

# Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)

# Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
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 de 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 Pietrobom – 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. 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  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
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. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	<p>Ciência e engenharia de materiais e o desenvolvimento socioambiental [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-848-9 DOI 10.22533/at.ed.489191912</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Materiais – Análise. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Vinicius Bubna.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620.11299</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Neste contexto o tema socioambiental pode ser inserido, visto que devido à redução nas disponibilidades de matérias primas, a elevação de custos de descarte dos materiais, sua reciclagem vem ganhando cada vez mais destaque a nível mundial. Hoje optar por produtos reciclados bem como sustentáveis se torna uma vitrine as vendas.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e de sustentabilidade, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se dizer que a área de reciclagem está intimamente ligada ao estudo dos materiais, para que possam ser desenvolvidas técnicas e processos para um eficiente aproveitamento.

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

Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>ESTUDO DA ADIÇÃO DE ADITIVOS NÃO CONVENCIONAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS</b>	
Antonio Dias de Lima Terceiro Neto Daniel Baracuy da Cunha Campos Francisco Humberlânio Tavares de Araújo Júlio Lopes da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919121</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
<b>ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA</b>	
Wendel Melo Prudêncio de Araújo Thays Mabelly Bezerra e Silva Kássia Hellen Souza de Oliveira João Marcos Lima Veras Joaquim Lucas de Souza Paixão João Emmanuel Alves Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919122</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
<b>TIJOLO PRODUZIDO POR COMPÓSITO DE EXOCARPO DE LICURI FRAGMENTADO</b>	
Bárbara Jane Martins Borges Rafael Santos de Sousa Silva Rúi Carlos de Sousa Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919123</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>31</b>
<b>PRODUÇÃO DE AGREGADOS UTILIZANDO LAMA VERMELHA: O ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM</b>	
Bruno Marques Viegas Edílson Marques Magalhães Julia Alves Rodrigues Josiel Lobato Ferreira Diego Cardoso Estumano José Antônio da Silva Souza Emanuel Negrão Macêdo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919124</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>39</b>
<b>ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO RESÍDUO DE FELDSPATO COMO MATERIAL PARA CAMADAS DOS PAVIMENTOS</b>	
Jonatas Kennedy Silva de Medeiros Larissa Santana Batista Giovanna Feitosa de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4891919125</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 52**

**FÔRMAS: UTILIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE FÔRMAS REVESTIDAS COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEDB - SACOLAS PLÁSTICAS)**

Lucas Prestes Chize  
Léo Jaime de Amorim e Silva  
Aída Pereira Baêta  
Flávia da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.4891919126**

**CAPÍTULO 7 ..... 61**

**OBTENÇÃO DE UM COPO MAIS SUSTENTÁVEL: PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E DE BIOCÓMPÓSITOS**

Emília Satoshi Miyamaru Seo  
Nicolle Silva da Silva  
Isabella Tereza Ferro Barbosa  
Alessandro Augusto Rogick Athiê  
Adriano Camargo de Luca

**DOI 10.22533/at.ed.4891919127**

**CAPÍTULO 8 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E RESISTÊNCIA À CHAMA DE CÓMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMA VERMELHA E CAULIM**

Mario Henrique Moreira de Moraes  
Diogo Pontes de Queiroz  
Luiz Gabriel da Silva Nascimento  
José Antônio Silva Souza  
Roberto Tetsuo Fujiyama  
Deibson Silva da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.4891919128**

**CAPÍTULO 9 ..... 85**

**DISPERSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA SOBRE PÓ POLIMÉRICO PARA PRODUÇÃO DE FILME PLÁSTICO**

Lucas Matono Casagrande  
Paulo Henrique Chulis  
Fabrício Antônio Moreno Zanetelli  
Márcia Silva de Araújo  
José Alberto Cerri

**DOI 10.22533/at.ed.4891919129**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

**INFLUENCE OF LIGNIN CONTENT IN MACADAMIA NUTSHELL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE BIOCÓMPÓSITOS**

Bruno Chaboli Gambarato  
Heitor Buzetti Simões Bento  
Ana Karine Furtado de Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.48919191210**

**CAPÍTULO 11 ..... 104**

**MÉTODOS DE SÍNTESE DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO**

Jardel Meneses Rocha

Reinaldo Nascimento Morais  
Fernando Pereira Lima  
Tiago Linus Silva Coelho  
Patrícia Santos Andrade  
Angélica de Brito Sousa  
Juracir Francisco de Brito  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.48919191211**

**CAPÍTULO 12 ..... 113**

**APLICAÇÕES DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO**

Jardel Meneses Rocha  
Reinaldo Nascimento Morais  
Fernando Pereira Lima  
Tiago Linus Silva Coelho  
Patrícia Santos Andrade  
Angélica de Brito Sousa  
Juracir Francisco de Brito  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.48919191212**

**CAPÍTULO 13 ..... 122**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MECÂNICA E DA FRATURA DE TRILHOS PERLÍTICOS**

Beatriz Seabra Melo  
Vinicius Silva dos Reis  
Clóvis Iarlande Oliveira Santana  
Carlos Vinicius de Paes Santos  
Gregory de Oliveira Miranda  
Andrey Coelho das Neves  
José Maria do Vale Quaresma

**DOI 10.22533/at.ed.48919191213**

**CAPÍTULO 14 ..... 135**

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA CORROSÃO EM ELETRODO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO COBREADO**

Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho  
Magda Rosângela Santos Vieira  
Ivanilda Ramos de Melo  
Roseana Florentino da Costa Pereira  
Severino Leopoldino Urtiga Filho

**DOI 10.22533/at.ed.48919191214**

**CAPÍTULO 15 ..... 145**

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS GASES DE PROTEÇÃO E PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO SAE 1035 SOLDADO POR PROCESSO MAG**

Perla Alves de Oliveira  
Thiago Monteiro Maquiné  
Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima  
José Costa de Macêdo Neto  
Suelem de Jesus Pessoa  
Efraim Ribas Linhares Bruno

Anne Gabrielle Mendes Xavier  
Josiel Bruno de Oliveira  
**DOI 10.22533/at.ed.48919191215**

**CAPÍTULO 16 ..... 155**

A RELAÇÃO ENTRE A LOGÍSTICA REVERSA E O *TRIPLE BOTTOM LINE* EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM

Alequexandre Galvez de Andrade  
Nélio Fernando dos Reis  
Jair Minoro Abe

**DOI 10.22533/at.ed.48919191216**

**CAPÍTULO 17 ..... 165**

A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO E O SUBSÍDIO CRUZADO: CRÍTICA À PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DAS DIRETRIZES NACIONAIS

Joel de Jesus Macedo  
Leura Lucia Conte de Oliveira  
Marcus Venicio Cavassin

**DOI 10.22533/at.ed.48919191217**

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 185**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 186**

## APLICAÇÕES DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Data de aceite: 18/11/2019

**José Milton Elias de Matos**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química

Teresina – Piauí

**Jardel Meneses Rocha**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Reinaldo Nascimento Morais**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Fernando Pereira Lima**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Tiago Linus Silva Coelho**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Patrícia Santos Andrade**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Angélica de Brito Sousa**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**Juracir Francisco de Brito**

Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Departamento de Química  
Teresina – Piauí

**RESUMO:** Os materiais nanoestruturados, a base de titânio, sintetizados por via hidrotérmica apresentam propriedades estruturais tão peculiares que lhes credenciam a uma gama de aplicações tecnológicas. Considerando que estas estruturas podem sofrer desde profundas modificações químicas a uma simples dopagem, as possibilidades de aplicabilidade deste material se expandem. Isso é notoriamente percebido com base nos inúmeros relatos presentes na literatura que demonstram como as alterações podem ser benéficas no âmbito de melhorar e potencializar, ou até mesmo direcionar a novas aplicações. O presente trabalho apresenta uma revisão literária sobre as principais aplicações das nanoestruturas a base de titânio: fotocatalise, células combustíveis, sensoriamento e armazenamento de hidrogênio, baterias de lítio e aplicações biomédicas;

**PALAVRAS-CHAVE:** nanoestruturas de titânio, fotocatalise, células combustível, baterias de lítio, aplicações biomédicas

APPLICATION OF TITANIUM BASED  
NANOSTRUCTURES

**ABSTRACT:** Titanium-based nanostructured materials, hydrothermally synthesized, have such peculiar structural properties that they can be used to a range of technological applications. Considering that these structures can undergo from deep chemical modifications to a simple doping, the possibilities of applicability of this material expand. This is noticeably perceived based on the numerous reports in the literature that demonstrate how changes can be beneficial in terms of improving and enhancing, or even directing to new applications. This paper presents a literary review of the main applications of titanium based nanostructures: photocatalysis, fuel cells, hydrogen sensing and storage, lithium batteries and biomedical applications;

**KEYWORDS:** titanium nanostructures, photocatalysis, fuel cells, lithium batteries, biomedical applications

## 1 | FOTOCATÁLISE

Nas últimas décadas, o dióxido de titânio tem sido amplamente empregado na fotodegradação de compostos orgânicos. O dióxido de titânio possui um *band gap* amplo, justificando tal aplicabilidade (Bavykin e Walsh, 2009). *Band gap* significa a energia necessária para que o elétron passe da banda de valência para banda de condução (Figura 1). Segundo o trabalho de Nogueira e Jardim (1998), os dióxidos de titânio são espécies semicondutoras largamente aproveitadas como fotocatalizadores, por possuírem elevada estabilidade química, fotoestabilidade e baixa toxicidade (Nogueira e Jardim, 1998).

Segundo Gupta et al (2010), o  $\text{TiO}_2$  é um semicondutor que admite valores de *gap* entre 2,96 e 3,2 eV (Gupta e Tripathi, 2011). A banda de valência do dióxido de titânio é formada por orbitais *2p híbridos* do oxigênio e por orbitais *3d* do titânio. Já a banda de condução é composta exclusivamente por orbitais *3d* do (Ti) (Gupta e Tripathi, 2011). Quando o dióxido de titânio é exposto à radiação ultravioleta, os elétrons são excitados da banda de valência (BV) para banda de condução (BC), deixando para trás lacunas ( $h^+$ ) (Figura 1). Os elétrons excitados ( $e^-$ ) passam a preencher orbitais *3d* puros e, pela proximidade energética pode ocorrer destes elétrons retornarem à banda de valência (Gupta e Tripathi, 2011). Os catalisadores à base de dióxido de titânio podem eventualmente possuir elevada cristalinidade estrutural, podendo levar a diminuição na taxa de recombinação eletrônica (Bavykin e Walsh, 2009).

As lacunas geradas ( $h^+$ ) apresentam potenciais positivos consideráveis, tornando-as, poderosos oxidantes (Figura 1), concomitantemente, a banda de condução fica carregada negativamente ( $e^-$ ), potencializando o caráter redutor (Figura 1) (Bavykin e Walsh, 2009; Gupta e Tripathi, 2011).

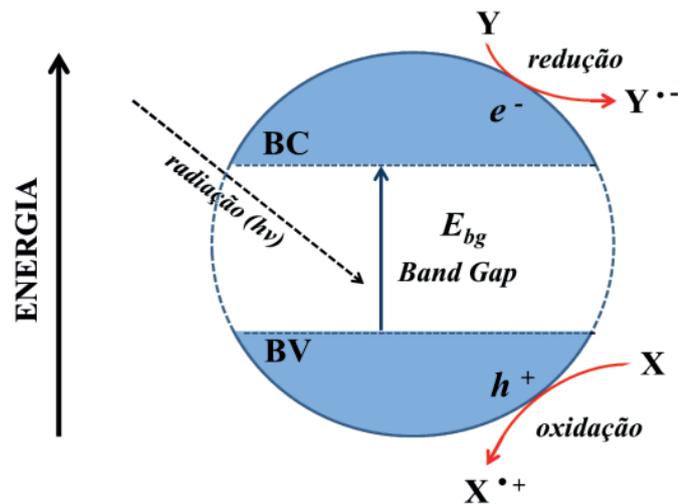


Figura 1 – Mecanismo de absorção de luz durante o processo de fotodegradação, por uma partícula semicondutora, figura adaptada segundo Gupta *et al* (2011).

Bavykin e Walsh (2009), descrevem que nanoestruturas do tipo tubo e folha, possuem *gap* estimado em 3,87 e 3,84 eV, respectivamente (Bavykin e Walsh, 2009). Sobre a absorção de luz pelos nanotubos, Li *et al* (2006), propõem a geração de portadores de carga que eventualmente sofrem relaxamento à vacâncias de oxigênio, fazem com que Ti(IV) sofra redução a Ti(III) (Li *et al.*, 2006). Bavykin e Walsh (2009). Ainda relatam que a presença de sódio nas amostras de nanotubos reduz a sua atividade catalítica, justificada pela existência de centros de recombinação em locais preenchidos por sódio, no momento da incidência da radiação. Em contraste, a redução de átomos de sódio leva à redução do fenômeno de luminescência (Riss *et al.*, 2007).

Com relação às nanoestruturas de titanato obtidas por *via* hidrotérmica, Bavykin e Walsh (2009), são enfáticos em dizer que tais nanoestruturas apresentam propriedades como alto poder de troca iônica, grande área superficial e uma versátil superfície química, credenciando-as como excelentes catalisadores heterogêneos (Bavykin e Walsh, 2009).

Chein *et al* (2005), mostraram em seu estudo o potencial catalítico de sistemas híbridos, partindo do descoloramento de nanotubos de titanato com nanopartículas de platina e ouro. Com referência aos resultados, o sistema Pt//nanotubo, apresentou-se muito eficiente na oxidação de CO, já o híbrido Au//nanotubo, foi muito eficiente na redução de CO<sub>2</sub> (Chien *et al.*, 2005).

Inúmeros outros trabalhos podem ser citados, como o uso de nanoestruturas dopadas com paládio, visando a hidrogenação de fenol em ciclohexano (Sikhwivhulu *et al.*, 2007), nanotubos de titanato empregados na fotodegradação do corante rodamina B (RhB), usando apenas luz solar (Guo *et al.*, 2011). Os nanotubos puros,

produzidos *via* método hidrotérmico alcalino, também podem ser empregados como catalisadores heterogêneos em reações de esterificação entre ciclo-hexanol e ácido acético (Lin *et al.*, 2002).

Em 2009, Viana e colaboradores publicaram um estudo que reporta a síntese de nanotubos de titanato com  $\text{CeO}_2$  decorando a superfície (Figura 2) (Viana *et al.*, 2009). Utilizando  $\text{TiO}_2$  anatase em meio hidrotérmico alcalino, foram sintetizados nanotubos de sódio (Na-TiNTs), em seguida, pelo processo de troca iônica usando solução de cério foram produzidos os nanotubos modificados (Ce-TiNTs) (Viana *et al.*, 2009). O resultado deste trabalho foi a redução do *band gap* de 3,45 para 2,7 eV, dando margem para admitir que este sistema híbrido absorve na região visível (Viana *et al.*, 2009). Por fim os autores aplicaram os Ce-TiNTs na fotodegradação do corante Reactive Blue 19, implicando na degradação de cerca de 70% da massa total de corante (Viana *et al.*, 2009).



Figura 2 – Esquema de troca iônica na produção de Ce-NTTi, figura adaptada segundo Viana *et al* (2009).

## 2 | CÉLULAS COMBUSTÍVEIS

Nas últimas décadas ocorreu uma notável evolução na tecnologia de células combustíveis, provocada pela maior preocupação frente aos problemas ambientais que por sua vez estão interligados à falta de bons e eficientes conversores de energia (Bavykin e Walsh, 2009). Deste modo, nanoestruturas de titanato têm sido consideradas como bons suportes para eletrocatalisadores empregados na oxidação de combustíveis.

Em 2005, Wang *et al* usaram pela primeira vez nanotubos de titanato com partículas de paládio recobrimo sua superfície, este material híbrido demonstrou ser viável como catalisador em célula combustível para oxidação de metanol líquido (Wang *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009). Em seguida, algumas melhorias foram alcançadas pelo aumento na condutividade elétrica, neste novo momento,

nanovaretas de Pd/TiO<sub>2</sub> revertidas por carbono foram obtidas pela calcinação de nanotubos revertidos por polietilenoglicol à 600 °C (Wang *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009).

Estudos recentes indicam que a simples deposição de nanotubos de titanato sobre o catalisador padrão de Pt/C, por meio de uma suspensão, com posterior secagem (Bavykin e Walsh, 2009), pode proporcionar uma melhoria da performance do catalisador, devido principalmente, à resistência ao envenenamento por monóxido de carbono (CO) em sua superfície (Bavykin e Walsh, 2009). Já Ponce-de-Leon *et al.* (2006), relataram que a deposição de partículas de ouro na superfície de nanotubos produziu um sistema híbrido com maior desempenho comparado a catalisadores comerciais, por exemplo o Au/C, durante a oxidação anódica do NaBH<sub>4</sub>, direto na célula combustível de borohidreto (Ponce-de-Leon *et al.*, 2006; Bavykin e Walsh, 2009).

### 3 | SENSORIAMENTO E ARMAZENAMENTO DE HIDROGÊNIO

Armazenamento de gás hidrogênio retrata uma temática bastante debatida nos últimos anos, justificada pela existência de possíveis aplicações energéticas, já que o hidrogênio é um portador de energia (Bavykin e Walsh, 2009).

O trabalho de Bavykin e Walsh (2009) relata que a busca por materiais favoráveis a formação de sistema cuja sorção fosse reversível, levou os pesquisadores a empregarem nanotubos de titanato (Bavykin e Walsh, 2009). Os mesmos admitem valores de acúmulo de hidrogênio de modo reversível entre -196 °C e 125 °C (Lim *et al.*, 2005). Resultados iniciais mostraram que a sorção de hidrogênio pelos nanotubos de titanato ocorreu com valores de entalpia e energia de ativação em -30 KJ mol<sup>-1</sup> e 44 KJ mol<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso demonstrou que os nanotubos de titanato eram eficientes, observando que Bavykin relata a busca por um material adsorvente na qual formasse ligações de energia intermediária com hidrogênio, dentro do intervalo de 30 a 60 KJ mol<sup>-1</sup> (Bavykin e Walsh, 2009). Bavykin e Walsh (2009), sugerem que o hidrogênio deve ficar retido em cavidades intersticiais na região lamelar sem a formação de ligações químicas. A princípio, os grupos OH da estrutura nanotubular estabilizariam moléculas de hidrogênio por meio de interações de van der Waals (Lokshin *et al.*, 2004; Bavykin e Walsh, 2009).

Varguese *et al.* (2003), consideram que o aumento na resistência elétrica reduz bruscamente a quantidade de hidrogênio adsorvido (Varghese *et al.*, 2003). Nanotubos produzidos por anodização são considerados excelentes sensores de hidrogênio, já que possuem maior resistência elétrica. Nanotubos decorados com platina ou paládio são outros bons exemplos descritos na literatura como bons

sensores de hidrogênio (Han *et al.*, 2007).

#### 4 | BATERIAS DE LÍTIO

As nanoestruturas de titanato quando preparadas pelo método hidrotérmico apresentam um forte potencial aplicativo em baterias de íons lítio, justificado pela impressionante capacidade em armazenar os íons  $\text{Li}^+$  (Armstrong *et al.*, 2004; Armstrong *et al.*, 2005). Sobre a capacidade de armazenagem de íons, estudos revelam que as morfologias nanométricas de titanatos possuem propriedades estruturais destacadas pela presença de mesoporos e por serem lamelas, facilitando assim, a mobilidade de íons por difusão (Zhou *et al.*, 2003; Armstrong *et al.*, 2004; Armstrong *et al.*, 2005). Tais características possibilitam que estes materiais tenham uma excelente estabilidade cíclica, com elevada taxa de carga/descarga, requisitos básicos para esta aplicação (Zhou *et al.*, 2003; Armstrong *et al.*, 2005).

Segundo Bavykin e Walsh (2009), existem três etapas no processo de carregamento e descarregamento de eletrodos formados por nanoestruturas de titanato/soluções de lítio. Na primeira etapa ocorre a difusão dos íons lítio do eletrólito. Na segunda etapa acontece a difusão de íons intercalados e na terceira etapa se dá a reação eletroquímica (Bavykin e Walsh, 2009).

Bavykin e Walsh (2009) relatam que as nanoestruturas de titanato melhoram significativamente a taxa de difusão de íons lítio devido ao tamanho dos cristais e a distância entre camadas de octaedros (Bavykin e Walsh, 2009). Além disso, admitem que a capacidade de carga em pilhas de lítio depende da quantidade de sítios de redução, bem como pela cinética de intercalação dos íons (Bavykin e Walsh, 2009). Observados estes fatos, os autores pontuam a elevação da capacidade de carga como sendo mais uma admirável característica das nanoestruturas de titanato, por exemplo, nanotubos e nanofibras possuem grande área superficial porosa e rica em sítios reacionais (Bavykin e Walsh, 2009).

Estudos recentes descrevem que o método de dopagem pode favorecer o melhoramento da condutividade em nanoestruturas de titanato, a exemplo, nanovaretas dopadas com carbono (Xu *et al.*, 2007), nanotubos e nanofibras dopados com cobalto (Wang *et al.*, 2008) e, nanotubos de  $\text{TiO}_2(\text{B})$  dopados com nanopartículas de  $\text{NiO}$  (An *et al.*, 2008). O uso destes novos modelos híbridos favorece a redução da resistência elétrica melhorando a durabilidade sobre a degradação provocada pelo processo de carga/descarga (Bavykin e Walsh, 2009).

## 5 | APLICAÇÕES BIOMÉDICAS

Recentemente, os materiais nanoestruturados inorgânicos têm admitido uma ampliação nas aplicações biológicas. Diversos exemplos são encontrados em estudos descritos na literatura, como, por exemplo, o uso na entrega de drogas controladas dentro de organismos vivos, no envoltório de sistemas biológicos e até mesmo na reconstrução de tecidos através de materiais compósitos nanoestruturados (Bavykin e Walsh, 2009).

Os nanotubos, por exemplo, possuem elevada área superficial, boa condutividade em sua superfície, como também, boa afinidade com íons de carga positiva em solução, propriedades que credenciam tais nanoestruturas no emprego em biossensores amperométricos (Bavykin e Walsh, 2009). Em 2005, Bavykin e seus colaboradores prepararam um sistema híbrido formado por nanotubos de  $\text{TiO}_2$  dopados com boro, capaz de estabilizar e imobilizar sistemas como: citocromo *c*,  $\text{Ni}^{2+}$  e “Meldola’s blue”; servindo de mediador redox (Bavykin *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009). No mesmo ano, Liu e colaboradores, utilizaram nanotubos de titanato para facilitar o transporte de oxigênio entre metaloproteínas, como mioglobina, tais proteínas ficam facilmente imobilizadas na superfície dos nanotubos, possibilitando uma maior transferência eletrônica (Liu *et al.*, 2005; Bavykin e Walsh, 2009). Zheng *et al.* (2008), realizaram um estudo semelhante ao de Liu, a diferença ficou no emprego de outro tipo de metaloproteína. Neste caso, a hemoglobina foi imobilizada na superfície nanotubular com o mesmo objetivo (Zheng *et al.*, 2008).

Outra aplicação biomédica interessante foi descrita por Tang *et al.* (2008). Neste estudo os pesquisadores descobriram que a absorção do fármaco ibuprofeno nos poros de nanotubos de titanato levou à redução do seu ponto de fusão de 78 °C para 66 °C, ficando mais próxima das temperaturas fisiológicas, facilitando o desenvolvimento de novas tecnologias visando o controle do tempo e velocidade com que a droga atinge seu alvo (Tang *et al.*, 2008; Bavykin e Walsh, 2009). Dong *et al.* (2007), prepararam um sistema híbrido de nanofios de titanato e nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , muito resistente e poroso, capaz de servir como suporte para crescimento celular (Dong *et al.*, 2007; Bavykin e Walsh, 2009).

Em 2012, trabalhos como o de Chen *et al.*, podem ser observados, mostrando como a dinâmica da pesquisa por novos materiais, métodos e aplicações é crescente. Neste estudo, Chen *et al.* apresentam a síntese de nanofios pela *via* de anodização hidrotérmica, processo mais rápido que resulta em produtos de alta cristalinidade. Nos ensaios realizados com estes nanofios, os pesquisadores conseguiram depositar nanoflocos porosos de hidroxiapatita cristalina, quando mergulhados em fluidos corporais (Chen *et al.*, 2012). Este estudo tem gerado grande expectativa nos estudiosos, vislumbrando uma nova aplicação, no caso, em cirurgias ósseas (Chen

*et al.*, 2012).

Diante de tudo que exposto deve ser considerado que na última década ocorreu um crescimento acentuado em pesquisas relacionadas a nanoestruturas de titanato, objetivando principalmente aplicações tecnológicas. Há de ser dito também que inúmeros estudos recentes tinham como proposta investigar o mecanismo de formações e transformação das nanoestruturas com diferentes morfologias.

## REFERÊNCIAS

AN, L. P.; GAO, X. P.; LI, G. R.; YAN, T. Y.; ZHU, H. Y.; SHEN, P. W. **Electrochemical lithium storage of titania nanotubes modified with NiO nanoparticles**. *Electrochimica Acta*. v. 53, 4573-4579, 2008.

ARMSTRONG, A. R.; ARMSTRONG, G.; CANALES, J.; BRUCE, P. G. **TiO<sub>2</sub>-B nanowires**. *Angewandte Chemie-International Edition*. v. 43, 2286-2288, 2004.

ARMSTRONG, G.; ARMSTRONG, A. R.; CANALES, J.; BRUCE, P. G. **Nanotubes with the TiO<sub>2</sub>-B structure**. *Chemical Communications*. 2454-2456, 2005.

BAVYKIN, D. V.; MILSOM, E. V.; MARKEN, F.; KIM, D. H.; MARSH, D. H.; RILEY, D. J.; WALSH, F. C.; EL-ABIARY, K. H.; LAPKIN, A. A. **A novel cation-binding TiO<sub>2</sub> nanotube substrate for electrocatalysis and bioelectro-catalysis**. *Electrochemistry Communications*. v. 7, 1050-1058, 2005.

BAVYKIN, D. V.; WALSH, F. C. **Elongated Titanate Nanostructures and Their Applications**. *European Journal of Inorganic Chemistry*. 977-997, 2009.

CHEN, C.-Y.; OZASA, K.; KATSUMATA, K.-I.; MAEDA, M.; OKADA, K.; MATSUSHITA, N. **Bioactive Titanium Oxide-Based Nanostructures Prepared by One-Step Hydrothermal Anodization**. *Journal of Physical Chemistry C*. v. 116, 8054-8062, 2012.

CHIEN, S. H.; LIOU, Y. C.; KUO, M. C. **Preparation and characterization of nanosized Pt/Au particles on TiO<sub>2</sub>-nanotubes**. *Synthetic Metals*. v. 152, 333-336, 2005.

DONG, W.; ZHANG, T.; EPSTEIN, J.; COONEY, L.; WANG, H.; LI, Y.; JIANG, Y.-B.; COGBILL, A.; VARADAN, V.; TIAN, Z. R. **Multifunctional nanowire bioscaffolds on titanium**. *Chemistry of Materials*. v. 19, 4454-4459, 2007.

GUO, C.; XU, J.; HE, Y.; ZHANG, Y.; WANG, Y. **Photodegradation of rhodamine B and methyl orange over one-dimensional TiO<sub>2</sub> catalysts under simulated solar irradiation**. *Applied Surface Science*. v. 257, 3798-3803, 2011.

GUPTA, S. M.; TRIPATHI, M. **A review of TiO<sub>2</sub> nanoparticles**. *Chinese Science Bulletin*. v. 56, 1639-1657, 2011.

HAN, C. H.; HONG, D. W.; KIM, I. J.; GWAK, J.; HAN, S. D.; SINGH, K. C. **Synthesis of Pd or Pt titanate nanotube and its application to catalytic type hydrogen gas sensor**. *Sens. Actuator B-Chem.*, v. 128, 320-325, 2007.

KUBOTA, S.; JOHKURA, K.; ASANUMA, K.; OKOUCHI, Y.; OGIWARA, N.; SASAKI, K.; KASUGA, T. **Titanium oxide nanotubes for bone regeneration**. *Journal of Materials Science-Materials in Medicine*. v. 15, 1031-1035, 2004.

LI, Q. Y.; ZHANG, J. W.; JIN, Z. S.; YANG, D. G.; WANG, X. D.; YANG, J. J.; ZHANG, Z. J. **Photo and photoelectrochemical properties of p-type low-temperature dehydrated nanotube titanic acid**. *Electrochemistry Communications*. v. 8, 741-746, 2006.

LIM, S. H.; LUO, J. Z.; ZHONG, Z. Y.; JI, W.; LIN, J. Y. **Room-temperature hydrogen uptake by TiO<sub>2</sub> nanotubes**. Inorg. Chem., v. 44, 4124-4126, 2005.

LIN, C. H.; CHIEN, S. H.; CHAO, J. H.; SHEU, C. Y.; CHENG, Y. C.; HUANG, Y. J.; TSAI, C. H. **The synthesis of sulfated titanium oxide nanotubes**. Catalysis Letters. v. 80, 153-159, 2002.

LIU, A. H.; WEI, M. D.; HONMA, I.; ZHOU, H. S. **Direct electrochemistry of myoglobin in titanate nanotubes film**. Analytical Chemistry. v. 77, 8068-8074, 2005.

LOKSHIN, K. A.; ZHAO, Y. S.; HE, D. W.; MAO, W. L.; MAO, H. K.; HEMLEY, R. J.; LOBANOV, M. V.; GREENBLATT, M. **Structure and dynamics of hydrogen molecules in the novel clathrate hydrate by high pressure neutron diffraction**. Phys. Rev. Lett., v. 93, 2004.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. **Heterogeneous photocatalysis and its environmental applications**. Quimica Nova. v. 21, 69-72, 1998.

PONCE-DE-LEON, C.; BAVYKIN, D. V.; WALSH, F. C. **The oxidation of borohydride ion at titanate nanotube supported gold electrodes**. Electrochemistry Communications. v. 8, 1655-1660, 2006.

RISS, A.; BERGER, T.; GROTHE, H.; BERNARDI, J.; DIWALD, O.; KNOZINGER, E. **Chemical control of photoexcited states in titanate nanostructures**. Nano Letters. v. 7, 433-438, 2007.

SIKHWIVHILU, L. M.; COVILLE, N. J.; PULIMADDI, B. M.; VENKATREDDY, J.; VISHWANATHAN, V. **Selective hydrogenation of o-chloronitrobenzene over palladium supported nanotubular titanium dioxide derived catalysts**. Catalysis Communications. v. 8, 1999-2006, 2007.

TANG, X.-P.; NG, N. C.; NGUYEN, H.; MOGILEVSKY, G.; WU, Y. **The molecular dynamics and melting transition of the confined ibuprofen in titania nanotube studied by NMR**. Chemical Physics Letters. v. 452, 289-295, 2008.

VARGHESE, O. K.; GONG, D. W.; PAULOSE, M.; ONG, K. G.; DICKEY, E. C.; GRIMES, C. A. **Extreme changes in the electrical resistance of titania nanotubes with hydrogen exposure**. Advanced Materials. v. 15, 624-627, 2003.

VIANA, B. C.; FERREIRA, O. P.; SOUZA FILHO, A. G.; RODRIGUES, C. M.; MORAES, S. G.; MENDES FILHO, J.; ALVES, O. L. **Decorating Titanate Nanotubes with CeO<sub>2</sub> Nanoparticles**. Journal of Physical Chemistry C. v. 113, 20234-20239, 2009.

WANG, M.; GUO, D. J.; LI, H. L. **High activity of novel Pd/TiO<sub>2</sub> nanotube catalysts for methanol electro-oxidation**. J Solid State Chem. v. 178, 1996-2000, 2005.

WANG, X. W.; GAO, X. P.; LI, G. R.; YAN, T. Y.; ZHU, H. Y. **Ferromagnetism of Co-doped titanate and anatase nanorods before and after lithium intercalation**. Journal of Physical Chemistry C. v. 112, 5384-5389, 2008.

XU, J.; HA, C.; CAO, B.; ZHANG, W. F. **Electrochemical properties of anatase TiO<sub>2</sub> nanotubes as an anode material for lithium-ion batteries**. Electrochimica Acta. v. 52, 8044-8047, 2007.

ZHENG, W.; ZHENG, Y. F.; JIN, K. W.; WANG, N. **Direct electrochemistry and electrocatalysis of hemoglobin immobilized in TiO<sub>2</sub> nanotube films**. Talanta. v. 74, 1414-1419, 2008.

ZHOU, Y. K.; CAO, L.; ZHANG, F. B.; HE, B. L.; LI, H. L. **Lithium insertion into TiO<sub>2</sub> nanotube prepared by the hydrothermal process**. Journal of the Electrochemical Society. v. 150, A1246-A1249, 2003.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**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.

**Ricardo Vinicius Bubna Biscaia** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acesso ao saneamento 168  
Aditivos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14  
Agregado leve 31, 34, 37, 38  
Análise da fratura 122, 126, 130  
Análise de variância 99  
Aplicações biomédicas 113, 119  
Argamassas 1, 2, 3, 4, 10, 11

### B

Baterias de lítio 106, 113, 118  
Biomassa 99

### C

Características 3, 29, 32, 38, 39, 42, 45, 46, 47, 56, 61, 64, 65, 74, 83, 84, 88, 89, 97, 110, 118, 122, 127, 128, 129, 134, 136, 146, 147, 150, 151, 153, 164, 168  
Caulim 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84  
Células combustível 113  
Compensado 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 170  
Compósito 20, 24, 25, 61, 75, 76, 77, 79, 80, 84  
Compósitos 22, 24, 29, 30, 63, 64, 72, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 84, 99, 119, 135  
Concreto de alta resistência 12, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23  
Cooperativas 155, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 164  
Corrosão 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 185  
Cristalização hidrotérmica 104

### D

Dispersão 82, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 94, 95

### E

Economia solidária 155, 162, 163, 164

### F

Fadiga 122, 124, 129, 134  
Fibra de polipropileno 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22  
Fibras de cana-de-açúcar 61  
Fibras de côco verde 61  
Filme plástico 85  
Fôrmas 52, 54, 58, 60  
Fotocatálise 113, 114

## I

Instalações elétricas 135, 144

italic 105

## L

Lama vermelha 31, 32, 33, 34, 37, 38, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 84

Licuri 24, 25, 26, 29, 30

## M

Marco regulatório do saneamento 165, 166, 181, 183

Materiais conjugados 74

Materiais de construção 1, 2, 11

Mercerização 61, 65, 66, 67, 68, 71

Microemulsão 104

Mineração 32, 39, 40, 41, 43, 46, 47, 50, 75, 84

## N

Nanoestruturas de titânio 113

Nanopartículas de prata 85, 86, 87, 89, 91, 96

## P

Pavimentação 39, 40, 41, 42, 47, 48, 50, 51

Polietileno 52, 53, 54, 55, 61, 64, 65, 66, 72, 85, 88, 89

Propriedades mecânicas 12, 14, 15, 19, 20, 22, 64, 81, 82, 83, 99, 124, 132, 134, 147, 148, 151, 152, 153

## R

Resina poliéster 74

Resistência à compressão 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 22, 61, 64

Resistência à compressão diametral 12, 20

Riscos do fim do subsídio 166

## S

Sacolas plásticas 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60

Secagem 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 66, 76, 93, 105, 107, 117

Síntese TiO<sub>2</sub> nanoestruturado 104

Sistemas de aterramento 135, 136, 144

Slump test 12, 13, 18

Sobrecarga 21, 122

Sol-gel 104, 105, 111, 112

Subsídio cruzado 165, 166, 168, 169, 170, 174, 175, 180, 182

Substituto 52

Sustentabilidade 2, 25, 39, 53, 61, 155, 156, 159, 160, 161, 163, 164, 169

## T

Técnicas eletroquímicas 135, 144

Tijolo 24, 25, 26, 28, 29

Trilho ferroviário 122

Triple bottom line 155, 156, 157, 159

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-848-9



9 788572 478489