

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

iStock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^a Dr^a Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
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^a Dr^a Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
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^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Brito de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramirez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lillian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Sullivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Coleção desafios das engenharias: engenharia civil

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia civil /
Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-302-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.023211407>

1. Engenharia civil. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador).
II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.arenaeditora.com.br
contato@arenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Civil”, em seu primeiro volume, apresenta 18 capítulos que abordam pesquisas relevantes sobre os desafios enfrentados pela engenharia civil mundo afora, tais como: Otimização e Dimensionamento de Peças Estruturais, Concreto em Situações de Incêndio, Confiabilidade Estrutural, Prevenção de Danos em Estruturas, Estudos de Materiais Alternativos para Construção Civil, Concreto Ecológico e Descarte de Resíduos.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas à estruturas de concreto armado e materiais de construção civil.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE LAJES NERVURADAS, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

Jessyca Priscylla de Almeida Nunes

Giuliana Furtado Franca Bono

Gustavo Bono


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114071>

CAPÍTULO 2..... 16

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME MÉTODO TABULAR E PRINCÍPIO DE CÁLCULO DAS ZONAS

Diogo Raniere Ramos e Silva

Maria de Lourdes Teixeira Moreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114072>

CAPÍTULO 3..... 28

CONSIDERAÇÕES SOBRE PUNÇÃO EM LAJES PLANAS DE CONCRETO ARMADO

Ailton Queiroz Junior

Aurélio de Almeida Abdoral Neto

Eduardo Emilio Martins Pinheiro Câmara

Elsimar Souza Santos

Felipe Vieira Ladislau

Janiele Moreira Roland


Kevin de Matos Costa

Luiz Alfredo Franco Pinheiro

Paola de Kácia de Souza Pinto Silva

Pedro Ignácio Lima Gadêlha Jardim

Raíssa Coelho Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114073>


CAPÍTULO 4..... 43

CONFIABILIDADE ESTRUTURAL DE PÓRTICOS PLANOS DE AÇO

Danilo Luiz Santana Mapa

Marcílio Sousa da Rocha Freitas

Ricardo Azoubel da Mota Silveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114074>


CAPÍTULO 5..... 64

PROJETO ÓTIMO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM SEÇÃO T UTILIZANDO OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

Rubens Silva Correia

Giuliana Furtado Franca Bono

Gustavo Bono


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114075>

CAPÍTULO 6..... 79

A SIMULAÇÃO NUMÉRICA NA RESOLUÇÃO DE DESAFIOS DA ENGENHARIA ESTRUTURAL

Tainá Mascarenhas Borghi


Ana Lucia Homce de Cresce El Debs

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114076>

CAPÍTULO 7..... 93

EXPERIÊNCIAS PARA A PREVENÇÃO DE DANOS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO PÓS-TENSIONADO

Sergio Gavilán

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114077>

CAPÍTULO 8..... 108

EMPREGO DE ENSAIOS DE DURABILIDADE EM CONCRETOS COM SINTOMAS DE EXPANSÃO EM FUNDAÇÕES DE SUBESTAÇÕES E LINHAS DE TRANSMISSÃO EM MINAS GERAIS

Marina Munaretto Copetti

Cristiane Carine dos Santos

Ana Paula Maran

Silvane Santos da Silva

Régis Luís Wagner Mallmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114078>

CAPÍTULO 9..... 125

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E DE DURABILIDADE DO CONCRETO POLÍMERO DESENVOLVIDO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESINA POLIURETANA VEGETAL


Alexandre Rodriguez Murari

Giovanna Jacomelli

Victor José dos Santos Baldan

Eduvaldo Paulo Sichieri

Javier Mazariegos Pablos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114079>

CAPÍTULO 10..... 138

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZAS DE OLARIAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO ESTRUTURAL

Larissa Barbosa de Lima

Jozilene de Souza

Júlio César Damasceno

José Edivandro de Sousa Júnior


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140710>

CAPÍTULO 11..... 151

ESTUDO DO USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

CIVIL BRASILEIRA


Marcos David dos Santos
Marco Antônio Assis de Oliveira
Danylo de Andrade Lima
Marcelo Laédson Morato Ferreira
Hosana dos Santos Lima
Jacira Isabelle Medeiros de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140711>

CAPÍTULO 12..... 162

ARTEFATOS DE CONCRETO LEVE E PERMEÁVEL COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E POLIESTIRENO EXPANSÍVEL


Mariana Venturini
Gabriel Salvador
Carlos Henrique Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140712>

CAPÍTULO 13..... 169

ANÁLISE COMPARATIVA DE MITIGAÇÃO UTILIZANDO OS CIMENTOS CPII – F 32, CPII E-40, CPIV E CPV COM METACAULIM EM AGREGADOS POTENCIALMENTE REATIVOS


Marina Munaretto Copetti
Cristiane Carine dos Santos
Ana Paula Maran
Silvane Santos da Silva
Régis Luís Wagner Mallmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140713>

CAPÍTULO 14..... 189

ANÁLISE PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO DE PASTAS E ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND INCORPORADAS COM PÓ À BASE DE CACTO


Gabriella Cavalcante Souza
João Victor de Paiva Rodrigues
Yasmim Medeiros Rocha
Heber Sivini Ferreira




 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140714>

CAPÍTULO 15..... 201

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS (POLÍMEROS REFORÇADOS POR FIBRAS) NAS PESQUISAS EXPERIMENTAIS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO

Maicon de Freitas Arcine
Nara Villanova Menon

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140715>

CAPÍTULO 16.....	223
CONCRETO ECOLÓGICO: SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO PÓ DE VIDRO Rafael Dantas Ribeiro  https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140716	
CAPÍTULO 17.....	237
RESÍDUO DESCARTADO PELA SIDERÚRGICA DE CORUMBÁ-MS COMO POTENCIAL PARA REAPROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL Manoela da Silva Carvalho Fábio Kroll de Lima Felipe Fernandes de Oliveira Robson Fleming Ribeiro  https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140717	
CAPÍTULO 18.....	253
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS NA MODELAGEM DA DIFUSÃO DE CO ₂ NO CONCRETO Emerson Felipe Felix Renan do Vale Leonel de Assis  https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140718	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	272
ÍNDICE REMISSIVO.....	273

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E DE DURABILIDADE DO CONCRETO POLÍMERO DESENVOLVIDO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESINA POLIURETANA VEGETAL

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 04/06/2021

Alexandre Rodriguez Murari

Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo (IAU/USP)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/0768654046027780>

Giovanna Jacomelli

Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo (EESC/USP)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/2420191542717052>

Victor José dos Santos Baldan

Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo (IAU/USP)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/5714966948798458>

Eduvaldo Paulo Sichieri

Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo (IAU/USP)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/2918779057963012>

Javier Mazariegos Pablos

Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo (IAU/USP)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/2146473359118521>

RESUMO: A necessidade de investir em tecnologias ecologicamente sustentáveis é cada vez mais notória, inclusive no âmbito

da construção civil. No caso do concreto, por exemplo, são continuamente buscados componentes alternativos ao aglomerante, que apesar de ser o elemento que confere resistência ao concreto, causa sérios danos ao ambiente em sua produção, como a poluição em função da emissão de CO₂. Nesse sentido, o concreto polímero surge como uma alternativa, ao empregar a resina poliuretana de origem vegetal (*Ricinus communis*) em substituição ao cimento Portland. A presente pesquisa teve como finalidade analisar as propriedades físicas e mecânicas e a resistência ao fogo do concreto desenvolvido a partir da incorporação dos agregados miúdo e graúdo à resina vegetal poliuretana de mamona. Para tanto, foram moldados corpos de prova com diferentes teores de resina, com o intuito de avaliar a variabilidade do comportamento do composto. Os resultados dos ensaios executados demonstram que o material desenvolvido tem potencial para a continuidade da pesquisa e para futuras aplicações pelo setor da construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto polímero; resina poliuretana vegetal; propriedades mecânicas e físicas; sustentabilidade; construção civil.

ANALYSIS OF THE MECHANICAL,
PHYSICAL AND DURABILITY
PROPERTIES OF THE POLYMER
CONCRETE DEVELOPED FROM THE
USE OF VEGETAL POLYURETHANE
RESIN

ABSTRACT: The need to invest in ecologically sustainable technologies is increasingly evident, including in the field of civil construction. In the

case of concrete, for example, alternative components to the binder are continually sought, which despite being the element that gives concrete strength, causes serious damage to the environment in its production, such as pollution due to CO₂ emissions. In this sense, polymer concrete appears as an alternative, by using polyurethane resin of plant origin (*Ricinus communis*) in replacement of Portland cement. This research aimed to analyze the physical and mechanical properties and fire resistance of concrete developed from the incorporation of fine and coarse aggregates to the polyurethane plant resin of castor bean. For this purpose, specimens with different resin contents were molded in order to assess the variability of the compound's behavior. The results of the tests carried out demonstrate that the material developed has potential for continuing research and for future applications by the civil construction sector.

KEYWORDS: Polymer concrete; vegetable polyurethane resin; physical and mechanical properties; sustainability; civil construction.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente nota-se uma crescente necessidade de se discutir a sustentabilidade frente ao desenvolvimento e o crescimento da humanidade. Segundo Agopyan (2011), o principal desafio relacionado a essa questão é o de promover a evolução da economia, de forma que se atenda as expectativas e necessidades da sociedade, mantendo um ambiente saudável para esta e futuras gerações. Nesse sentido, a indústria da construção civil tem um papel determinante no desenrolar de todo esse processo, já que possui responsabilidade por uma grande parcela na geração de poluentes, resíduos e no consumo de recursos.

A produção de cimento, por exemplo, é responsável por aproximadamente, 5% da emissão de CO₂ derivada da atividade humana (AGOPYAN, 2011), sem considerar o elevado consumo de água, energia e agregados (para produção do concreto, por exemplo), bem como a geração de resíduos sólidos oriundos de todo o processo. Assim, torna-se evidente a necessidade de se desenvolver tecnologias capazes de eliminar, ou ao menos reduzir de forma significativa, o consumo de cimento na execução de projetos de engenharia. Os chamados concretos sustentáveis, desse modo, mostram-se uma alternativa bastante interessante de pesquisa e aplicação no âmbito da construção e da tecnologia de materiais. Um desses tipos de concreto a ser destacado é o concreto polímero, principal objetivo desse estudo, que visa a substituição do cimento pela resina vegetal poliuretana de mamona.

O concreto polímero – classificado como um compósito, é um material heterogêneo resultante da combinação de pelo menos dois componentes com características diversas (ISAIA, 2007). O primeiro componente é descontínuo e responsável pela resistência aos esforços mecânicos, nesse caso os agregados miúdo e graúdo. Já o segundo, é contínuo e, desse modo, forma um meio onde se é possível realizar a transferência dos esforços, a matriz, que no composto em estudo é formada pela resina vegetal poliuretana com função de aglomerante (BALDAN, 2015).

A resina poliuretana vegetal utilizada nessa pesquisa é a poliuretana bi componente (formada por um pré-polímero com terminação isocianato e um polioliol), obtida a partir da extração do óleo de mamona. Esse material, ao contrário das poliuretanas provenientes do petróleo, é completamente atóxico, pois não contém qualquer tipo de material volátil pesado, sendo pouco agressiva ao meio ambiente (LIMA, 2015; ZAGO, 2018).

Dentre as vantagens na utilização de um aglomerante de origem predominantemente vegetal em substituição do cimento, além das já citadas anteriormente com relação a emissão de CO₂ na atmosfera, destaca-se a ausência da utilização direta de água na composição de sua matriz, sendo empregada somente a resina na mistura como material ligante. Assim, nota-se a importância de um futuro desenvolvimento desse composto para aplicação em elementos construtivos em escala industrial, bem como a continuidade desse estudo, pois pode proporcionar uma série de benefícios com relação a sustentabilidade no âmbito da construção civil (PABLOS, 2008; MOURA, 2015).

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de caracterização das propriedades mecânicas e físicas e da resistência ao fogo do concreto desenvolvido a partir da incorporação dos agregados miúdo e graúdo à resina vegetal poliuretana de mamona.

3 | METODOLOGIA

O presente estudo contou com o processo de caracterização dos agregados utilizados, preparação dos componentes do traço para mistura, moldagem dos corpos de prova e ensaios preliminares de avaliação do material com diferentes teores de resina.

3.1 Caracterização dos agregados

Inicialmente foram executados ensaios para a determinação da composição granulométrica dos agregados miúdo (areia média) e graúdo (pedrisco) segundo as especificações contidas na NM 248 (ABNT, 2003).

Amostras dos dois tipos de agregados foram previamente inseridas em estufa e suas massas previamente determinadas. As peneiras do conjunto de ensaio foram encaixadas com abertura de malha em ordem decrescente da base para o topo, comum recipiente adequado de fundo. As amostras foram colocadas separadamente sobre a peneira superior para o início do ensaio com a agitação mecânica do conjunto durante um período pré-determinado de tempo, de modo que fosse possível a separação e posterior classificação de cada um dos grãos componentes da amostra. Para isso, foi separado o conjunto e em seguida pesada a quantidade de material retida em cada uma das peneiras, constituindo assim as curvas granulométricas dos agregados e seus respectivos módulos de finura. O

diâmetro máximo característico e o módulo de finura de cada um dos agregados seguem descritos na Tabela 1.

Agregado	Diâmetro máximo característico (mm)	Módulo de finura (mm)
Areia média	0,60	1,25
Pedrisco	9,50	2,55

Tabela 1 – Dados de caracterização granulométrica.

Ainda como forma de caracterizar o material, foram também determinados os parâmetros de massa específica de acordo com a ABNT NBR NM 52 para os agregados miúdos e graúdos.

A massa específica é a relação numérica entre a massa do agregado seco e seu volume, e foi determinada em laboratório de acordo com o procedimento descrito a seguir. Primeiramente, foi pesado uma amostra de 500g de areia média, colocada no frasco de Chapman aferido, completando-o com 200 g de água. Move-se o frasco de modo que seja possível eliminar as bolhas de ar e realiza-se a leitura, após alguns segundos de estabilização dos componentes no frasco. A massa específica foi calculada de acordo com a Equação 1:

$$d_1 = \frac{m}{v - v_a} \quad (\text{Equação 1})$$

Considerando que o pedrisco utilizado no estudo, possui componentes de dimensões reduzidas, optou-se por realizar a determinação da sua massa específica de modo similar ao procedimento descrito para areia média, sendo apenas alterados as massas de agregado e de água para cada procedimento, 400 g e 300 g, respectivamente.

Os dados observados durante o procedimento, bem como os resultados médios obtidos para massa específica dos agregados, estão descritos na Tabela 2.

Dado	Areia média	Pedrisco
Amostra 1 (g)	500	400
Amostra 2 (g)	500	400
1ª Leitura (mm)	390	439
2ª Leitura (mm)	389	439,5
d média (g/cm³)	2,64	2,87

Tabela 2 – Massa específica dos agregados.

Posteriormente, foi estudada também a massa unitária de cada um dos agregados

empregados na pesquisa. Tal procedimento foi executado com base na norma ABNT NBR NM 45 que trata da relação entre a massa do agregado lançado em um recipiente e o volume do mesmo. Para o ensaio da areia média, foi totalmente preenchida uma caixa de 15 litros de volume, previamente tarada, e foi medida a massa conjunta do recipiente e do agregado, com a superfície da caixa nivelada. Esse processo foi executado 3 vezes. Para a determinação da massa unitária do pedrisco, o procedimento realizado foi semelhante, sendo alterado apenas o recipiente utilizado no processo que continha 3 litros de volume. A massa unitária foi obtida de acordo com a Equação 2. Os dados coletados no ensaio, bem como a massa unitária média para os dois agregados, estão descritos na Tabela 3.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (\text{Equação 2})$$

Pedrisco		Areia média	
Tara (g)	3089	Tara (g)	4395
Massa 1 (g)	4301	Massa 1 (g)	2373
Massa 2 (g)	4279	Massa 2 (g)	2392
Massa 3 (g)	4293	Massa 3 (g)	2378
ρ média (g/cm ³)	1,43	ρ média (g/cm ³)	1,29

Tabela 3 – Massa unitária dos agregados.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização mostraram-se de grande relevância ao longo do estudo, devido à influência da granulometria no comportamento da resina componente da matriz do compósito e também devido a utilização dos valores obtidos para massa unitária e específica na determinação dos traços estudados.

3.2 Estudo dos traços

Inicialmente, foi definido um traço base experimental, considerando uma proporção de 2:1 entre os componentes da resina (duas partes de polioliol para uma parte de pré-polímero) e moldados quatro amostras em formas metálicas de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, considerando uma massa de agregados proporcional ao volume total dos corpos de prova produzidos. As quantidades em massa dos componentes do traço estão indicadas na Tabela 4.

Traço 1	
Areia média (g)	270
Pedrisco (g)	180
Pré-polímero (g)	36
Poliol (g)	64

Tabela 4 – Traço em massa para um corpo de prova.

Durante o processo de moldagem, descrito posteriormente, notou-se uma grande expansão volumétrica do composto, verificado posteriormente como um fenômeno causado pela resina poliuretana componente da matriz. Isso se dá, devido a liberação de gases durante a reação de polimerização das partes componentes da resina já que, devido a presença de granulometrias extremamente reduzidas na areia e no pó de basalto do pedrisco, é formada uma película de materiais finos na superfície do concreto, que impede a saída dos produtos gasosos da polimerização. Desse modo, foi observado que as amostras resultantes desse procedimento apresentavam um elevado número de vazios, o que contribuíram de modo negativo nos resultados dos ensaios de resistência a compressão.

A partir das observações realizadas na confecção do traço base, foi necessário buscar alternativas frente a expansão da matriz. A primeira delas foi a de utilizar na composição do mesmo traço, somente os agregados retidos acima da peneira de malha de 0,3 mm, tanto para a areia média, quanto para o pedrisco, reduzindo, dessa forma, a formação da película. Concomitantemente a esse procedimento, foi estabelecido o confinamento do concreto polímero nas fôrmas metálicas, para que fosse possível limitar fisicamente a expansão do composto. Foi observado que mesmo com as precauções descritas, ainda ocorreu uma menor, mas significativa, expansão da resina.

Assim, optou-se pela diminuição da quantidade de resina em 20 e 30%, considerando o traço base. As quantidades em massa dos componentes dos dois novos traços estudados estão indicadas na Tabela 5.

Traço 2 (20% menos resina)		Traço 3 (30% menos resina)	
Areia média (g)	270	Areia média (g)	270
Pedrisco (g)	180	Pedrisco (g)	180
Pré-polímero (g)	28,8	Pré-polímero (g)	25,2
Poliol (g)	51,2	Poliol (g)	44,8

Tabela 5 – Quantidade em massa dos novos traços.

Com base nos traços desenvolvidos, foram executados os ensaios de resistência à compressão simples, de absorção de água e de segurança contra incêndio, e seus

respectivos resultados foram indicados nos itens subsequentes.

3.3 Moldagem e ensaios dos corpos de prova

Para a moldagem dos corpos de prova, primeiramente, os agregados foram secos em estufa a 105°C, durante 24 horas, e a areia média peneirada, sendo utilizados apenas os grãos retidos acima da peneira de 0,3mm. Antes de cada moldagem, foi necessário preparar as fôrmas a serem utilizadas cobrindo seu interior com uma camada uniforme de óleo desmoldante, seguido pela aplicação de uma tira plástica. Dessa forma, o concreto não ficou em contato com a superfície metálica do molde, o que possibilitou a retirada as amostras para a realização dos ensaios sem danos aos materiais.

Na execução da mistura, primeiramente foram pesados os agregados miúdo e graúdo, nas proporções previamente calculadas. Em seguida, foram pesadas as duas parcelas componentes da resina vegetal poliuretana, o pré-polímero e o polioli, sendo o primeiro sempre em menor quantidade que o primeiro, devido as características almejadas pelo estudo. Os componentes do traço da mistura encontram-se ilustrados na Figura 1.

Após a pesagem de todos os materiais, primeiramente foram misturadas em recipiente separado, as duas partes da resina, manualmente com o uso de uma espátula metálica durante 3 minutos. Essa combinação foi adicionada aos agregados e todos os componentes misturados, também manualmente, por aproximadamente 3 minutos, ou até que se adquira um composto coeso (Figura 2). Assim, o concreto polímero é aplicado aos moldes metálicos, com a realização de adensamento manual, por meio de leves batidas na lateral e no fundo das formas (Figura 3).

Logo após esse processo, as fôrmas foram tamponadas com peças rosqueáveis, por aproximadamente 24 horas, período necessário observado para a cura do material (Figura 4). O intuito desse procedimento é o de evitar a expansão da resina componente, e a conseqüente segregação da matriz e do reforço do compósito, dado pela separação dos materiais após a moldagem.



Figura 1 – Materiais componentes do traço.

Fonte: Autores, 2019.



Figura 2 – Mistura do concreto polímero.

Fonte: Autores, 2019.



Figura 3 – Moldagem das amostras.

Fonte: Autores, 2019.



Figura 4 – Confinamento do concreto nos moldes para processo de cura.

Fonte: Autores, 2019.

Após a moldagem e decorrida a cura do concreto, as amostras foram retiradas dos moldes e foram executados ensaios de resistência a compressão aos 7 dias, ensaios de absorção de água e ensaios de resistência ao incêndio.

Os ensaios de resistência mecânica à compressão simples foram realizados em prensa hidráulica com velocidade de carregamento controlada, nas quais foi possível obter a tensão de ruptura do compósito.

Para os testes referentes a absorção de água pelo material as amostras foram, primeiramente secas em estufa por um período de aproximadamente 24 horas. Em seguida,

foram submersas em água por um período de tempo equivalente ao anterior, e ao final de cada um desses procedimentos, foi possível determinar as massas seca e saturada, respectivamente. O cálculo de absorção de água se dá de acordo com a Equação 3:

$$\text{Absorção de água} = \frac{\text{Massa seca} - \text{Massa saturada}}{\text{Massa seca}} \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Os ensaios referentes a resistência do compósito a ação do fogo foram executados no Laboratório de Geossintéticos do Departamento de Geotecnia da EESC-USP, de acordo com as diretrizes da UL – 94 (2001).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Observações quanto ao comportamento da poliuretana vegetal

Como já mencionado anteriormente, quando misturada com os agregados estudados, se existir uma concentração elevada de materiais finos, forma-se uma película superficial que impede que os produtos de reação sejam liberados no ambiente, promovendo assim, a expansão da resina.

Durante o desenvolvimento do estudo, foi analisado o comportamento da resina frente aos finos separando, por meio do uso do peneirador elétrico, as frações de agregado que não são retidas na peneira de malha 0,3 mm. Para avaliação desses parâmetros foram manualmente misturadas essas frações separadas dos finos com pequenas quantidades da resina poliuretana, sendo marcadas visualmente sua expansão, como ilustrado na Figura 5, em que a substância estava em contato com a porção fina presente no pedrisco.



Figura 5 – Demonstração da expansão da resina.

Fonte: Autores, 2019.

Esse resultado motivou as alterações já descritas na metodologia, no traço base pensado inicialmente, bem como a alteração da matriz que será utilizada na continuidade da pesquisa, da qual será abolida a utilização de areia média, sendo colocado somente o pedrisco (sem sua fração granulométrica fina) e a resina poliuretana vegetal.

4.2 Ensaio de resistência a compressão

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados aos sete dias de idade, com base nas orientações prescritas nas normas para concretos convencionais. Foram ensaiados três amostras para cada traço definido, como ilustrado na Figura 6.



Figura 6 – Demonstração do ensaio de compressão simples.

Fonte: Autores, 2019.

Os resultados médios obtidos para os ensaios de resistência à compressão simples estão indicados da na Tabela 6.

Resistência a compressão média	
Traço 1 (MPa)	3,00
Traço 2 (MPa)	6,60
Traço 3 (MPa)	7,13

Tabela 6 – Resistência a compressão simples dos traços estudados.

Os valores medidos demonstram uma forte relação entre a expansão do composto e sua resistência mecânica à compressão já que os traços com menores teores da poliuretana apresentaram uma resistência bastante superior. Isso se dá devido à alta concentração de vazios promovida pelo processo expansivo, que atuou de forma bem menos significativa

nos traços 2 e 3, desenvolvidos nessa pesquisa

4.3 Ensaios de absorção de água

Os dados coletados e os resultados referentes a absorção média de água pelo concreto polímero estão indicados na Tabela 7, para cada um dos traços executados.

Dados	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Massa seca (g)	311,00	311,00	311,00
Massa saturada (g)	312,80	312,80	312,80
Absorção de água (%)	0,60	0,60	0,60

Tabela 7 – Valores médios para absorção de água.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios é possível notar que o compósito em estudo é um material de baixa absorção de água, com valores medidos menores que 1%. É possível notar também o efeito do teor de resina contido em cada um dos traços, já que as misturas em que foram empregadas menores quantidades, incorporam valores maiores de água por absorção, o que consequentemente implica que quanto maior o teor de resina, menor a permeabilidade da composição.

4.4 Ensaios de resistência ao incêndio

Com relação ao ensaio de resistência ao fogo, quando executado de acordo com a norma UL - 94 (2001), o material ensaiado apresentou-se autoextinguível e que não propaga chamas.

5 | CONCLUSÃO

É notória, como já explicitado anteriormente, a relevância de estudos como o apresentado nessa pesquisa, para o desenvolvimento cada vez mais sustentável nas tecnologias empregadas na construção civil. Os resultados expressos demonstram a possibilidade de aplicação desse compósito, com diversas vantagens do ponto de vista ambiental com a substituição do cimento Portland por um aglomerante de origem renovável. Com relação aos dados apresentados, percebe-se que a aplicação da poliuretana vegetal requer análises bastante sensíveis a respeito do seu comportamento no concreto, e que sua dosagem interfere diretamente nas respostas físicas e mecânicas do composto.

O material desenvolvido apresentou propriedades mecânicas e físicas satisfatórias quando comparadas entre si. A não variabilidade de valores nos ensaios de propriedades físicas é explicada pelo fato da resina vegetal poliuretana permitir no máximo tais taxas de absorção de água. Além disso, o comportamento de resistência ao incêndio, por tratar de um material autoextinguível, pode ser indicado para o setor da construção civil. O fato do

material ser considerado autoextinguível também é explicado pelo fato da resina vegetal poliuretana apresentar teores de retardância de chamas.

REFERÊNCIAS

Agopyan , Vahan. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “NBR NM 248: Agregados - **Determinação da composição granulométrica.**” Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “NBR NM 45: Agregados - **Determinação da massa unitária e do volume de vazios.**” Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “NBR NM 52: Agregado miúdo - **Determinação da massa específica e massa específica aparente.**” Rio de Janeiro, 2009.

Baldan, V. J. S. “**Desenvolvimento e caracterização de placas poliméricas produzidas a partir da reciclagem do resíduo industrial de poliuretana termofixa.**” Dissertação (Mestrado), Instituto de Arquitetura e Urbanismo , Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015.

Isaia, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

Lima, C. R. B. “**Revestimentos hidráulicos – entre arte e tecnologia: passado, presente e novas possibilidades.**” Dissertação (Mestrado), Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015.

Moura, W. M. “**Britador de resíduos sólidos da construção civil: projeto de equipamento móvel de pequeno porte.**” Dissertação (Mestrado), Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015.

Pablos, J. M. “**Estudo para reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, para aplicação no setor da construção civil.**” Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008.

UL – 94: “**Test for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances**”, Underwriters Laboratories, Northbrook (2001).

Zago, M. S. A. “**Estudo para reutilização das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em matrizes cimentícias visando aplicação na construção civil.**” Dissertação (Mestrado), Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2018.

SOBRE O ORGANIZADOR

CARLOS AUGUSTO ZILLI - Possui graduação em Engenharia Civil e Matemática pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2015 e 2005). É doutorando em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2021) e mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2020). Possui especialização em Avaliação de Imóveis e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós-Graduação - FAPAN (2018), em Gestão de Obras e Projetos pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2017), e em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário de Capivari - FUCAP (2016). É docente no Instituto Federal de Educação de Santa Catarina (IFSC) - Campus São Carlos. Possui experiência na área de Matemática, com ênfase em Educação Matemática e em Engenharia de Avaliações e Perícias, com ênfase em Inferência Estatística. Tem interesse em temas relacionados à Ciência de Dados, Engenharia de Avaliações e Planta de Valores Genéricos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adições minerais 123, 124, 169, 171, 173, 174, 175, 184, 185, 187
Aditivo natural 189, 191
Agregado miúdo 109, 117, 118, 119, 137, 138, 142, 149, 170, 223, 224, 225, 226, 227, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 240, 251
Agregado reativo 169, 173, 185
Algoritmo genético 1, 5
Análise estrutural avançada 43, 44, 45, 48, 49, 60
Argamassa ecológica 237

C

Cinzas de olaria 138
Cisalhamento 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 92, 150, 201, 202, 203, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 221, 233
Concreto 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 41, 42, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 77, 78, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 136, 138, 139, 140, 143, 146, 147, 148, 149, 153, 162, 163, 164, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 180, 184, 185, 186, 187, 190, 194, 199, 200, 201, 202, 203, 206, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 217, 218, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 251, 253, 254, 255, 256, 257, 260, 262, 266, 267, 268, 269, 270, 271
Concreto armado 1, 3, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 41, 42, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 74, 75, 77, 78, 88, 170, 201, 202, 203, 206, 209, 210, 212, 213, 216, 217, 218, 220, 221, 253, 254, 268, 270, 271
Concreto leve 162, 163
Concreto permeável 162
Confiabilidade estrutural 43, 44, 45, 51, 52, 53, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 270
Construção civil 1, 3, 67, 107, 109, 125, 126, 127, 136, 137, 138, 139, 140, 149, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 167, 170, 189, 191, 202, 205, 223, 224, 225, 226, 234, 235, 237, 239, 244, 251, 252, 254

D

Dimensionamento 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 36, 41, 64, 65, 69, 74, 77, 78, 210, 211

E

Edificações sustentáveis 152

Engenharia de materiais 137, 152, 189, 235

Engenharia estrutural 2, 79, 80, 82, 83, 91, 92

F

Filler 138, 139, 142

I

Incêndio 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 130, 133, 136

Inteligência artificial 253, 268

L

Lajes 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 18, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 65, 67, 84, 87, 93, 206, 244, 245

Lajes lisas 28, 29, 30, 31, 40, 41, 42

Lajes nervuradas 1, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 65

Ligações semirrígidas 43, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62

M

Materiais de construção civil 137, 237

Material compósito 201, 203, 204, 215

Matéria-prima 152, 153, 154, 155, 162, 190, 224, 225, 238, 239

Método de Hertz 16, 18, 19

O

Opuntia ficus-indica 189, 190, 191

Otimização 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 46, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 75, 76, 77, 189

Otimização estrutural 1, 5

Otimização por enxame de partículas 64, 65, 66, 70, 77

P

Patologia 93, 109, 169, 170, 268

Piso misto de pequena altura 79, 80, 83, 89, 90, 92

Pó de balão 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252

Polímero 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 136, 194, 195, 209, 217, 221

Polistireno expansível 162

Pórticos planos 43, 48, 49, 61

Pós-tensionado 93

Propriedades mecânicas e físicas 125, 127, 136

Punção 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42

R

RAA 108, 109, 110, 119, 123, 169, 171, 172, 173, 175, 176, 184, 185, 187

Reciclagem 137, 155, 159, 160, 163, 223, 224, 225, 234, 235, 236, 251

Reforço 86, 93, 123, 131, 167, 187, 201, 202, 203, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 220, 221

Resíduos da siderurgia 237

Resíduos sólidos 126, 137, 162, 163, 224, 238

Resina poliuretana vegetal 125, 127, 135

S

Simulação numérica 79, 80, 81, 83, 85, 87, 91, 92

Spray drying 189, 190, 191

Sustentabilidade 125, 126, 127, 137, 139, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 224, 235, 252

V

Vidro 161, 201, 209, 213, 223, 224, 225, 226, 227, 229, 231, 232, 233, 234, 235, 236

Vigas de concreto armado 15, 16, 26, 64, 65, 66, 74, 78, 201, 206, 216, 218, 221

Vigas T 64, 210


COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



 **Atena**
Editora

Ano 2021

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora
Ano 2021