

# Evolução na Ciência e Engenharia de Materiais

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2020

# Evolução na Ciência e Engenharia de Materiais

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

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

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
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. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

E93      Evolução na ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] /  
 Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR:  
 Atena Editora, 2020.

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-85-7247-921-9  
 DOI 10.22533/at.ed.219201601

1. Engenharia de materiais – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann,  
 Henrique Ajuz.

CDD 620.11

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

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

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.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DE FIBRAS VEGETAIS NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E MORFOLOGIA DA FRATURA DE COMPÓSITOS COM FIBRAS CONTÍNUAS E ALINHADAS	
Fábio Santos de Sousa Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho Luciano Monteiro Almeida Roberto Tetsuo Fujiyama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS COM FIBRAS NATURAIS E SINTÉTICAS CONTÍNUAS E ALINHADAS	
Luciano Monteiro Almeida César Tadeu Nasser Medeiros Branco Douglas Santos Silva Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho Roberto Tetsuo Fujiyama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
CARACTERIZAÇÃO DE NANOFILTRO REDUTOR DE SULFETO DE HIDROGÊNIO E UMIDADE DO BIOGÁS	
Mateus Sousa Pinheiro Gabrielle Dias Coelho Maria del Pilar Hidalgo Falla	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
DESCRIÇÃO TERMODINÂMICA DE MICRODOMÍNIOS DENTRO DE PICHE MESOFÁSICO PRECURSOR PARA FIBRAS DE CARBONO	
Caio Cesar Ferreira Florindo Adalberto Bono Maurizio Sacchi Bassi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
NANOBIOSENSOR ELETROQUÍMICO BASEADO EM APTAMERO PARA DETECÇÃO DE OCRATOXINA A EM CAFÉ TORRADO	
Maurília Palmeira da Costa Itala Gabriela Tavares Lima Idjane Silva de Oliveira Cesar Augusto Souza de Andrade Maria Danielly Lima de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016015</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 63**

DETECÇÃO ESPECÍFICA DE SCHISTOSOMA MANSONI EM LCR USANDO UM BIOSSENSOR ELETROQUÍMICO DE DNA BASEADO EM NANOPARTICULAS DE OURO E MERCAPTOSILANO

Giselle Soares dos Santos  
César Augusto Sousa de Andrade  
Fábio Lopes de Melo  
Maria Danielly Lima de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.2192016016**

**CAPÍTULO 7 ..... 73**

PRODUÇÃO DE NANOMATERIAIS BIOMIMÉTICOS A PARTIR DE UM NOVO SISTEMA DE *ELECTROSPINNING* PARA ENGENHARIA DE TECIDOS DOS MENISCOS DO JOELHO

Thiago Domingues Stocco  
Anderson de Oliveira Lobo

**DOI 10.22533/at.ed.2192016017**

**CAPÍTULO 8 ..... 87**

PLATAFORMA NANOSTRUTURADA BASEADA EM APTÂMERO PARA DETECÇÃO DE OCRATOXINA A

Maurília Palmeira da Costa  
Ítala Gabriela Tavares Lima  
Idjane Silva de Oliveira  
Cesar Augusto Souza de Andrade  
Maria Danielly Lima de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.2192016018**

**CAPÍTULO 9 ..... 96**

CARACTERIZAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS PLA/ZNO POR REOLOGIA E NMR NO DOMÍNIO DO TEMPO

Amanda Ramos Aragão Melo  
José Carlos Dutra Filho  
Maria Inês Bruno Tavares

**DOI 10.22533/at.ed.2192016019**

**CAPÍTULO 10 ..... 108**

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE CÁLCIO E BÁRIO EM COMPOSIÇÕES DE PEROVSKITAS  $TR_{(1-x)}M_xO_3$  (TR= PR, GD), (M = CA, BA) (X= 0,2) NA ATIVIDADE CATALÍTICA

Cássia Carla de Carvalho  
Anderson Costa Marques  
Symone Leandro de Castro  
Davidson Nunes de Oliveira  
Filipe Martel de Magalhães Borges  
Alexandre de Sousa Campos

**DOI 10.22533/at.ed.21920160110**

**CAPÍTULO 11 ..... 119**

CERÂMICAS AVANÇADAS: PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ÓXIDOS TERRA RARA-NÍQUEL

Bruna Niccoli Ramirez  
Márcia Tsuyama Escote

**DOI 10.22533/at.ed.21920160111**

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

INSERÇÃO DE ESCÂNDIO E FÓSFORO NO SEMICONDUTOR DE DIÓXIDO DE TITÂNIO PARA APLICAÇÃO EM FOTOCATÁLISE

Eduardo Felipe De Carli  
Eliane Kujat Fischer  
Natali Amarante da Cruz  
Alberto Adriano Cavalheiro

**DOI 10.22533/at.ed.21920160112**

**CAPÍTULO 13 ..... 146**

INDUTORES DE RÁDIO FREQUÊNCIA EXTERNOS COM ALTOS FATORES DE QUALIDADE USANDO OURO, SU8 E ALUMINA

Lucas Martins Miranda de Almeida  
Alexandre da Silva Nascimento  
Richard Alexandrino de Macedo  
Angélica dos Anjos Ayala

**DOI 10.22533/at.ed.21920160113**

**CAPÍTULO 14 ..... 153**

INCLUSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE  $3Y-ZrO_2$  EM MATRIZ DE  $Al_2O_3$  PARA CONFEÇÃO DE INSERTO CERÂMICO

Miguel Adriano Inácio  
José Victor Candido de Souza  
Maria do Carmo de Andrade Nono  
Sergio Luiz Mineiro  
Daniel Alessander Nono

**DOI 10.22533/at.ed.21920160114**

**CAPÍTULO 15 ..... 160**

OPTICAL AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES IN CDSE/CDTE AND CDSE/CDTE NANOCRYSTALS PREPARED BY AQUEOUS SYNTHESIS

Raul Fernando Cuevas Rojas  
Miguel Angel González Balanta  
Silvio José Prado  
Pablo Henrique Menezes  
Lauro Antonio Pradela Filho  
Victor Ciro Solano Reynoso

**DOI 10.22533/at.ed.21920160115**

**CAPÍTULO 16 ..... 170**

PRODUCTION OF ALKALINE PHOSPHATASE BY DENTAL PULP STEM CELLS IN INTERFACE WITH PLASMA MODIFIED TITANIUM

Keylla Dayanne Coelho Marinho de Melo  
Laís Albuquerque Vasconcelos  
Clodomiro Alves Junior  
Jussier Oliveira Vitoriano  
Hugo Alexandre de Oliveira Rocha  
Moacir Fernandes de Queiroz Neto  
José Sandro Pereira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.21920160116**

**CAPÍTULO 17 ..... 187**

SÍNTESE HIDROTÉRMICA ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS DE ALUMINA TRI-HIDRATADA

Ricardo Ritter de Souza Barnasky  
Cristiane Wienke Raubach Ratmann  
Marciel Gaier  
Mário Lúcio Moreira  
Sergio da Silva Cava

**DOI 10.22533/at.ed.21920160117**

**CAPÍTULO 18 ..... 201**

MODIFICAÇÃO QUÍMICA DA LIGA DE ALUMÍNIO 5052 PARA OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIES SUPER-HIDROFÓBICAS

Rafael Gleymir Casanova da Silva  
Maria Isabel Collasius Malta  
Severino Leopoldino Urtiga Filho  
Sara Horácio de Oliveira  
Magda Rosângela Santos Vieira

**DOI 10.22533/at.ed.21920160118**

**CAPÍTULO 19 ..... 207**

INFLUENCE OF THE ALUMINA ADDITION IN THE WEAR RESISTANCE OF THE SINTERED AISI 52100 STEEL

Bruna Horta Bastos Kuffner  
Gilbert Silva  
Carlos Alberto Rodrigues  
Geovani Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.21920160119**

**CAPÍTULO 20 ..... 212**

IMPROVEMENT OF TITANIUM SURFACE WITH PLASMA NITRIDING TREATMENT

Laís Albuquerque Vasconcelos  
Keylla Dayanne Coelho Marinho de Melo  
Clodomiro Alves Junior  
Jussier Oliveira Vitoriano  
Hugo Alexandre de Oliveira Rocha  
Moacir Fernandes de Queiroz Neto  
José Sandro Pereira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.21920160120**

**CAPÍTULO 21 ..... 226**

AValiação de termofosfatos de alumínio com a adição de escória siderúrgica

Maria Sílvia Camarão de Sousa  
Oscar Jesus Choque Fernandez  
Edilson Carvalho Brasil  
Marcondes Lima da Costa  
Érika Raiol Pinheiro  
Marlo Oliveira Costa

**DOI 10.22533/at.ed.21920160121**

**CAPÍTULO 22 ..... 236**

CARACTERIZAÇÃO DA LAMA DE ALTO-FORNO DE UMA SIDERÚRGICA INTEGRADA DO SUDESTE DO PARÁ

Wellington Bruno Silva de Jesus

Alacid do Socorro Siqueira Neves

Emanuel Negrão Macêdo

José Antônio da Silva Souza

Luiz Felipe Silva Pereira

Roseane de Lima Silva

Verônica Scarpini Cândido

Antonio Lourenço da Costa Neto

Raimunda Figueiredo da Silva Maia

Daniel José Lima de Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.21920160122**

**CAPÍTULO 23 ..... 242**

MÉTODO EQUACIONADO PARA PREVISÃO DO TEMPO DE REMOAGEM DE MINÉRIO DE FERRO

Simone Silva Neves

Filipe Mattos Gonçalves

Júnia Soares Alexandrino

Telma Ellen Drumond Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.21920160123**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 254**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 255**

## INCLUSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE 3Y-ZrO<sub>2</sub> EM MATRIZ DE $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> PARA CONFEÇÃO DE INSERTO CERÂMICO

Data de aceite: 08/01/2020

**Miguel Adriano Inácio**  
**José Victor Candido de Souza**  
**Maria do Carmo de Andrade Nono**  
**Sergio Luiz Mineiro**  
**Daniel Alessander Nono**

Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais - INPE,  
São José dos Campos - SP -Brasil  
inacio@las.inpe.br

**RESUMO:** Nanopartículas são sólidos policristalinos compostos por partículas de tamanhos menores que 100 nm (0,1  $\mu$ m). Tanto os grãos, como também os poros, as interfaces e outros defeitos possuem tamanhos dentro desta escala nanométrica. Sistemas envolvendo materiais nanoestruturados vem sendo estudados com muitas finalidades e dentre elas com o interesse na melhoria nas propriedades mecânicas e ao desgaste. Dispersões de pequenas quantidades de inclusões de zircônia nanométrica em corpo cerâmico de matriz de alumina, quando devidamente controlados, podem proporcionar alguns efeitos benéficos, como: melhorar o mecanismo de tenacidade à fratura do composto e inibir o crescimento de grãos durante a sinterização. A composição

de pós a base de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3Y-ZrO<sub>2</sub> nano, foram desenvolvidos, sinterizadas em 1600 °C e caracterizada quanto às propriedades físicas e mecânicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** alumina-zircônia, propriedades mecânicas.

### 1 | INTRODUÇÃO

Compósitos cerâmicos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3Y-ZrO<sub>2</sub> com inclusões nanométricas têm sido estudados, apresentando bons resultados de propriedades mecânicas em diversas aplicações [1-2].

Cerâmicas à base de alumina e de zircônia, processadas e sinterizadas com parâmetros adequados, possuem altas densidades e microestruturas controladas, tornando-se qualificadas para garantir um alto desempenho mecânico. A alumina alfa ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), densa e policristalina, destaca-se em função da combinação de suas propriedades de alta resistência ao desgaste, além de elevada resistência à corrosão e alta resistência mecânica à compressão [3]. A zircônia na sua forma pura não é indicada para utilização como material cerâmico estrutural em razão das transformações de fases que ocorrem ao ser submetida a um ciclo de aquecimento e resfriamento, como por exemplo, durante a sua sinterização. A adição de óxidos que formam

uma solução sólida com a zircônia, como o  $Y_2O_3$ , entre outros, podem estabilizar estas fases [3-4]. No entanto, a zircônia tetragonal é muitas vezes utilizada como agente tenacificador de cerâmicas, pois esse material possui transformação induzida por tensão da fase tetragonal (T) para fase monoclinica (M) das partículas de zircônia, a qual é acompanhada de uma expansão volumétrica (3 a 6%) suficiente para exceder o limite elástico mesmo em pequenos grãos de zircônia monoclinica. Esta expansão de volume provoca tensões internas que absorvem energias de tensões externas aplicadas e melhoram as propriedades mecânicas, especialmente a tenacidade à fratura. [5-6].

## 2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais e Métodos

Utilizou-se o pó de  $\alpha-Al_2O_3$  OP 1000, produzido pela Alcan - Alumínio do Brasil Ltda., com grau de pureza de 99,5%, com diâmetro médio de partículas de 0,36  $\mu m$  e densidade de 3,95 g/cm<sup>3</sup>. Zircônia policristalina estabilizada com 3 % mol ou 5,2 % peso de ítria ( $Y_2O_3$ ), da Shandong Zhongshun Sci. & Tech. Devel. Co. Ltd., com grau de pureza de 99,9%, diâmetro médio de 65,67 Å e densidade de 6,05 g/cm<sup>3</sup>. As análises das fases presentes nos pós de  $3Y-ZrO_2$  e  $Al_2O_3$  foram realizadas em um difratômetro de raios X de alta resolução marca Philips, modelo PW1380/80 alocado no Laboratório Associado de Sensores e Materiais do INPE. As condições estabelecidas para a obtenção de difração foram: Cu-K $\alpha$  radiação obtidos em 40kv (com o filamento de corrente 35 mA), faixa de medição de  $20^\circ < 2\theta < 90^\circ$  e varredura com passo angular de  $0,05^\circ$  e um tempo de exposição de 2s.

Os procedimentos utilizados foram:

A inclusão do pó de  $ZrO_2$  nanométrica na matriz de  $Al_2O_3$  seguindo procedimento de mistura convencional estabelecido em trabalho anterior [7], consistiu em misturar o pó de zircônia à alumina na proporção de 30% em massa num moinho de bolas convencional (utilizando-se bolas de zircônia com 3 mm de diâmetro) por 8 horas em suspensão de álcool etílico. Após este período, a composição foi seca em estufa em 100 °C por 24 horas e em seguida o pó foi desagregado em almofariz de ágata e submetido ao peneiramento em malha de 120 mesh. Com o pó obtido, foram conformados corpos compactados em forma de pastilha quadrada nas dimensões de 16,36 x 16,36 x 7,5 mm, por meio de prensagem uniaxial a 80 MPa, seguido de prensagem isostática a 300 MPa. Foi determinada a densidade a verde dos corpos de prova através das medidas de massa e de volume. Os corpos a verde foram submetidos ao processo de sinterização na temperatura de 1600 °C com taxa de aquecimento de 10°C/min e patamar de 3 horas. Após sinterização foi determinada a densidade aparente pelo método de Arquimedes. Os corpos de prova foram cortados diagonalmente e as superfícies de corte polidas. As amostras foram analisadas por microscópio eletrônico

de varredura modelo JEOL JSM - 5310, pertencente ao Laboratório Associado de Sensores e Materiais do CTE/INPE. As demais amostras foram retificadas a fim de obterem geometria final definida pela norma ISO 1832.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Fases presentes nos pós de partida

A Figura 1 mostra os difratogramas de raios X do pó de zircônia e alumina utilizado no presente trabalho. Nos difratogramas de raios X foram observadas as seguintes fases presentes: alumina ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), zircônia ( $\text{ZrO}_2$ ) tetragonal majoritária, e monoclinica em menor quantidade (200).

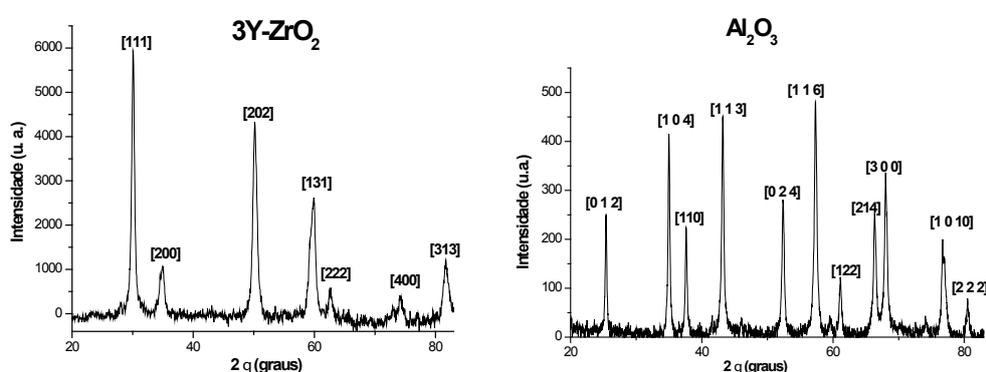


Figura 1 - Difratograma de raios X dos pós de 3Y-  $\text{ZrO}_2$  nano e  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

#### 3.2 Propriedades físicas

Analisando os resultados obtidos após caracterizações dos corpos a verde e sinterizados, foi possível calcular massa específica de  $2,5164 \text{ g/cm}^3$ , densidade teórica de  $5,22 \text{ g/cm}^3$  e densidade a verde de 49,38 %. O resultado de densidade a verde do material foi obtido após estudos em laboratório visando a obtenção de altos valores das propriedades mecânicas das cerâmicas. Após sinterização foram realizados os cálculos de retração linear, perda de massa e densidade relativa das amostras pelo princípio de Arquimedes conforme Tabela 1.

Compactado	Retração linear	Perda de massa	Densidade relativa (%)
$\text{Al}_2\text{O}_3$ - 3Y- $\text{ZrO}_2$ (30%-70%)	20 %	2,6 % $\pm$ 0,18	98,38 $\pm$ 0,25

Tabela 1- Valores de retração linear, perda de massa e densidade.

Esses resultados se mostram importantes na obtenção de corpos cerâmicas a base de alumina-zircônia, com boas propriedades mecânicas.

### 3.3 Análise de fases da amostra sinterizadas

O difratograma raios X mostrado na Figura 2 refere-se ao corpo cerâmico que recebeu acabamento superficial (retífica) com rebolo de diamante. A retífica teve a finalidade de normalizar as dimensões dos insertos cerâmicos (ISO1832). No difratograma pode ser observada a presença da fase  $ZrO_2$  monoclinica caracterizada por picos de difração nas posições  $2\theta = 28^\circ$  e  $2\theta = 31^\circ$ , também presença de fase zircônia tetragonal e fase majoritária de  $\alpha-Al_2O_3$ . A presença da fase  $ZrO_2$  monoclinica indica que o percentual de zircônia tetragonal presente no corpo sinterizado pode ter sofrido transformação de fases devido a tensão superficial sofrida no processo de retífica do corpo cerâmico.

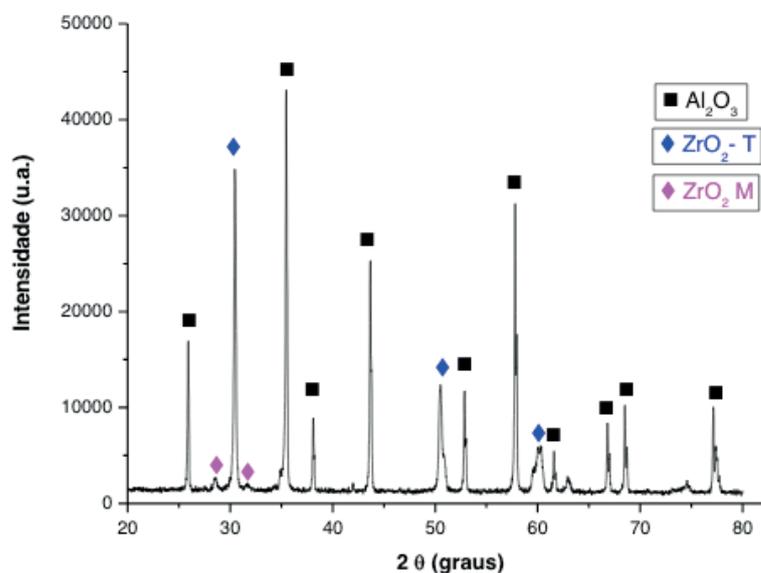


Figura 2 - Difratograma de raios x da amostra sinterizada a 1600 °C após retífica.

### 3.4 Caracterização microestrutural

A microestrutura da amostra obtida pode ser observada na Figura 3. Nesta figura verifica-se uma distribuição de  $Al_2O_3 - 3Y-ZrO_2$  mais homogeneia na estrutura, em meio à homogeneidade destaca-se ilhas de material em menor escala que pode estar associado aos grãos de zircônia, visto que estes tem menores dimensões que os grãos de alumina além de estarem em menor percentual. Além disso, os patamares de temperatura utilizados no processo de sinterização podem ter influenciado no crescimento dos grãos de alumina, colocando-os em evidência em relação aos grãos de zircônia na microestrutura.

De acordo com **Nono** 1990 e **Pierri** 2005 , um dos efeitos da inclusão de nanopartículas de zircônia em matriz de alumina pode ser a de um possível inibidor do crescimento de grãos de alumina, além de poder atuar como reforço dos grãos de  $Al_2O_3$  na microestrutura do material. Contudo, outros fatores como parâmetros como

taxa tempo de sinterização podem promover influência na microestrutura dos materiais.

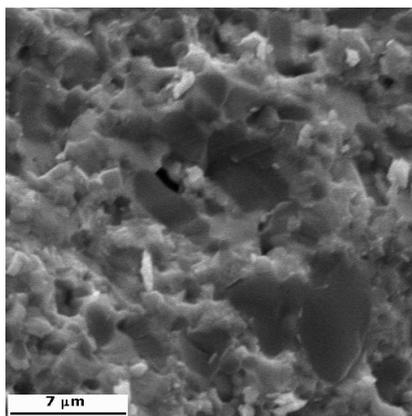


Figura 3 - Micrografia da superfície de fratura da amostra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-3Y-ZrO<sub>2</sub> sinterizada a 1600 °C.

### 3.5 Propriedades Mecânicas

Os resultados obtidos mostram-se valores característicos de materiais a base de alumina com dureza Vickers de  $15,04 \pm 0,07$  (GPa) (aproximadamente 1500 HV) e tenacidade à fratura de  $7,20 \pm 0,16$  MPam<sup>1/2</sup>.

Estes valores de dureza obtidos evidenciam que com o aumento da quantidade de zircônia na matriz de alumina os valores de dureza ficam menores e os de tenacidade à fratura ficam maiores quando comparados com trabalho anterior [1].

Os resultados das propriedades mecânicas apresentam baixos valores de desvio padrão, que confere ao material uma maior confiabilidade.

Composição	Massa específica a verde (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica teórica (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade relativa (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -3Y-ZrO <sub>2</sub> (30%-70%)	2,52	5,22	48,38

Tabela 1- Valores de massa específica a verde, massa específica teórica e densidade relativa da amostra obtida neste trabalho.

### 3.6 Insetos cerâmicos desenvolvidos

A Figura 3 mostra os corpos obtidos neste trabalho. As Figuras A e B mostram corpos conformados nas dimensões de 16,36 x 16,36 x 7,5 mm (sem retífica) e a Figura C o inserto com geometria final próxima de 12,76 x 12,76 x 4,76 mm (com retífica).

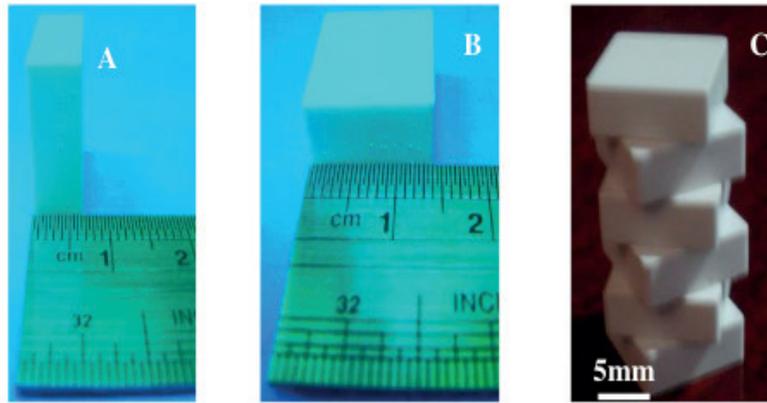


Figura 4- Fotografia do inserto cerâmico desenvolvido.

## 4 | CONCLUSÃO

O desenvolvimento de corpos cerâmicos com inclusões de nanopartículas de zircônia possibilitou o alcance de propriedades físicas e mecânicas coerentes com as esperadas nas literaturas estudadas. Verificou-se ainda, que a temperatura de 1600 °C foi eficiente no processo de sinterização e que os valores dureza Vickers e tenacidade à fratura foram expressivos. Esses valores alcançados possibilitam aplicação dos corpos cerâmicos a situações onde os esforços mecânicos necessitem de combinação de bons valores de tenacidade à fratura e dureza Vickers.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

**Microstructure characterization and mechanical properties of ceramic composites based on zirconia and alumina.** In: Inácio M.A., J. V. C. Souza, M. C. A. Nono, S. L. Mineiro. In: IX Encontro da SBPMat - Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais, 2010, Anais, Ouro Preto.- Brasil

Huang Chuanzhen, Sun Jing, Liu Hanlian, Zou Bin, Ai Xing and Jun Wang Simulation design for the composition of zirconia composite ceramic tool *Journal of Materials Engineering and Performance* Volume 13, Number 2, 167-171, DOI: 10.1361/10599490418370

SASSERON, C. O. J.; MARCHI, J.C.; BRESSIANI E A.H.A.; BRESSIANI, **Sinterização de cerâmicas à base alumina, zircônia e titânia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 50.,2006, Blumenau. **Anais...** Blumenau: ABC, 2006.

Luo, J.; Stevens, R. **Tetragonality of nanosized 3Y-TZP powders.** *Journal of the American Ceramic Society*, v.82, n.7, p.1922-1924, 1999.

A. F. Habibe; C. Santos; L. H. P. Teixeira; L. D. Maeda; M. J. R. Barboza, **propriedades mecânicas de cerâmicas à base de zircônia sinterizadas com biovidro como aditivo de sinterização** 17° CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

NONO, M. C. A. **Cerâmicas de zircônia tetragonal policristalina no sistema CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> (Ce-TZP).**

Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, 1990.

INÁCIO, M. A. **Desenvolvimento de compósitos cerâmicos de  $Al_2O_3$  e  $ZrO_2$  para confecção de ferramentas de corte para torneamento**. 2010. 97 p. (INPE-16694-TDI/1638). Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.18.18.05>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

PIERRI, J. J. et al . Dispersão de nanopartículas de  $ZrO_2$  visando produção de nanocompósitos de  $ZrO_2$  em matriz de  $Al_2O_3$ . **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 317, Mar. 2005 . Available from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132005000100003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000100003&lng=en&nrm=iso). access on 01 Mar. 2011. doi: 10.1590/S0366-69132005000100003.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Henrique Ajuz Holzmann:** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumina-zircônia 154, 156

Aptasensor 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 87, 88, 91, 92, 93

Área específica 108, 115, 116, 117, 142, 143

### B

Biogás 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35

Biomateriais 74, 75, 209

### C

CdTe/CdSe 161, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 170

Compósito 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Conversão 108, 110, 112, 115, 116, 118

### E

Eletrofiação 73, 74, 75, 77, 79, 80, 81, 83, 119, 122, 123, 124, 125, 126, 131

Eletroquímica 52, 53, 55, 57, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 87, 88, 89, 91, 92, 189

Engenharia tecidual 74

Espaçamento de fibra 1

### F

Fase Anatase 133, 135, 136, 140, 141, 142, 143

Fator de Qualidade 146, 147, 151, 152

Fibra de Juta 10, 12, 22

Fibra de vidro 10, 12, 13, 20, 21

Fibras de carbono 36, 37, 38, 40, 49

Fibras de sisal 1, 2, 3, 7, 14

Fibras naturais 1, 2, 10, 11, 12, 13, 21

Filtro 23, 28, 33, 97

Fosfato metálico 133

Fotocatálise 133, 134, 135, 142, 144

### G

Gelatina 108, 110, 111

Genossensores 64, 65, 66

### H

H<sub>2</sub>S 23, 24, 25, 28, 29, 32, 33, 34

Híbrido 10, 13, 21

## I

Indutores Internos 146, 151

## L

Laminados 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21

LaNiO<sub>3</sub> 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131

## M

Meniscos 73, 74, 75, 80, 81, 83

Microdomínios 36, 38, 40, 44, 45, 46, 47, 48, 49

## N

Nanocompósito 96, 99, 101, 104, 105

Nanocristais 162

Nanopartículas de Ouro 63, 66, 68

Nanotubo de carbono 51, 87

Neuroesquistossomose 63, 64, 65, 70, 71, 72

Núcleo/casca 162

## O

Ocratoxina A 51, 52, 87, 88

Óxido de zinco 51, 52, 54, 87, 89, 90, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 205, 206

## P

Pechini 23, 24, 27, 34, 108, 109, 110, 111, 118

Perovskita 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 120

Piche mesofásico 36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49

Poli(ácido láctico) 96, 97

Propriedades mecânicas 1, 2, 5, 10, 12, 13, 21, 36, 37, 38, 49, 75, 83, 97, 98, 104, 106, 154, 155, 156, 158, 159, 209

## R

Rádio Frequência 146, 147

## S

Síntese coloidal 162

Sol-Gel 122, 132, 133, 134, 136, 144

## T

Teoria mesoscópica do contínuo 36, 39

## U

Umidade 12, 14, 23, 24, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 52, 77, 97, 123, 137, 230, 239, 240, 241

