padrões do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*): ICSD 72155 para céria e ICSD 28795 para as soluções sólidas de céria-gadolínia, permitiu a obtenção dos parâmetros cristalográficos (parâmetro de rede (nm), volume da célula unitária (\AA^3) e tamanho de cristalito, D_{DRX} (nm)) e índices de refinamento (R_{wp} , R_{exp} , χ^2) apresentados na Tabela 2.

Composições	Parâmetros cristalográficos					
	$a=b=c$ (nm)	Volume (\AA^3)	D_{DRX} (nm)	R_{wp} (%)	R_{exp} (%)	χ^2
Ce0Gd	0,54116	158,483	16,78	9,71	8,24	1,18
Ce5Gd	0,54186	159,096	14,43	7,94	7,43	1,07
Ce10Gd	0,54186	159,092	12,61	11,08	8,10	1,37
Ce15Gd	0,54211	159,318	11,33	9,41	8,27	1,14
Ce20Gd	0,54251	159,670	11,88	10,47	8,15	1,29
Ce25Gd	0,54368	160,702	10,04	8,55	8,39	1,02
Ce30Gd	0,54338	160,438	8,87	8,50	7,04	1,21

Tabela 2: Parâmetros cristalográficos e índices de refinamento para as composições calcinadas a 500 °C.

Os resultados do refinamento Rietveld indicam que o parâmetro de rede da céria dopada com 1% em mol de CuO ($\text{Ce}_{0,99}\text{CuO}_{2-\delta}$) é próximo ao da céria pura ($a = 0,5411$ nm, de acordo com a carta JCPDS 43-1002) e as soluções sólidas com sucessivas adições de gadolínia experimentam um crescente aumento do parâmetro de rede e, conseqüentemente, do volume da célula unitária, como previamente mencionado com base no alargamento dos picos de difração. Essa expansão da estrutura é devido à diferença entre os raios iônicos do Gd^{3+} (0,105 nm) e do Ce^{4+} (0,097 nm [58], ou seja, a incorporação do íon trivalente (com maior raio) causa deformação uniforme na estrutura. Os tamanhos de cristalito ($D_{DRX} = 8 - 16$ nm) são menores que valores típicos reportados na literatura para pós obtidos pelo método da combustão (40-50 nm) [49] e por um método de complexação de citratos (53 nm), ambos preparados sob condições de calcinação similares às usadas neste estudo. É importante mencionar que pequenos tamanhos de cristalito/partícula tendem a aumentar a sinterabilidade das cerâmicas, diminuindo a temperatura necessária para máxima densificação,

devido ao aumento da área superficial (LOPES, 1999).

A caracterização por espectroscopia de impedância foi realizada em atmosfera de ar entre 200 e 600 °C, com um intervalo de 25 °C entre cada medida. Um modelo de circuito elétrico (resistências e capacitâncias) é utilizado para representar os processos ou fenômenos físicos que ocorrem na amostra, tais como contribuições para condutividade relacionadas com o grão e contorno de grão. A partir da resposta dada através do ajuste desse modelo de circuitos, é possível analisar e interpretar as medidas na técnica de espectroscopia de impedância e obter informações como condutividade elétrica e energia de ativação para os processos de condução. Um espectro de impedância para amostra de composição $\text{Ce}_{0,99}\text{Cu}_{0,01}\text{O}_{2-\delta}$, obtido a 600 °C, é apresentado na Figura 2. Através do espectro, pode-se observar que os semicírculos na região de alta frequência, relacionados ao grão (I - Figura 2.b) e ao contorno de grão (II - Figura 2.a), possuem pouca proporcionalidade. Esta observação sugere que a amostra é altamente resistiva, sendo a quase totalidade da sua resistividade associada ao efeito bloqueador dos contornos de grão, pois o semicírculo relacionado ao contorno de grão (II - Figura 2.a) possui dimensões bem maiores que o semicírculo relacionado ao grão (I - Figura 2.b), podendo ser observado apenas ampliando-se o gráfico.

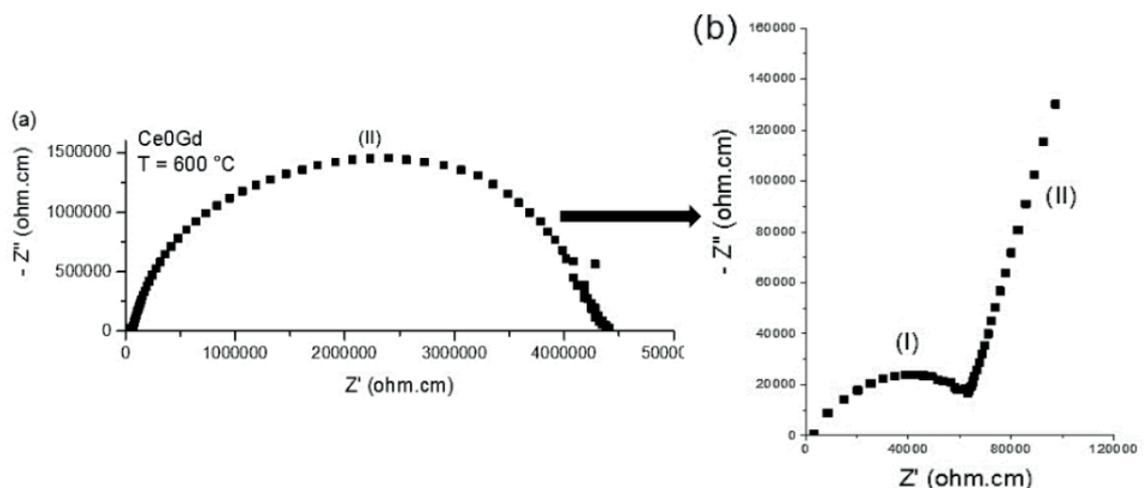


Figura 2: Espectro de impedância a 600 °C para a amostra $\text{Ce}_{0,99}\text{Cu}_{0,01}\text{O}_{2-\delta}$.

A Figura 3 apresenta um espectro de impedância para a amostra contendo 20 % em mol de gadolína, obtido a 300 °C, nele é possível observar semicírculos na região de alta frequência relativos tanto à impedância do grão (I), como à impedância dos contornos de grão (II). Para obter informações sobre os processos de condução que ocorrem na amostra, na prática, utiliza-se o modelo de circuitos elétricos representados por associações em série de elementos de circuito RC (Resistor/Capacitor) submetidos a uma diferença de potencial. O elemento de fase constante (CPE, do inglês *Constant Phase Element*) é inserido no lugar de um capacitor (C), por ser uma generalização de uma capacitância, que leva em consideração a “não idealidade” dos semicírculos observados experimentalmente, podendo então atingir um ajuste perfeito para os

semicírculos com desvio da idealidade. Deste modo, para o caso do espectro da Figura 2, é possível avaliar que a contribuição para a resistência total é em maior parte devido à resistência relativa ao contorno de grão, e assim a contribuição da resistência de grão é menos significativa para a resistência total da amostra.

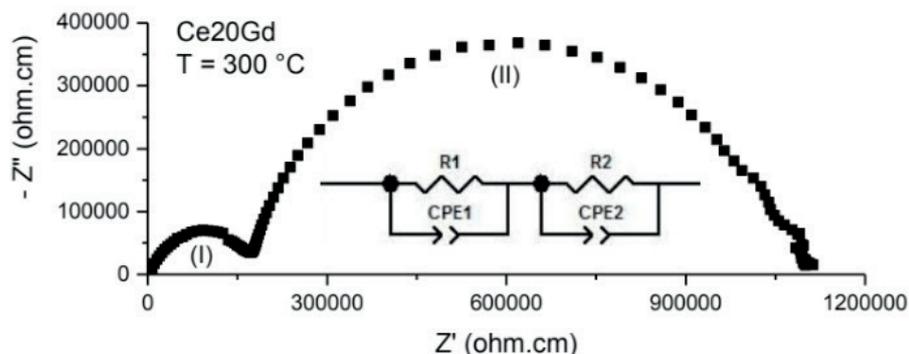


Figura 3: Espectro de impedância a 300 °C para a amostra contendo 20 % em mol de gadolína. As indicações são para os semicírculos do grão (I) e do contorno de grão (II).

A Figura 4 mostra o espectro de impedância para as amostras dopadas entre 5 % e 30 % em mol de gadolína, obtidos à temperatura de 400 °C, em atmosfera de ar. Observa-se que para a maioria das amostras, apenas o semicírculo referente ao contorno de grão é evidentemente visível, onde os grãos são considerados simples resistores e seus valores de resistividade correspondem às distâncias do baixo intercepto dos semicírculos de contorno de grão à origem dos eixos, medidos sobre o eixo da impedância real (Z').

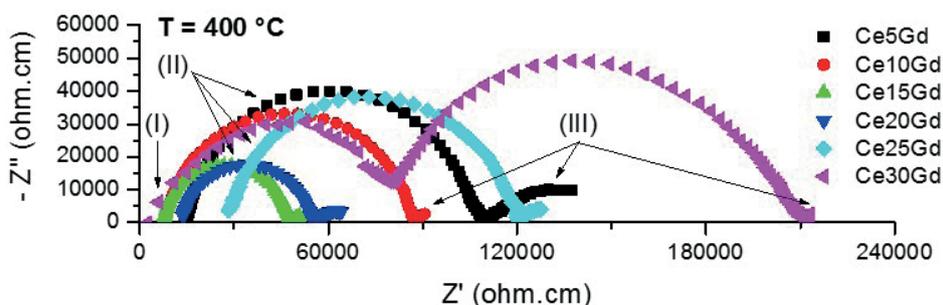


Figura 4: Espectros de impedância a 400 °C para as amostras dopadas entre 5 % a 30% em mol de gadolína.

Na amostra contendo 30% em mol de Gd, é possível observar tanto o semicírculo para o grão, quanto para o contorno de grão, onde a resistividade atribuída ao contorno de grão para essa amostra é significativamente maior que para as demais amostras. Este efeito pode estar relacionado ao menor tamanho de grão médio que esta amostra possui, ou seja, sua densidade de contornos de grão é elevada e devido às descontinuidades que os contornos de grão possuem sua resistividade aumenta. Levando-se em consideração o efeito do teor de gadolína, alguns comportamentos em relação a condutividade das amostras podem ser observados na Figura 4. Em

primeiro lugar, tem-se que as resistividades das amostras diminuem com a adição de maiores teores de gadolína, evidenciando a formação de vacâncias de oxigênio devido à presença do dopante. Porém, as resistividades voltam a aumentar com incorporações de gadolína superiores a 20 % em mol, podendo estar relacionado a formação de pares íon dopante/vacâncias de oxigênio, que reduzem a mobilidade das vacâncias e, conseqüentemente, a condutividade do material. Em segundo lugar, a redução na condutividade pode estar relacionada com o aumento da densidade de contornos de grão, que também reduzem a mobilidade das vacâncias, assim como a presença de poros.

Utilizou-se o programa ZView (Scribner Associates, Inc.) para analisar os resultados de impedância, obtendo-se os valores de resistência (R) que são aplicados nos cálculos de condutividade (σ), considerando a espessura das amostras (L) e a área dos eletrodos de prata (A). Com a técnica de espectroscopia de impedância é possível calcular as condutividades elétricas associadas ao grão (σ_g), ao contorno de grão (σ_{cg}) e a condutividade total (σ_{total}).

Na Figura 5 é apresentado o gráfico de Arrhenius das condutividades totais para as sete composições em estudo: $Ce_{0,99-x}Gd_xCu_{0,01}O_{2-\delta}$ ($x = 0; 0,05, 0,10; 0,15; 0,2; 0,25$ e $0,30$).

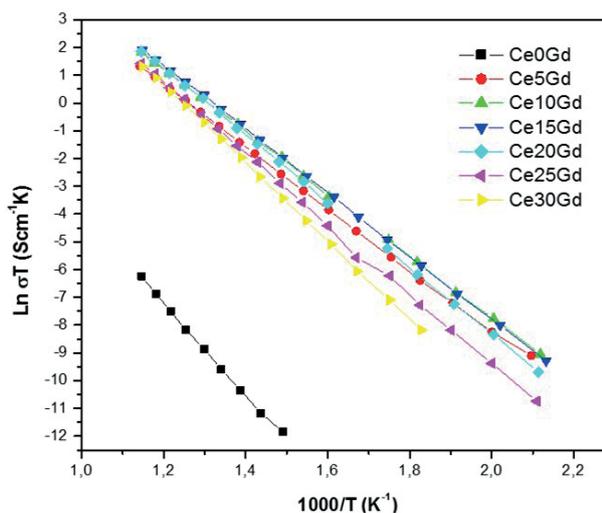


Figura 5: Gráfico de Arrhenius das condutividades totais para amostras com teores de 0 a 30 % em mol de gadolínio.

De acordo com a Figura 5, a amostra que possui menores valores de condutividade total, no intervalo de temperatura entre 400 e 600 °C, é a composição livre de gadolínio ($Ce_{0,99}Cu_{0,01}O_{2-\delta}$). Este dado está de acordo com a literatura [60], pois a céria pura é um pobre condutor iônico ($\sigma_{700\text{ }^\circ\text{C}} = 1,9 \times 10^{-5}$ S/cm) e a adição de 1% em mol de CuO não seria suficiente para reduzir a sua resistividade iônica. Por outro lado, a adição de pequenas quantidades de gadolína (5% em mol) já apresenta uma melhora considerável na condutividade total, em relação a solução sólida de Ce e Cu. Com o aumento do teor de Gd_2O_3 , têm-se condutividades totais ainda melhores,

principalmente para as amostras contendo 10% e 15% em mol, em todo intervalo de temperatura, e em temperaturas mais altas, a composição com 20% também apresenta bons valores de condutividade total. Este é um resultado da transformação da céria pura em um bom condutor através da substituição de uma fração dos íons Ce^{4+} por íons de valência menor, tais como Gd^{3+} e Sm^{3+} , atingindo condutividades descritas pela literatura de 0,082 a 0,1 S/cm a 800 °C. A melhoria nas propriedades elétricas está associada à geração de vacâncias de oxigênio, criadas para manter a neutralidade elétrica da rede da céria (PAREDES *et al.*, 2006; MATOVIC *et al.*, 2011)

5 | CONCLUSÕES

No presente trabalho amostras de composições $Ce_{0,99-x}Gd_xCu_{0,01}O_{2-\delta}$ ($x = 0; 0,05, 0,10; 0,15; 0,2; 0,25$ e $0,30$) foram obtidas com sucesso pelo método dos precursores poliméricos e as características dos materiais particulados e cerâmicas sinterizadas foram investigadas, destacando-se as seguintes conclusões:

- I. Foram obtidas partículas nanocristalinas (tamanho de cristalito, $D_{DRX} < 15$ nm) de soluções sólidas à base de céria co-dopadas com Gd_2O_3 e CuO e solução sólida à base de céria dopada com CuO ($D_{DRX} < 17$ nm), com estrutura do tipo fluorita, após calcinação a 500 °C por 1 h, implicando em bom potencial de sinterabilidade deste material;
- II. A condutividade elétrica é influenciada tanto pelo teor de gadolína, como por sua microestrutura, onde menores grãos implicam em uma densidade de contornos de grão maior, e conseqüentemente, uma resistividade maior da amostra. A condutividade elétrica apresenta melhores resultados para 15 % em mol de gadolína.

REFERÊNCIAS

AMADO, R. S. *et al.* **Pilhas a Combustível de Óxido Sólido: Materiais, Componentes e Configurações.** *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 1, 189-197, 2007.

AMARAL, A. A., *et al.* **Eficiência de Células Combustíveis do Tipo SOFC.** 3º Workshop Internacional Sobre Células a Combustível. São Paulo, 2006.

ARIAS, J. L. A. **Células a Combustível de Óxido Sólido Planares: Processamento e Avaliação do Desempenho Usando Álcool Como Combustível.** UFSC, 2012 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ARMSTRONG, P. **Hydrogen Power.** Science Fact or Science Fiction, 1996.

BARAL, A. K. *et al.* **Effect Of Sintering Aid (CoO) on Transport Properties Of Nanocrystalline Gd Doped Ceria (GDC) Materials Prepared by Co-Precipitation Method.** *Journal of Alloys and Compounds* 575 (2013) 455–460.

[33] BERNARDI, M. I. B. *et al.* **Development of Metal Oxide Nanoparticles by Soft Chemical Method.** *Ceramics International* 35 (2009) 463–466.

BERTON, M. A. C., GARCIA, C. M., MATOS, J. H. **Preparação, Caracterização e Propriedades Elétricas de Eletrólitos Sólido para Célula a Combustível de Óxido Sólido.** Espaço Energia, v. 12, Abril 2010.

BURINSKAS, S. *et al.* **Synthesis and Characterization of GDC Solid Electrolytes Obtained by Solid State Sintering of Multilayer Thin Films.** Solid State Ionics 184 (2011) 14–18.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais – uma Introdução.** LTC, 7ª edição, Rio de Janeiro 2008.

CARRETE, L., FRIEDRICH, K. A., STIMMING U. **Fuel Cells - Fundamentals and Applications.** FUEL CELLS, 1, No. 1., 2001.

COSTA, L. B. F., e NEUMANN, R., **“Quantificação de fases minerais e de amorfos por difração de raios X, método de refinamento de espectro multifásico total (método de Rietveld),”** em XV Jornada de Iniciação Científica - CETEM, Rio de Janeiro, 2015.

DATTA, P., *et al.* **Study of Gadolinia-Doped Ceria Solid Electrolyte Surface by XPS.** Materials Characterization 60 (2009) p. 138–143.

DONG, Y. *et al.* **High Sintering Activity Cu–Gd Co-Doped CeO₂ Electrolyte for Solid Oxide Fuel Cells.** Journal of Power Sources 195 (2010) 6510–6515.

DURÁN, P. *et al.* **Cerium (IV) Oxide Synthesis and Sinterable Powders Prepared by the Polymeric Organic Complex Solution Method.** Journal of the European Ceramic Society 22 (2002) 1711–1721.

ETT, G., *et al.* **“Geração de energia elétrica distribuída a partir de célula a combustível,”** em Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, 2002.

FERREIRA, G. B. P. **Estudo Da Sinterização De Eletrólito Sólido De Céria Dopada Com Gadolínia.** UFRN, 2012 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

GODOI, G. S., e SOUZA, D. P. F., **“Efeito de íon aliovalentes nas propriedades elétricas de céria dopada com ítria,”** Revista Matéria, vol. 13, nº 3, pp. 512-521, 2008.

GÖTZ, M., WENDT, H., LINARDI, M. **Tecnologia de Células a Combustível.** Química Nova, 23(4) (2000).

HAILE, S. M. **Materials For Fuel Cells.** Elsevier Science, march, 2003.

HAO, X. *et al.* **A Novel Sintering Method to Obtain Fully Dense Gadolinia Doped Ceria by Applying A Direct Current.** Journal of Power Sources 210 (2012) 86– 91.

INABA, H., TAGAWA, H. **Ceria-Based Solid Electrolytes.** Solid State Ionics 83 (1996) 1- 16.

KHANDELWAL, M. *et al.* **Correlation Between Microstructure and Electrical Conductivity in Composite Electrolytes Containing Gd-Doped Ceria And Gd-Doped Barium Cerate.** Journal of the European Ceramic Society 31 (2011) 559–568.

LAPA, C. M. **Caracterização Elétrica de Eletrólitos Baseados em Céria Nano E Microcristalinos Para Pilhas a Combustível.** UFSCar, 2008 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

LARMINE, J., DICKS, A. **Fuel Cell Systems Explained.** John Wiley & Sons Ltd., Second Edition,

England 2003.

LOPES, P. L. **Célula Combustível**. Universidade Federal de Viçosa, Eletrificação Rural, Viçosa-MG. Janeiro, 1999.

MARTÍNEZ, J. M. G. **Obtenção de Eletrólitos Sólidos com Composição $Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{1,9}$, Para Aplicações em Células a Combustível**. FT- UNB, 2013 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MATOVIC, B. Z. *et al.* **“Synthesis and characterization of Cu- doped ceria nanopowders,”** Ceramics Internacional, vol. 37, nº 8, pp. 3161-3165, 2011.

MENZLER, N. H.; *et al.* **Materials and manufacturing technologies for solid oxide fuel cells.** Journal of Materials Science, v. 45, p. 3109 – 3135, 2010.

NICHOLAS, J. D., JONGHE, L. C. **Prediction and Evaluation of Sintering Aids for Cerium Gadolinium Oxide.** Solid State Ionics 178 (2007) 1187–1194.

ÖKSÜZÖMER, M. A. F., *et al.* **Microstructure and ionic conductivity properties of gadolinia doped ceria ($Gd_xCe_{1-x}O_{2-x/2}$) electrolytes for intermediate temperature SOFCs prepared by the polyolmethod.** Ceramics International 39 (2013) 7305–7315.

PAREDES H. J. A., KIM S. **The effect of segregated transition metal ions on the grain boundary resistivity of gadolinium – doped ceria: alteration of the space charge potential.** Solid State Ionics, 177, 2006, 3075–3080.

PECHINI, M. P. (1967). **U. S. PATENT NO 3.330.697.PDF.**

ROCHA, R. A. **Obtenção e Caracterização de Eletrólitos Sólidos de Céria-Gadolinia.** IPEN, 2001 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2001.

SINGHAL, S. C., WACHSMAN, E. D. **Solid Oxide Fuel Cell: Commercialization, Research, and Challenges.** The Electrochemical Society Interface, p. 38-43, Fall, 2009.

SINGHAL, S. C. **Solid Oxide Fuel Cells.** The Electrochemical Society Interface, p. 41-44, winter, 2009.

SINGHAL, S. C. **Advances in Solid Oxide Fuel Cell Technology.** Solid State Ionics, v. 35, p. 305-315, 2000.

SINGHAL, S. C. **Solid Oxide Fuel Cells: An Overview.** *Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem.* 2004, 49(2), 478.

SINGHAL, S. C.; KENDALL, K. **High-temperature solid oxide fuel cells: fundamentals, design and applications.** Elsevier Science, 2004.

SHAO, Z., ZHOU W., ZHU, Z. **Advanced Synthesis of Materials for Intermediate-Temperature Solid Oxide Fuel Cells.** Progress in Materials Science 57 (2012) 804–874.

STEELE, B. C. H. **Appraisal of $Ce_{1-y}Gd_yO_{2-y/2}$ electrolytes for IT-SOFC operation at 500°C.** Solid State Ionics, v. 129, p. 95 – 110, 2000.

WANDEKAR, R. V., *et al.* **“Physicochemical Studies of NiO-GDC composites.,”** Materials

Chemistry and Physics, vol. 99, pp. 289-294, 2006.

VARGAS, R. A. **Síntese, Processamento e Caracterização de Cátodo Para Aplicação em Células a Combustível de Óxido Sólido de Temperatura Intermediária.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2012 p. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VERANITISAGUL, C. *et al.* **Electrolyte Materials For Solid Oxide Fuel Cells Derived From Metal Complexes: Gadolinia-Doped Ceria.** *Ceramics International* 38 (2012) 2403–2409.

VILLULLAS, H. M. *et al.* **Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis.** *Química Nova na Escola*, v. 15, maio, 2002.

ZUO, C., *et al.* **Sol-Gel Processing for Conventional and Alternative Energy.** Springer Science & Business Media, New York, 2012.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-194-7

