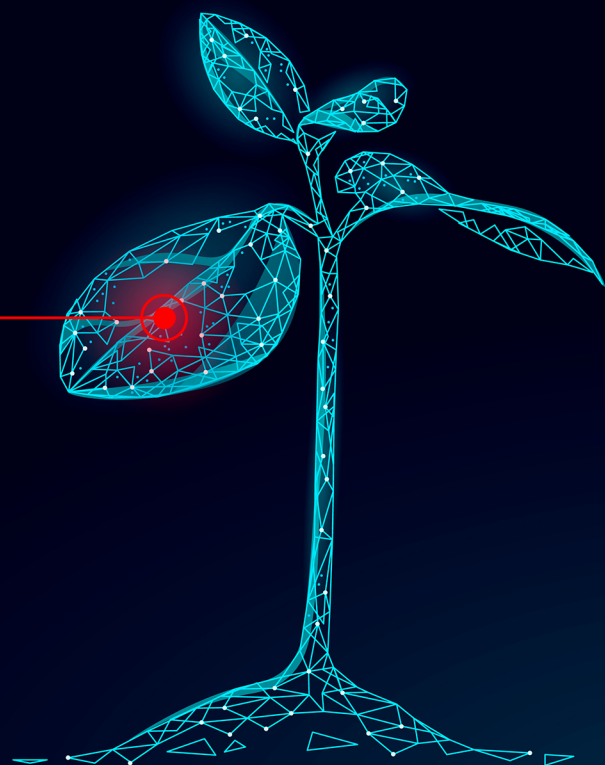
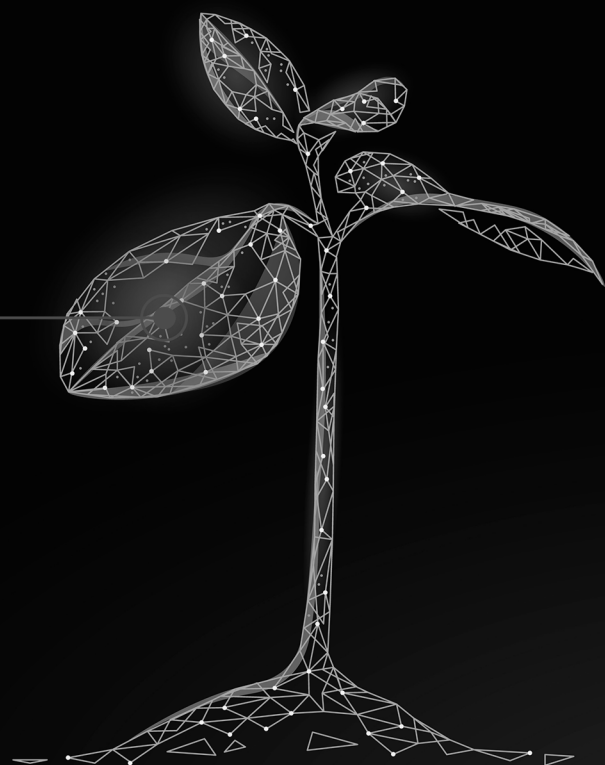


Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



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: Prof^a Dr^a 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

Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
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>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
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

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

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

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

Data de aceite: 18/11/2019

Mario Henrique Moreira de Moraes

Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua, FEMat, UFPA.

Belém – Pará. Contato: demoraesmario@gmail.com.

Diogo Pontes de Queiroz

Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua, FEMat, UFPA.

Belém – Pará.

Luiz Gabriel da Silva Nascimento

Instituto Federal do Pará, Campus Belém, IFPA.

Belém – Pará.

José Antônio Silva Souza

Universidade Federal do Pará - Campus Belém, FEQ, UFPA.

Belém – Pará.

Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará - Campus Belém, FEM, UFPA.

Belém – Pará.

Deibson Silva da Costa

Universidade Federal do Pará - Campus de Ananindeua, FEMat, UFPA.

Belém – Pará.

RESUMO: Confeccionaram-se compósitos de matriz polimérica, utilizando-se os seguintes resíduos industriais: lama vermelha e caulim.

As proporções em massa utilizadas variaram entre 0 %, 5 %, 15 %, 25 % e 35 %, com granulometria de 100 mesh. Utilizou-se resina poliéster isoftálica com acelerador e catalisador nas respectivas proporções: 1,5 % e 1 % em v/v. A confecção seguiu o método de laminação manual "hand lay-up". As análises dos resíduos foram realizadas pela técnica de DRX. Em adição, realizaram-se ensaios físicos e de flamabilidade, conforme as normas NBR 12766 e ASTM 635, além de ensaios mecânicos de tração (ASTM 3039) e flexão (ASTM 790). As propriedades físicas (AA, PAe MEA) aumentaram conforme elevou-se as composições. Os materiais ensaiados apresentaram capacidade de retardo à chama quando comparados com as recomendações da norma. Mecanicamente, obtiveram-se resultados semelhantes à matriz plena para flexão e notou-se uma tendência de aumento da resistência à tração.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais Conjugados; Resina Poliéster; Lama Vermelha; Caulim; Características.

FLAME RESISTANCE AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES WITH RED MUD AND KAOLIN WASTE ADDITIONS

ABSTRACT: Polymer matrix composite materials were made using the following

industrial wastes: red mud and kaolin. The mass proportions used ranged from 0 %, 5 %, 15 %, 25 % and 35 %, with granulometry of 100 mesh. Isophthalic polyester resin was used with accelerator and catalisator in proportions of 1.5 % and 1 % in v / v. The preparation followed the hand lay-up method. Waste analysis was performed using the XRD technique. In addition, physical and flammability tests were performed in accordance with standards NBR 12766 and ASTM 635, as well as mechanical tensile tests (ASTM 3039) and flexure (ASTM 790). Tested materials showed flame retardancy when compared to the recommendations. The physical properties (WA, AP and BD) increased as the compositions increased. Mechanical results were not expressive for flexure tests and expressive for tensile tests.

KEYWORDS: Conjugated materials; Polyester resin; Red mud; Kaolin; Characteristics.

1 | INTRODUÇÃO

Apesar dos recentes avanços tecnológicos na área de engenharia de materiais, os resíduos industriais oriundos dos diversos setores da mineração continuam tendo, em sua maioria, uma destinação imprópria. Tal destinação acarreta graves problemas ambientais, além de um eventual desperdício mercadológico. Daí a importância de fomentar aplicações para esses resíduos, evitando seu descarte na natureza e gerando avanços através de sua utilização na confecção de novos materiais tais como os compósitos.

Um material compósito é formado por dois ou mais componentes com naturezas químicas diferentes, cujas interfaces, quando observadas em escala macroscópica são bem definidas, apresentando distinções visuais. O material obtido tem como objetivo exibir melhores propriedades através da sinergia dos seus constituintes, atuando de maneira mais eficiente do que os seus componentes de maneira separada (MARINUCCI, 2011).

Dentre as subclassificações dos compósitos, estão os materiais compósitos com matriz polimérica, que podem ser definidos como uma resina polimérica atuando de fase matriz e outro constituinte (fibras naturais ou sintéticas, por exemplo) atuando como uma fase dispersa. Essa combinação é frequente, pois, geralmente, apresenta ótimas propriedades à temperatura ambiente em conjunto a uma facilidade de fabricação (CALLISTER, 2012). Além das fibras, resíduos industriais podem ser utilizados como carga de enchimento nos materiais compósitos.

A lama vermelha, constituída por partículas de fina granulometria, com cerca de 325 mesh, é o resíduo gerado em uma das etapas do processo Bayer. Seu dano ambiental é considerável, pois normalmente é disposta em grandes lagoas de sedimentação. A composição da lama vermelha pode variar conforme a origem da bauxita e do método de tratamento utilizado durante processo (SILVA FILHO *et.al*,

2007).

Já no beneficiamento do caulim, são produzidos resíduos à base de sílica, caulinita e mica em quantidades expressivas, produzindo-se 80 % a 90 % de resíduos em cima do volume total explorado. O que representa um grande impacto ambiental, tendo em vista que seus depósitos são feitos a céu aberto (ANJOS e NEVES, 2011).

Tendo em vista o atual descaso com os resíduos industriais e visando sua aplicação em novos materiais, foram produzidos compósitos de matriz polimérica com lama vermelha (LV) e caulim (CA), seguido da caracterização mineralógica dos resíduos em paralelo com a caracterização física, de inflamabilidade e mecânica das placas fabricadas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais compósitos foram fabricados na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, utilizando-se o método denominado *hand lay-up*, método manual para confecção de placas.

Os resíduos foram submetidos manualmente a uma peneira Tyler com malha de 100 mesh, depois identificados e armazenados. Determinou-se a massa do resíduo e realizou-se a secagem do mesmo em uma estufa durante 20 minutos a 100° C para retirada da umidade. Paralelamente, aplicou-se desmoldante em um molde metálico com dimensões de 32 x 17 cm, para assim evitar o contato direto do molde com o compósito e facilitar sua retirada após o processo de prensagem.

Posteriormente, foi determinada a massa da resina de acordo com as devidas proporções pré-calculadas e porcentagens estabelecidas para este trabalho. Realizou-se, então, o preparo da mistura seguindo a seguinte ordem de colocação (onde cada constituinte foi misturado até ser homogeneizado): resina, catalisador metálico, resíduo e acelerador.

Vazou-se a mistura no molde metálico (com desmoldante já aplicado) de maneira uniforme. O molde foi conduzido até uma prensa hidráulica com uma carga fixa aplicada de 25 kN, por um tempo determinado de 20 minutos. A Figura 1 apresenta o fluxograma da fabricação:

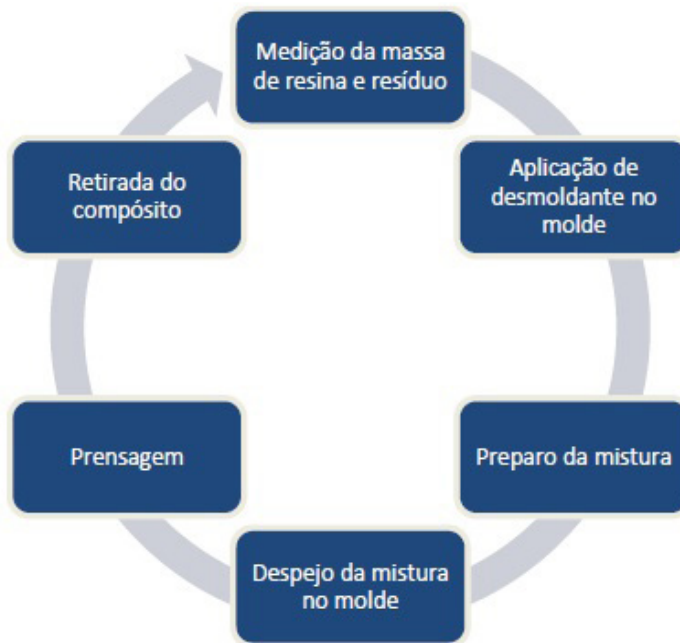


Figura 1: Fluxograma de confecção do material compósito.

Após a obtenção das placas em formato retangular e dado o tempo necessário para o processo de cura total das mesmas (cerca de 24 h, dispostas sob pesos padrões), realizou-se o corte das placas com um cortador serra mármore para o preparo dos corpos de prova, seguindo as recomendações das normas NBR 12766/1992 para os ensaios físicos, ASTM D 635 para o ensaio de flamabilidade (horizontal), e, respectivamente, ASTM D 790 e ASTM D 3039 para os ensaios de flexão e tração.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Difração de raios-x

As Figuras 2 e 3, apresentam respectivamente, os difratogramas dos resíduos de lama vermelha e caulim. Através dos diversos picos característicos, é possível identificar-se os principais minerais presentes em cada amostra.

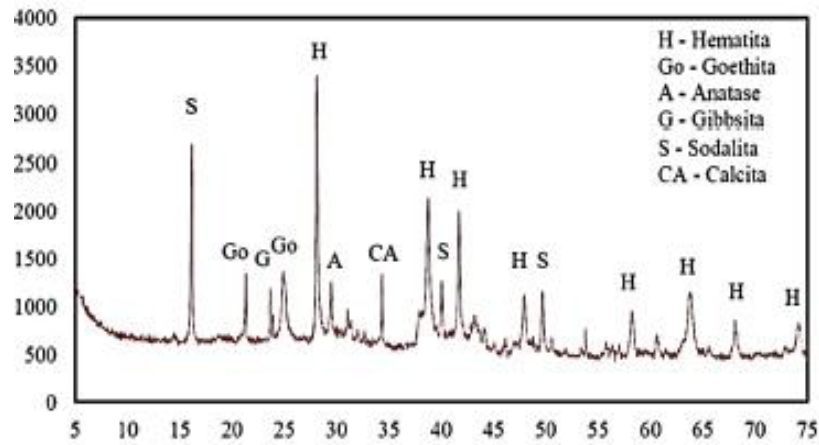


Figura 2: Difratoograma obtido para a amostra de lama vermelha.

No resultado do ensaio mineralógico para a lama vermelha, encontra-se os principais picos sinalizados como sendo da hematita (H) - PDF 01-073-2234 e sodalita (S) - PDF 01-089-8955. Estando em conforme com trabalhos já realizados por COSTA (2016).

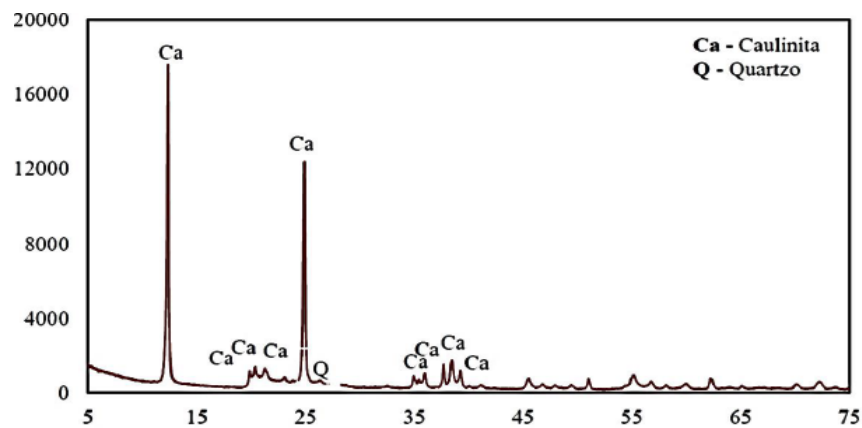


Figura 3: Difratoograma obtido para a amostra de caulim.

Para o resíduo de caulim, são ressaltados os picos de caulinita (Ca) e quartzo (Q), em conformidade com a literatura de referência. Ambos minerais de acordo com as fichas PDF 14-0164 e PDF 05-0490.

3.2 Ensaio físicos

A Tabela 1 demonstra os resultados de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente, obtidos para o resíduo de lama vermelha:

LAMA VERMELHA 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APA- RENTE (%)	MASSA ESPECÍFICA APA- RENTE (g/cm ³)
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5%	0,70	0,86	1,24
15%	1,08	1,38	1,30
25%	1,40	1,89	1,33

Tabela 1: Resultados dos ensaios físicos para a lama vermelha.

De acordo com Callister (2012), materiais compósitos com partículas grandes seguem a regra das misturas, onde cada fase constituinte do material compósito contribui para as propriedades efetivas do mesmo, sendo tal contribuição dependente apenas da fração volumétrica desses constitutivos. É importante ressaltar que as formulações realizadas através da regra das misturas possibilitam apenas estimativas aproximadas.

A ficha técnica provida pelo fabricante para a resina isoftálica nos informa que a massa específica aparente (MEA) da mesma é de aproximadamente 1,157 g/cm³, enquanto de acordo com a literatura, a da lama é 2,11 g/cm³. A regra da mistura tem, então, suas afirmações ratificadas pelos resultados dos ensaios, onde é notável o aumento da massa específica aparente de acordo com o aumento do percentual em massa de lama vermelha no compósito.

Há também um aumento nos índices de absorção de água e porosidade aparente de acordo com o incremento proporcional de lama vermelha. Ao se relacionar a menor proporção de resíduo na matriz (5 %) com a maior proporção utilizada (35 %), observa-se que absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA), respectivamente, apresentaram um aumento de cerca de 123 % e 130 %.

Tal efeito pode ser explicado tanto pela hidrofília do resíduo que é alta, como também pelo método de fabricação manual utilizado para a fabricação do material compósito, cuja probabilidade de surgimento de falhas tais como vazios, trincas e bolhas é acentuado.

Em sequência, a Tabela 2 demonstra os resultados para os materiais compósitos utilizando o resíduo de caulim na fase dispersa:

RESÍDUO DE CAULIM 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5%	1,18	1,45	1,27
15%	1,42	1,80	1,28
25%	1,85	2,48	1,35
35%	2,07	2,92	1,41

Tabela 2: Resultados dos ensaios físicos realizados para o caulim.

Como esperado, a regra da mistura também é mantida no caso do resíduo de caulim, cuja MEA é em média 2,6 g/cm³. Os aumentos percentuais observáveis para AA e PA ao compara-se as proporções inicial e final (5 % e 35 %), são respectivamente

de 71 % e 101 %. As formulações utilizando o caulim foram as que apresentaram as menores taxas de crescimento nas propriedades físicas dentre os dois resíduos, abrindo a sugestão de que o método de confecção para o resíduo de caulim foi o que obteve maior homogeneidade e menor número de descontinuidades.

3.3 Ensaio de flamabilidade

A Tabela 3 exibe os dados coletados durante o ensaio de resistência à chama, realizados de acordo com a norma ASTM D 635.

RESÍDUO / PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
Resina Plena	17,42
LV 5 %	19,28
LV 15 %	14,23
LV 25 %	14,29
LV 35 %	10,39
CA 5 %	23,73
CA 15 %	18,25
CA 25 %	19,63
CA 35 %	11,98

Tabela 3: Resultados do ensaio de flamabilidade horizontal.

Alguns tipos de matrizes poliméricas apresentam baixa resistência à chama, não sendo indicada a aplicações mais susceptíveis à ocorrência de incêndios, tais como cabines de aeronaves, carros de trens, navios e submarinos. Entretanto, a resina plena utilizada nos ensaios apresentou uma taxa de propagação adequada em relação ao exigido pela norma utilizada, sendo notável também, que a partir da inclusão de resíduos, houve uma melhora no desempenho do teste de flamabilidade. Observou-se que o tempo médio de queima das amostras aumentou à medida que se adicionou mais resíduo na matriz do compósito, demonstrando que o resíduo atua como retardante de chama. Tal efeito é desejável, pois quanto maior for o tempo de queima do material, menor será a velocidade de propagação da chama, o que facilita que medidas de reação/segurança sejam tomadas em relação a mesma.

Pode-se afirmar que todos os materiais compósitos fabricados neste trabalho, independente do resíduo utilizado, são classificados como HB. Visto que nas diretrizes da norma utilizada, é informado de que taxas inferiores a 40 mm/min são classificadas como tal.

No âmbito nacional, a resolução CONTRAN 675 exige que os revestimentos internos da indústria automobilística tenham uma velocidade de propagação de chama de 250 mm/min, enquanto que em outros países com pesquisas avançadas

na área, esse valor é estabelecido em 80 mm/min (RIBEIRO, 2013).

A maior proporção de lama vermelha obteve um percentual de redução de propagação da chama de 40 % em relação à resina plena. Para o resíduo de caulim, sua maior proporção em massa promoveu uma redução da propagação de cerca de 31 % em relação a resina plena. Tais reduções podem ser explicadas pela composição química e mineralógica dos resíduos, com a presença de minerais como o quartzo, que contribuem para o efeito de retardância da chama.

A Tabela 4 abaixo demonstra uma comparação entre as composições com 35 % (teoricamente as composições que possuem maior efeito de retardância de chama, devido a maior quantidade de resíduos) e o padrão exigido pelas normas e diretrizes, no qual é possível observar o excelente desempenho obtido durante os ensaios.

NORMAS/COMPOSIÇÃO	TAXA DE PROPAGAÇÃO (mm/min)
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
LV 35 %	10,39
CA 35 %	11,98

Tabela 4: Comparação entre resultados obtidos com os parâmetros exigidos.

Comparando-se os dados obtidos neste trabalho com os fornecidos pelas normas, é notável o excelente desempenho dos materiais compósitos elaborados, que apresentaram valores bem menores do que o exigido. Em relação ao valor exigido pela resolução do CONTRAN, obteve-se uma redução de 95,8 % na taxa de propagação para a de lama vermelha e 95 % para o caulim. Para o valor estabelecido pela norma da ASTM, as reduções foram de aproximadamente 74 % para a lama vermelha e 70 % para o caulim.

3.4 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão nos materiais compósitos confeccionados seguiu as diretrizes da norma ASTM D 790, que explana dois tipos de ensaios: flexão de 3 pontos ou de 4 pontos, sendo o primeiro o mais utilizado. O ensaio de flexão é utilizado para determinar algumas das propriedades mecânicas, sobretudo a de resistência à flexão. Tais propriedades são importantes para o controle de qualidade e para avaliar o desempenho dos materiais plásticos quando submetidos a uma carga de flexão. Os resultados obtidos após os ensaios são apresentados na Tabela 5 a seguir:

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)
Resina Plena	63,05 ± 9,09
LV 5 %	30,79 ± 0,68
LV 15 %	32,19 ± 0,62
LV 25 %	49,32 ± 1,24
LV 35 %	44,15 ± 0,45
CA 5 %	57,11 ± 1,51
CA 15 %	70,19 ± 0,81
CA 25 %	58,79 ± 1,24
CA 35 %	68,17 ± 1,76

Tabela 5: Resultados do ensaio de flexão.

A composição com melhor desempenho foi a de 15 % de caulim, com tensão média de resistência a flexão de cerca de 70,19 MPa. Já para a lama vermelha, foi sua composição de 25 % que exibiu melhor desempenho, com cerca de 49,32 MPa.

As demais composições, tanto de lama vermelha quanto de caulim, não exibiram resultados satisfatórios, com tensões menores ou de patamar semelhante ao valor para a resina plena. As explicações para tal comportamento envolvem diversos fatores, sendo o mais provável deles uma má dispersão e compactação do resíduo na matriz.

De maneira geral, não houve um aumento sensível da resistência a flexão em relação a resina plena, o que já era esperado, tendo em vista que na medida que a matriz é saturada de resíduos, sua massa específica e rigidez aumentam, o que implica na perda gradual de flexibilidade do corpo de prova. Os resíduos, então, atuaram mais como carga de enchimento do que como reforço efetivo para o caso do ensaio de resistência à flexão.

3.5 Ensaio de tração

O ensaio de resistência a tração em materiais compósitos é de extrema importância para a determinação das propriedades mecânicas, bem como garantir a adequação aos padrões comerciais de aplicabilidade prática. Os corpos de prova utilizados no foram confeccionados para atenderem os requisitos da norma ASTM D 3039.

A Tabela 6 abaixo ilustra os resultados obtidos para os resíduos em suas respectivas composições em massa:

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)
Resina Plena	8,65 ± 0,67
LV 5 %	16,77 ± 2,81
LV 15 %	18,45 ± 1,81
LV 25 %	20,08 ± 2,04
LV 35 %	19,82 ± 1,07
CA 5 %	17,66 ± 3,27
CA 15 %	20,01 ± 2,94
CA 25 %	21,16 ± 3,35
CA 35 %	19,20 ± 3,98

Tabela 6: Resultados obtidos com o ensaio de tração.

É notável que independente do resíduo utilizado, há um aumento da tensão de resistência ao compara-se com a matriz plena. Isso ocorre devido a fase dispersa, que ajuda a distribuir melhor as tensões que são exercidas no interior do material na medida em que o mesmo é traçado.

Em relação a inserção de lama vermelha, notou-se que até 25 % houve uma melhora nas propriedades mecânicas chegando a uma resistência de 20,08 MPa, 132 % maior do que em relação a resina plena. Contudo, na composição de 35 % houve um decaimento da resistência para 19,82 MPa, o que pode ser explicado devido o aumento da porosidade do material que ocorre com o aumento da composição, resultado esse já mencionado durante a análise dos ensaios físicos.

Para o resíduo de caulim, a maior tensão de resistência obtida foi para a composição de 25 %, com 21,16 MPa, um aumento de cerca de 144 % tendo em vista a matriz plena. Na composição de 35 %, notou-se um decaimento dessa propriedade mecânica para 19,20 MPa, o que pode ser explicado de maneira semelhante a lama vermelha, pois o caulim também obteve um aumento sensível de porosidade à medida que sua inserção na matriz aumentava.

Os resultados de tração exibiram resultados positivos e os resíduos atuaram como reforço efetivo, ao contrário do que foi observado para o ensaio de flexão, no qual atuaram como predominantemente como carga de enchimento.

4 | CONCLUSÃO

O ensaio de inflamabilidade horizontal assegurou uma classificação HB para os materiais confeccionados, de acordo com a norma ASTM D 635, garantindo-os com características de retardantes de chama. As composições de 35 % obtiveram excelente desempenho, com valores de taxa de propagação bem menores do que o máximo exigido pela resolução 675 do CONTRAN.

Para o ensaio mecânico de flexão, os resíduos não promoveram resultados sensíveis na resistência em relação a resina plena. Contudo, no que tange os dados

obtidos no ensaio de tração, observou-se uma tendência de melhora na tensão de resistência a tração dos corpos de prova em relação a matriz plena, com aumentos de até 132 % para o resíduo de lama vermelha e 144 % para o resíduo de caulim.

Dessa forma, a aplicação de maior destaque para os materiais compósitos estudados neste trabalho é como retardante de chama, bem como sua utilidade como opção viável de destinação para os resíduos industriais estudados, que outrora seriam impropriamente descartados.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ), a Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

REFERÊNCIAS

ANJOS, C. M.; NEVES, G. A.; Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6, n.2, p. 91-96, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "**Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água aparente.**" 1992. 2p.

ASTM D 635 "**Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position**" Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.

ASTM D 790. "**Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.

ASTM D 3039. "**Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2000.

CALLISTER, W. **Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução**. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

COSTA, D. S. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais**. Tese de Doutorado, 2016.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução n°. 675 - "**Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências.**" Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.

MARINUCCI, G., **Materiais Compósitos Poliméricos**. 1 Ed. São Paulo: Artliber, 2011.

RIBEIRO, L. M. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). **Holos**, ano 29, vol 1, 2013.

SILVA FILHO, E. B.; ALVES, M. C. M. ; MOTTA, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. **Revista Matéria**, v.12, n.2, p.322-338, 2007.

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 TiO₂ 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