

# 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 Internazionele 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  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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  
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  
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

<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**

## ANÁLISE DOS EFEITOS DA CORROSÃO EM ELETRODO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO COBREDO

Data de aceite: 18/11/2019

### Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Magda Rosângela Santos Vieira

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Ivanilda Ramos de Melo

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Roseana Florentino da Costa Pereira

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

### Severino Leopoldino Urtiga Filho

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Laboratório de Materiais Compósitos; Recife, PE – Brasil

**RESUMO:** Os efeitos da corrosão em sistemas de aterramento elétrico são extremamente danosos, pois podem provocar episódios de

descontinuidade elétrica além de graves acidentes com o passar do tempo. O presente trabalho teve como objetivo investigar o processo de corrosão de eletrodos revestidos com cobre, utilizados em aterramento. Foram confeccionados corpos de prova a partir de uma haste de aterramento constituída de um núcleo de aço carbono revestido com cobre eletrolítico. O material foi exposto a soluções salinas para simular as condições de operação em solo, sob diferentes valores de pH. Para estudo do processo de corrosão, foram realizados ensaios eletroquímicos de potencial de circuito aberto (PCA), polarização linear (PL) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE). A avaliação da espessura dos revestimentos, antes e após exposição aos meios corrosivos foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados indicaram que a camada superficial de cobre, ao ser atacada pelo processo de corrosão, tem uma redução significativa da espessura, aumentando a impedância do sistema e, conseqüentemente, prejudicando sua aplicação para aterramento elétrico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de aterramento. Corrosão. Instalações elétricas. Técnicas eletroquímicas.

**ABSTRACT:** The effects of corrosion on electrical grounding systems are extremely

damaging, as over time, they can provide electrical discontinuities and even serious accidents. The objective of the present work was to investigate the corrosion process of copper - coated electrodes used in grounding when exposed to saline solutions that simulate soil operating conditions under different pH conditions. For the corrosion process, electrochemical tests of open circuit potential, linear polarization and electrochemical impedance spectroscopy were carried out. The samples were prepared from a grounding rod made of a carbon steel core and electrolytic copper coating. The thickness of the coatings before and after exposure to the corrosive media was determined by scanning electron microscopy. The results indicated that the surface layer of copper when attacked by the corrosion process has a significant reduction of the thickness, increasing the impedance of the system and consequently impairing its application to electrical grounding.

**KEYWORDS:** Grounding systems. Corrosion. Electrical installations. Electrochemical techniques.

## INTRODUÇÃO

Um sistema de aterramento é composto basicamente de: uma haste ou eletrodo de aterramento, uma malha de aterramento além das estruturas metálicas pertencentes à edificação. Devido ao eletrodo ser o elemento protagonista em sistemas de aterramento, sua escolha deve ser realizada com base nas características químicas do solo (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995).

Os eletrodos são materiais metálicos que ficam enterrados no solo e funcionam como uma ligação elétrica com a terra. Instituído o contato com o meio, o eletrodo interage com o ambiente e ocorre sua deterioração com o passar do tempo, ou seja, pode haver perda das características do material e redução na eficiência do aterramento. A deterioração do eletrodo do aterramento ocorre principalmente por meio de processos corrosivos originados pela interação com o solo, cujas características físico-químicas aliadas à presença de micro-organismos, podem tornar o meio bastante propício a ocasionar a corrosão dos eletrodos aterrados (GENTIL, 2011).

Devido ao fato dos eletrodos de aterramentos estarem enterrados, torna-se bastante dificultoso acompanhar as modificações que ocorrem na superfície do eletrodo. Esta mesma dificuldade se faz presente durante a inspeção do aterramento para verificar se a estrutura está adequada para absorver todas as descargas que forem enviadas para o solo. Nesse ponto, os efeitos da corrosão contribuem de uma forma extremamente negativa para o sistema elétrico. A ocorrência do processo corrosivo, somada à dificuldade de monitoramento pode, resultar na descontinuidade elétrica do sistema e, desta forma, o aterramento não atende aos fins a que se destina.

O presente trabalho teve como objetivo investigar o processo de corrosão de eletrodos revestidos com cobre, utilizados em aterramento, quando expostos a soluções salinas que simulem condições de operação em solo, sob diferentes condições de pH.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Corpos-de-prova

Os corpos de prova (eletrodo de trabalho) utilizados na pesquisa foram cortados de uma haste de aterramento de seção circular revestida por uma fina camada de cobre de 15,29 $\mu$ m, de espessura, visto no MEV, núcleo em aço-carbono com revestimento de cobre eletrolítico de pureza mínima de 99,9%. A área da superfície exposta em solução foi de 24,190 cm<sup>2</sup>.

### Ensaio de Corrosão

Para os ensaios eletroquímicos, cada sistema foi composto de uma célula de 100mL contendo três eletrodos: um eletrodo de trabalho (corpo de prova), um contra eletrodo de platina (Pt) e um eletrodo de referência de calomelano saturado (SCE). Para avaliar o processo de corrosão da haste de cobre, foram montados quatro sistemas de imersão em condições estáticas, contendo 100mL dos seguintes eletrólitos: NaCl 3,5% (m/v) em condição neutra (pH 7,0), acidificada (pH 5,0) e basificada (pH 8,0), bem como uma solução de solução NaHCO<sub>3</sub> (84 g/L). Na Figura 1, são apresentados os materiais (células e corpos de prova) utilizados para montagem dos sistemas para estudo do processo de corrosão.



Figura 1 – Componentes utilizados na construção da célula.

### Circuito Aberto

As medições foram realizadas com multímetro para determinação do potencial de corrosão entre o eletrodo de trabalho e o eletrodo de referência com a finalidade de determinar o potencial de equilíbrio, ou seja, o potencial de corrosão da haste de cobre, em cada condição. Foram realizadas medições nas primeiras horas até 336h de exposição aos sistemas.-

## Ensaio Polarização Linear (PL) e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

Os ensaios de polarização linear e de espectroscopia de impedância eletroquímica foram conduzidos utilizando um Potenciostato AutoLab/PGSTAT30, por meio do software NOVA 1.9 à temperatura ambiente ( $\sim 25^{\circ}\text{C}$ ).

As curvas de polarização foram obtidas a uma velocidade de varredura de  $0,001\text{V/s}$  e taxa de varredura de  $-1,000\text{ V}$  a  $1,200\text{ V}$  em relação ao potencial de corrosão. Para o ensaio de impedância eletroquímica, a faixa de frequência utilizada foi de  $0,01\text{ Hz}$  a  $10000\text{ HZ}$ , e amplitude de  $1,2\text{V}$ . A Figura 2 (1) mostra detalhe da célula eletroquímica durante o ensaio e em (2) é apresentada a montagem experimental para realização das medidas eletroquímicas.

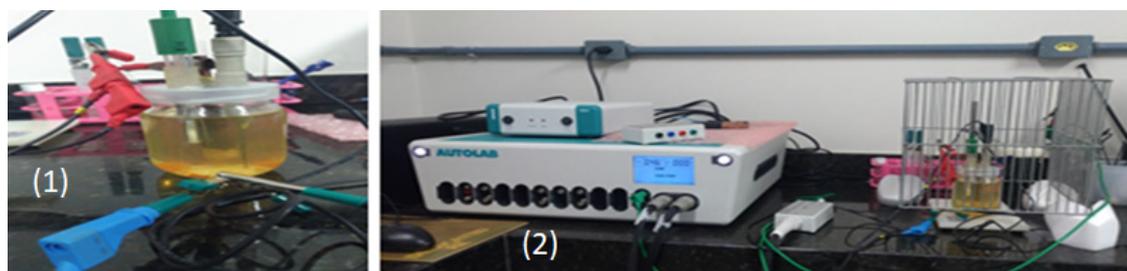


Figura 2 – (1) Célula montada; (2) Estrutura pronta para o ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio em Potencial de Circuito Aberto

Do ensaio em potencial de circuito aberto, foram obtidos os dados expressos na Tabela 1.

Condição	Tempo (h)							
	0	2	4	8	24	72	168	336
$E_{\text{NaCl ácido}} (V_{\text{ECS}})$	-0,33	-0,40	-0,46	-0,50	-0,52	-0,55	-0,60	-0,62
$E_{\text{NaCl básico}} (V_{\text{ECS}})$	-0,35	-0,38	-0,40	-0,42	-0,42	-0,43	-0,44	-0,44
$E_{\text{NaCl neutro}} (V_{\text{ECS}})$	-0,30	-0,42	-0,45	-0,56	-0,62	-0,68	-0,70	-0,73
$E_{\text{bicarbonato}} (V_{\text{ECS}})$	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15

Tabela 1 – Levantamento dos potenciais de circuito aberto.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, o valor do potencial de equilíbrio para o eletrodo de cobre em relação ao eletrodo de calomelano saturado, em solução aquosa de Cloreto de Sódio em: pH ácido, pH básico, pH neutro e em solução de Bicarbonato de sódio, foi respectivamente de  $-0,62V_{\text{ECS}}$ ,  $-0,44V_{\text{ECS}}$ ,  $-0,73V_{\text{ECS}}$  e  $-0,15V_{\text{ECS}}$ . A maior agressividade do meio é atribuída a potenciais mais negativos, sendo o meio contendo NaCl em condição neutra, o mais agressivo, partindo dessa análise.

## Ensaio de Curvas de Polarização

A Figura 3 mostra as curvas de polarização obtidas para as superfícies do eletrodo de trabalho após sua imersão em de NaCl 3,5% em meios: ácido, básico e neutro e em solução aquosa de NaHCO<sub>3</sub> (84 g/L) com pH 8,02.

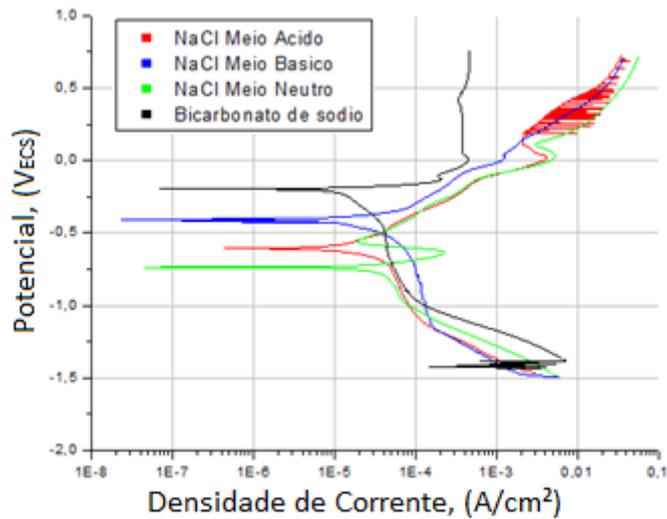


Figura 3 – Curvas de polarização das células.

Analisando a Figura 3, observa-se que a solução de bicarbonato de sódio, mostrou-se o meio menos agressivo, o que pode ser comprovado por meios dos valores de potencial de corrosão mais elevados, indicando assim, menor susceptibilidade à corrosão da haste de cobre nesse meio. O que foi anteriormente obtido no ensaio de potencial de circuito aberto (Tabela 1).

O potencial de corrosão encontrado foi em torno de  $-0,15 V_{ECS}$  e por volta de  $0 V_{ECS}$ , iniciou-se a região de passivação, que pode ser identificada com o trecho de estabilidade da densidade de corrente. O comportamento encontrado mostra a estabilidade dos óxidos formados e seu caráter protetor, tendo em vista o fato de não ter sido identificada uma região de transpassivação por meio do ensaio de polarização.

O sistema contendo NaCl acidificado revelou os menores valores de correntes catódicas e os maiores valores de correntes anódicas. O potencial de corrosão em relação ao eletrodo de referência de calomelano encontrado foi de  $-0,62 V_{ECS}$ . Apresentou uma pequena região de passivação entre  $0,2 V_{ECS}$  e  $0,25 V_{ECS}$ , significando que nessa faixa de potencial foi criado um filme óxido protetor de baixa estabilidade, que rapidamente sofreu ruptura. A perda de espessura da camada de cobre do eletrodo de trabalho foi constatada ao final do experimento.

O sistema contendo NaCl basificado não apresentou região de passivação. Isso significa que não foi criado um filme óxido protetor. Porém a densidade de corrente anódica apresentou valores menores em relação ao meio ácido e neutro. A

perda de espessura da camada de cobre do eletrodo de trabalho foi constatada ao final do experimento.

Para o eletrodo exposto à solução de NaCl neutro foi observado um potencial de corrosão em relação ao eletrodo de referência de calomelano em torno de  $-0,73 V_{ECS}$ . Aproximadamente em  $-0,25 V_{ECS}$  ocorreu um decréscimo na densidade de corrente com o aumento do potencial, dando início a uma pequena região de passivação entre  $-0,56 V_{ECS}$  e  $-0,55 V_{ECS}$ , indicando que nessa faixa foi criado um filme óxido protetor, havendo rapidamente a ruptura do filme. Logo após, iniciou-se a região transpassivação, onde a densidade de corrente voltou a aumentar com o aumento do potencial. Porém, em torno de  $-0,15 V_{ECS}$  há um novo recuo da densidade de corrente dando início a uma nova e pequena região de passivação. Posteriormente, a densidade de corrente volta a crescer com o aumento do potencial e relativamente aos outros meios com valores maiores. Isso significa que o processo de corrosão foi mais atuante nesse meio.

### Análise Microscópica da Superfície de Cobre

Na Figura 4 (1) é apresentada uma micrografia da camada de cobre sobre a haste, antes de ser exposta aos ensaios de corrosão, onde pode ser observada a espessura aproximada desse revestimento.

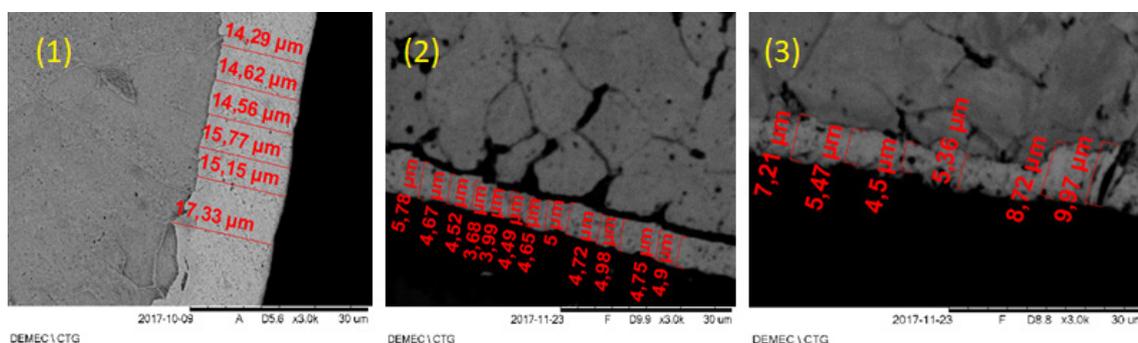


Figura 4 – Micrografia da secção transversal da haste cobreada no aumento de 3000x (1) antes da corrosão, (2) depois da corrosão em meio NaCl neutro, (3) depois da corrosão em meio de  $\text{NaHCO}_3$ .

A imagem adquirida pelo MEV indica que antes da amostra ser exposta ao processo de corrosão apresentava uma média  $15,29 \mu\text{m}$  de revestimento de cobre como se ver na Figura 4 (1).

Na Figura 4 (2), onde o corpo de prova foi exposto em meio de NaCl neutro, pode ser observado que após o processo de corrosão, a camada de revestimento de cobre sofreu uma diminuição, passando a ter uma espessura de aproximadamente  $4,68 \mu\text{m}$ . Essa redução da camada de cobre diminui a condutividade do eletrodo de aterramento e consequentemente faz com que faz a resistência elétrica da haste aumente. O que é ruim para o sistema elétrico como um todo.

Para o eletrodo exposto ao eletrólito de  $\text{NaHCO}_3$ , Figura 4 (3), vê-se que a camada de cobre diminuiu menos, em relação ao meio anterior, passando a ter um valor em média de  $6,87 \mu\text{m}$ . Isso se deve à formação de um filme óxido protetor de fina camada, impedindo o avanço do processo corrosivo sobre o cobre.

### Ensaio de Impedância Eletroquímica

Com o ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica é possível obter-se os parâmetros elétricos da superfície do material exposto à corrosão. Com base no modelo exposto na Figura 5.

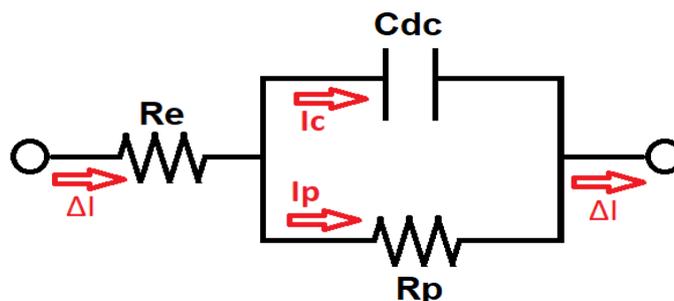


Figura 5 – Circuito elétrico equivalente da interface metal-eletrólito.

Analisando o circuito da Figura 5, vê-se que para altas frequências a impedância medida nos terminais do circuito é a  $(R_e)$ , pois como a reatância do capacitor é inversamente proporcional à frequência, nestas condições o ramo do capacitor ( $C_{dc}$ ) tem impedância tendendo à zero. Se essa impedância já é pequena, tão menor será impedância equivalente do ramo paralelo entre  $R_p$  e  $C_{dc}$ , sendo assim desprezível se comparada ao  $(R_e)$  em altas frequências.

Do mesmo modo, ao se analisar o circuito para baixas frequências vê-se que a impedância medida nos terminais do circuito é a soma de  $(R_p)$  e  $(R_e)$ , uma vez que em baixas frequências a reatância do ramo do capacitor ( $C_{dc}$ ) tende infinito, equivalendo por tanto a um circuito aberto nesse ramo.

Os dados coletados durante a fase exploratória dos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica são apresentados nas Figuras 6, 7(1) e 7(2), que mostram respectivamente, o Diagrama de Nyquist, o gráfico de Bode Módulo e Bode Fase.

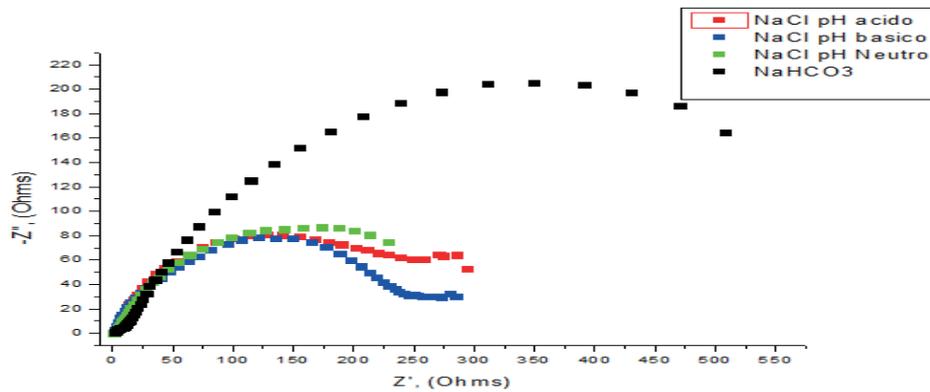


Figura 6 – Diagramas de Nyquist.

Ao analisar a Figura 6 vê-se que em todos os casos para a faixa de frequência escolhida, os valores em que o semicírculo toca novamente o eixo real não foram atingidos, sendo assim foi necessário o uso de equações de circunferência para extrapolar esse valor para todas as curvas. Na Tabela 2 são apresentados os valores obtidos por análise da Figura 6

Condição	Z' ( $\Omega$ )	-Z'' ( $\Omega$ )	$\omega_{\max}$ (Rad/s)
NaCl ácido	127,547	80,8253	2,50136068
NaCl básico	120,551	78,4275	12,53646
NaCl neutro	172,968	86,8673	0,15782667
NaHCO <sub>3</sub>	349,51	205,493	0,39643938

Tabela 2 – Impedâncias reais e imaginárias para a frequência máxima.

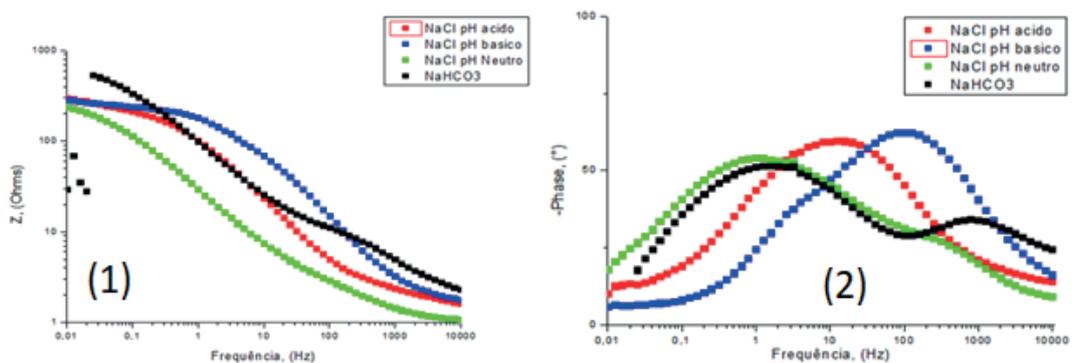


Figura 7 – (1) Diagramas de Bode Impedância (2) Diagramas de Bode Fase.

Ao se analisar as Figuras 7 (1) e 7 (2) com base no que foi dito sobre as impedâncias do circuito equivalentes em altas e baixas frequências obteve-se os resultados expressos na Tabela 3.

Condição	Re ( $\Omega$ )	Rp+Re ( $\Omega$ )	Rp ( $\Omega$ )
NaCl ácido	1,57038	208,3723	206,80192
NaCl básico	1,70943	198,9785	197,26907

NaCl neutro	1,06771	259,8353	258,76759
NaHCO <sub>3</sub>	2,09549	555,003	552,90751

Tabela 3 – Valores das resistências de eletrólito e polarização.

Ao se analisar o diagrama de Nyquist de uma célula eletroquímica vê-se algo semelhante a Figura 8:

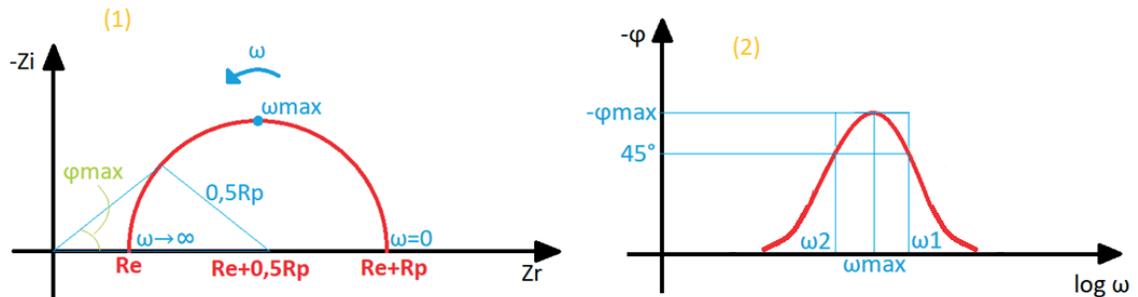


Figura 8 – (1) Curva de Nyquist (2) Curva de Bode fase.

De posse dos valores de Rp e Re, expressos na Tabela 3, e com base nos valores de ωmax obtido por análise dos gráficos das Figuras 6 e 7(2) de forma como é explicado nas Figuras 8(1) e 8(2), e com base na equação (A) que obtém-se os valores da Tabela 4:

$$\omega_{max} = \frac{1}{R_p \cdot C_{dc}} \quad (A)$$

Condição	C <sub>dc</sub> (mF)
NaCl ácido	0,193316585
NaCl básico	0,040435804
NaCl neutro	2,448554221
NaHCO <sub>3</sub>	0,456216221

Tabela 4 – Valores das capacitâncias de dupla camada.

Segundo Ponte (2003), no caso da densidade de corrente de corrosão, ela está associada à resistência de polarização por meio do coeficiente de Stern-Geary, como indicado na Equação (B):

$$i_{corr} = \frac{B \cdot 10^6}{R_p} \quad (B)$$

Com base na Equação (B), a corrente de corrosão e, portanto a velocidade do processo, é inversamente proporcional à resistência de polarização, com isso, pode ser concluído que a amostra exposta à solução de NaHCO<sub>3</sub> foi a que menos sofreu com a corrosão dado que o seu Rp foi maior em relação as outras. Esse

comportamento de resistência a polarização condiz com o que foi observado nas Figuras 4(1), 4(2) e 4(3), que mostram que o corpos de prova expostos a  $\text{NaHCO}_3$  em relação à amostra exposta ao  $\text{NaCl}$  meio neutro, apresentou menor perda da camada do cobre.

## CONCLUSÕES

A modificação do eletrodo de cobre por meio do processo de corrosão mostrou-se bastante danosa para sua aplicação em sistema de aterramento. A camada superficial de cobre ao ser atacada pelo processo de corrosão diminui a sua espessura e isso faz com que sua resistência elétrica aumente.

O filme de óxido formado na amostra exposta ao  $\text{NaHCO}_3$  mostrou-se bastante estável, criando uma barreira protetiva eficiente, com um ampla zona de passivação e ausência de região de transpassivação. Esse comportamento indica que os produtos de corrosão formados geram uma camada fina, compacta e aderente, que impediram que o processo de corrosão pudesse evoluir. Esse resultado foi confirmado por meio de uma baixa queda da espessura da camada de cobre. Os resultados de potencial de circuito aberto, polarização e EIE mostraram melhor comportamento de resistência à corrosão para as amostras expostas à solução de bicarbonato de sódio.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5410, Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15749, Medição de Resistência de Aterramento e de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento. 2009.

GENTIL, Vicente. *Corrosão*. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 2011.

KINDERMANN, Geraldo & CAMPAGNOLO, Jorge Mário. Aterramento Elétrico. Porto Alegre: 3ª Edição, Sagra DC Luzzato, 1995.

NASCIMENTO, Cleberson Lopes do. Diagnóstico de Corrosividade em eletrodo de aterramento elétrico cobreado.

PONTE, Haroldo A. Fundamentos da Corrosão. Curitiba: Apostila de Eletroquímica Aplicada e Corrosão, UFPR, 2003.

WOLYNEC, Stephan. Técnicas Eletroquímicas em Corrosão. São Paulo, Edusp, 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