

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 Federaci 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 Pietrobom – 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
Jaciera 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

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

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 04/06/2021

Diogo Raniere Ramos e Silva

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC)

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/2473339869472489>

Maria de Lourdes Teixeira Moreira

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI)

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/1178823116168764>

RESUMO: O processo de criação de medidas de segurança contra incêndio deve-se à ocorrência de grandes catástrofes que levaram à perda de vidas e de bens. No Brasil pode-se destacar os incêndios nos edifícios Joelma e Andraus, cujos sinistros motivaram a criação de vários métodos de prevenção e combate a incêndio, que são subdivididos em métodos de proteção passiva e ativa. Esse trabalho apresenta um estudo de caso a respeito da NBR 15200: 2012, que trata de verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio, subdividindo os métodos em três categorias: tabulares, simplificados e avançados. O presente trabalho compara a metodologia tabular e simplificada, quando aplicadas em vigas. O método simplificado utilizado no trabalho foi o processo simplificado de HERTZ especificado no EUROCODE 2, parte 1-2. Na metodologia foi utilizada como ferramenta de dimensionamento à temperatura ambiente o software Eberick. Já para verificação ao incêndio, segundo o método

tabular, foram utilizadas tabelas da ABNT NBR 15200 e para o método de HERTZ (método das zonas) foi seguido o procedimento de cálculo previsto em normas Europeias, EUROCODE 2 parte 1-2.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto armado, incêndio, método de hertz.

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN FIRE SITUATION ACCORDING TO TABULATED DATA AND ZONE METHODS

ABSTRACT: The process of creating fire safety procedures is due to the occurrence of major catastrophes that have caused loss of lives and property. In Brazil, it is possible to highlight fires in Joelma and Andraus buildings. These accidents led to the creation of several methods of fire prevention and fire fighting, which are subdivided into methods of passive and active protection. This work presents a study case regarding NBR 15200: 2012, which deals with verification of concrete structures in a fire situation, subdividing the methods into three categories: tabulated, simplified and advanced. The present work compares the simplified and tabulated data methods, when applied in beams. The simplified method used in the work was the simplified HERTZ process, specified in EUROCODE 2, part 1-2. In the methodology, the Eberick software was used as a tool for design at normal temperature condition. Fire design verification was performed based on two methods: tabulated data and Hertz method, the first one is a few tables from ABNT NBR 15200 which shows minimum thickness that should be used, and the HERTZ method (zone

method) was based on European standards, EUROCODE 2 part 1-2 procedures.

KEYWORDS: Reinforced concrete, fire, Hertz method.

1 | INTRODUÇÃO

O processo de criação de medidas de segurança contra incêndio deve-se à ocorrência de grandes catástrofes que levaram à perda de vidas e de bens. Atualmente os grandes incêndios estão mais restritos às grandes edificações, podendo ser citados os incêndios do edifício Joelma, do Wilton Paes de Almeida, entre outros. Estes incidentes incentivaram pesquisas nesta área e hoje se tem um vasto conhecimento sobre precauções a serem tomadas a respeito de prevenção de incêndios. Vale ressaltar que embora já se tenha uma boa compreensão a respeito do assunto, este ainda é um campo a ser explorado e existe muito ainda a ser aprendido (SILVA. 2012).

O conhecimento adquirido pelas análises de incêndios passados e realização de novas pesquisas está refletido na criação de códigos de segurança contra incêndios que objetivam assegurar a redução da perda de bens e ao risco à vida. Esses códigos de segurança visam a definição de sistemas de prevenção de incêndios que são baseados na definição de proteção ativa e passiva. Segundo a ABNT NBR 14432:2001 a proteção ativa é definida como: “Tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio” e de acordo com a mesma NBR proteção passiva é: “Conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício [...] que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários [...]” (ABNT NBR 14432, 2001. p. 3).

Considerando-se a importância da segurança em edificações, faz-se necessário aos engenheiros conhecerem a maioria das medidas que podem ser tomadas para preservar a vida e bens, destacando-se entre elas a verificação dos sistemas de proteção passiva. Portanto este trabalho objetiva comparar dois dos métodos que podem ser usados por engenheiros para a verificação do risco ao incêndio a respeito da segurança estrutural de edifícios construídos em concreto armado.

No Brasil a adoção de códigos no sentido de garantir segurança estrutural frente a incêndios acidentais é relativamente recente. Em 2004 surgiu a primeira norma referente a proteção passiva para concreto armado, essa norma foi atualizada em 2012 e permite três níveis de soluções:

- Nível 1: apresenta dados tabelados com as dimensões mínimas dos elementos estruturais para determinado TRRF, solução de aplicação imediata e de fácil entendimento (COSTA e SILVA, 2007);
- Nível 2: engloba os métodos simplificados de verificação a incêndio, esses pro-

cedimentos realizam a análise por elementos estruturais e não consideram a interação global da estrutura;

- Nível 3: analisa o efeito conjunto de diferentes elementos expostos ao incêndio, geralmente requer mão de obra muito especializada e *softwares* que demandam alto investimento.

O presente trabalho considera o método tabular da NBR 15200: 2012 e o método simplificado das zonas (HERTZ) que é sugerido pelo EUROCODE 2. Esses métodos foram base para a análise de vigas para diferentes tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), sendo que o método tabular faz parte do nível 1 de solução, sendo um procedimento de fácil manuseio e o método de Hertz é um método um pouco mais trabalhoso que o tabular, mas que pode ser utilizado por qualquer engenheiro.

2 | METODOLOGIA

Primeiramente foi necessário dimensionar a estrutura para as condições normais de uso. A estrutura escolhida foi calculada com o auxílio do *software* EBERICK. As premissas adotadas no dimensionamento foram: Concreto armado com f_{ck} de 25 MPa, módulo de elasticidade do concreto igual a 23800 MPa, peso específico do concreto de 25 KN/m³, classe de agressividade ambiental II.

A estrutura é constituída por pavimento térreo, 3 pavimentos intermediários e cobertura, a altura do pavimento térreo até a cobertura é de 13.20 metros. A primeira verificação foi realizada com o auxílio de tabelas presentes na NBR 15200: 2012, pelo método chamado de tabular.

O método tabular é o modelo mais simples e de uso mais geral. Ele é caracterizado por apresentar uma sequência de tabelas em que as características geométricas dos elementos mais usuais são organizadas em função do tempo requerido de resistência ao fogo.

O método tabular previsto na norma brasileira é uma adaptação do modelo presente no Eurocode 2 part 1-2, obtido por meio de modelagem numérica e experimentos. Ao adotar o método tabular não será necessária a posterior verificação da estrutura em situação de incêndio, pois esta será garantida pelas dimensões mínimas (COSTA, 2008).

As dimensões mínimas citadas acima são: a largura das vigas, a espessura das lajes, as dimensões das seções transversais de pilares e tirantes e, principalmente, a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo (c_1). Vale ressaltar que essa verificação é realizada apenas para armaduras de flexão e flexo compressão, armaduras longitudinais (ABNT NBR 15200, 2012).

A segunda verificação faz uso de soluções por métodos simplificados. O método utilizado aplica o mesmo procedimento realizado para as situações normais de cálculo,

acrescido de análise termo estrutural para avaliar a perda de resistência mecânica dos elementos, sendo aplicável a estruturas analisadas conforme curvas de incêndio padrão (COSTA, 2008).

O método das zonas consiste na subdivisão da seção de concreto em três ou mais faixas de igual espessura, para cada uma das quais é calculada a temperatura média bem como a correspondente resistência à compressão média, $f_{cd(\theta)}$, e o módulo de elasticidade. Também é necessário desconsiderar uma faixa de espessura a_z , zona danificada (EUROCODE 2, PART 1-2: 2004). Este método considera as perdas de resistência do aço e do concreto de acordo com as equações a seguir:

$$f_{c,\theta} = f_{ck} \times K_c, \theta \quad (1)$$

$$f_{y,\theta} = K_s, \theta \times f_{yk} / \gamma_s \quad (2)$$

Essa verificação foi realizada com base na comparação entre os momentos resistentes e atuantes. O cálculo do momento resistente é baseado no equilíbrio de forças que agem na zona comprimida e tracionada (COSTA & SILVA. 2005). Para obtenção do momento resistente é necessário calcular a profundidade do bloco comprimido de concreto, em seguida pode-se calcular o momento resistente, usa-se a equação 4 para o cálculo do momento positivo e a equação 5 para o cálculo do momento negativo.

$$a_{fi} = \frac{f_{yd,\theta} * A_s}{\alpha_{cc} * f_{cd,\theta M} * b} \quad (3)$$

$$M_r, fi = A_s * f_{yd,\theta} * \left(d - \frac{a_{fi}}{2} \right) \quad (4)$$

$$M_r, fi = A_s * f_{yd} * \left(d - a_z - \frac{a_{fi}}{2} \right) \quad (5)$$

onde “d” é a altura útil, “ a_z ” é a espessura reduzida pelo método de Hertz e $f_{yd,\theta}$ é a resistência característica do aço exposto ao incêndio.

A espessura reduzida foi obtida de acordo com metodologia presente no EUROCODE 2 part 1-2, sendo importante no cálculo do momento resistente de peças submetidas a momento negativo. Para momentos positivos a parte do concreto exposta a altas temperaturas estará tracionada, logo não afetará muito o cálculo do momento resistente (COSTA & SILVA. 2005).

Para verificar se o dimensionamento está correto é necessário verificar se o momento resistente de cálculo é maior que o momento atuante, que será obtido por uma simplificação permitida na norma. Segundo a ABNT NBR 15200: 2012 pode-se considerar que as solicitações de situação de incêndio são iguais a 70% das solicitações à temperatura ambiente.

Necessita-se, também, avaliar o risco de ruptura frágil, o que é feito dividindo-se a altura do bloco de concreto comprimido pela altura útil da seção, valor que não poderá ser

maior que 45% (COSTA, 2008).

3 I ESTUDO DE CASO

Foram selecionadas as vigas do pavimento tipo de uma edificação e supôs-se que elas sofreram a ação de um incêndio acidental, na análise do incêndio foi usada a curva padrão ISO 834 e analisou-se a estrutura para os TRRFs de 30, 60, 90 e 120 minutos.

Analisaram-se os resultados da variação das propriedades mecânicas e o seu reflexo no momento resistente.

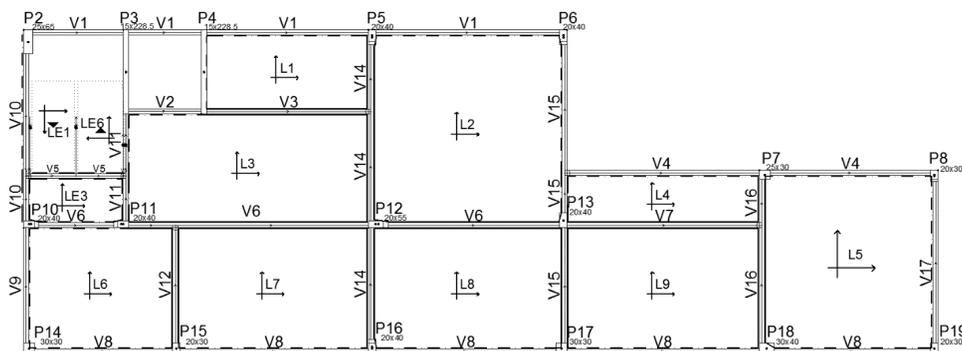


Figura 1 - Planta de fôrma - pavimento tipo.

Destaca-se que algumas vigas não foram verificadas por características do projeto arquitetônico.

4 I RESULTADOS

4.1 Dimensionamento de acordo com o método tabular

A NBR 15200:2012 traz tabelas com as dimensões mínimas para as vigas contínuas e vigas bi apoiadas, as vigas presentes no projeto são de 12 cm e de 14 cm de base, a Tabela 1 mostra os resultados para vigas bi apoiadas.

Método tabular - VIGAS BIAPOIADAS								
TRRF	V2		V3		V7		V9	
	b (cm)	c1 (mm)						
	14.00	38.15	12.00	39.00	14.00	45.00	14.00	39.00
30	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
60	OK	OK	OK	ERRO	OK	OK	OK	OK
90	OK	ERRO	ERRO	ERRO	OK	ERRO	OK	ERRO
120	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO
TRRF	V10		V11		V12		V16	
	b (cm)	c1 (mm)						
	14.00	46.00	14.00	40.00	14.00	39	14.00	43.00
30	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
60	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
90	OK	ERRO	OK	ERRO	OK	ERRO	OK	ERRO
120	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO
TRRF	V17		V18		V19		V20	
	b (cm)	c1 (mm)						
	14.00	41.25	12.00	38.15	12.00	39.00	12.00	39.00
30	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
60	OK	OK	OK	ERRO	OK	ERRO	OK	ERRO
90	OK	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO
120	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO
Nota1: "OK" significa que o elemento estrutural está de acordo com o método tabular								
Nota2: "ERRO" significa que o elemento estrutural não está de acordo com o método tabular								

Tabela 1– Vigas Bi apoiadas (pavimentos intermediários).

Método tabular - VIGAS CONTÍNUAS						
TRRF	V1		V4		V6	
	b (cm)	c1 (mm)	b (cm)	c1 (mm)	b (cm)	c1 (mm)
	14.00	44.73	14.00	39.00	14.00	39.00
30	OK	OK	OK	OK	OK	OK
60	OK	OK	OK	OK	OK	OK
90	OK	OK	OK	OK	OK	OK
120	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO
TRRF	V8		V14		V15	
	b (cm)	c1 (mm)	b (cm)	c1 (mm)	b (cm)	c1 (mm)
	14.00	44.73	14.00	44.73	14.00	40.00
30	OK	OK	OK	OK	OK	OK
60	OK	OK	OK	OK	OK	OK
90	OK	OK	OK	OK	OK	OK
120	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO	ERRO

Nota1: "OK" significa que o elemento estrutural está de acordo com o método tabular

Nota2: "ERRO" significa que o elemento estrutural não está de acordo com o método tabular.

Tabela 2- Vigas contínuas (pavimentos intermediários).

Pelo método tabular observou-se que o risco de ruptura presente nas Tabelas 1 e 2 é maior para vigas bi apoiadas, pois, elas precisam da formação de apenas uma rótula plástica para romper, já as vigas contínuas apresentam comportamento hiperestático e precisam da formação de mais rótulas plásticas para romperem (ALBUQUERQUE, 2012).

4.2 Dimensionamento de acordo com o método das zonas

4.2.1 Momento positivo

No cálculo de vigas contínuas, os diferentes trechos foram levados em consideração, ou seja, para uma mesma viga foi verificado o trecho mais solicitado, assim como os trechos que apresentaram taxa de armação diferente. Mas para vigas contínuas com a mesma taxa de armação só foi verificado o trecho mais solicitado. Os resultados foram obtidos empregando-se as equações do item 2, sendo as equações 1 e 2 usadas na obtenção do valor da resistência em situação de incêndio; calculou-se, também, a profundidade do bloco comprimido de concreto pela equação 3 do item 2, finalmente, usou-se a equação 4 para o cálculo do momento positivo, conforme mostrado nas Figuras 2 e 3.

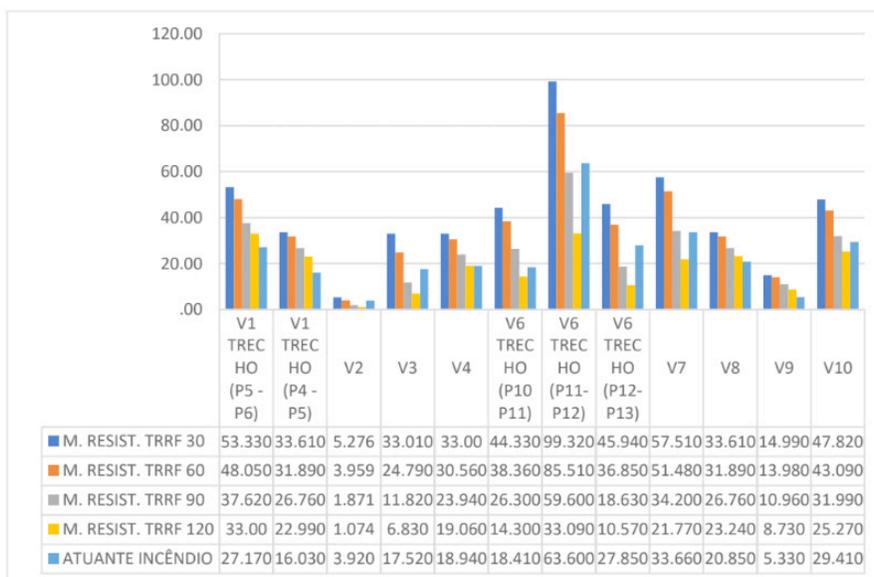


Figura 2 - Momento positivo de vigas em kN.m (V1 a V10).

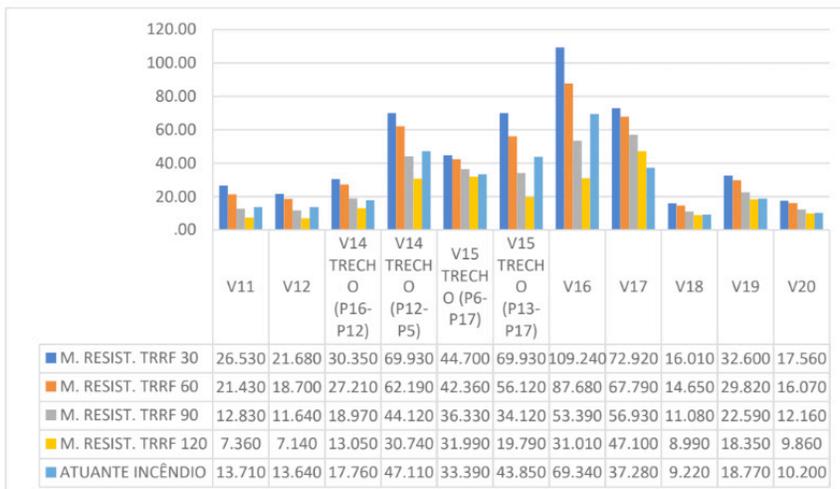


Figura 3 - Momento positivo de vigas em kN.m (V11 a V20).

Os momentos positivos das vigas não sofreram diretamente efeitos devidos à zona danificada, pois nas regiões submetidas a momentos positivos o concreto estará tracionado. Quando o concreto está tracionado, a partir do estágio de deformação II, ele não é levado em consideração para o cálculo do momento resistente. Entretanto algumas vigas apresentaram a situação de ERRO para o TRRF de 90, pois, o momento atuante foi maior que o resistente, como é o caso das Vigas V2, V3, V6, V11, V12, V14, V15 e V16.

4.2.2 Momento negativo

As vigas são dimensionadas em situação de incêndio apenas para o estado limite último, esse dimensionamento é realizado com base na ideia de que os esforços resistentes devem ser superiores aos atuantes. Os resultados foram obtidos empregando-se as equações do item 2, sendo as equações 1 e 2 usadas na obtenção do valor da resistência em situação de incêndio. Calculou-se, também, a profundidade do bloco comprimido de concreto pela equação 3 do item 2, finalmente, usou-se a equação 5 para o cálculo do momento negativo. Os resultados obtidos são mostrados nas Figuras 4, 5 e 6.

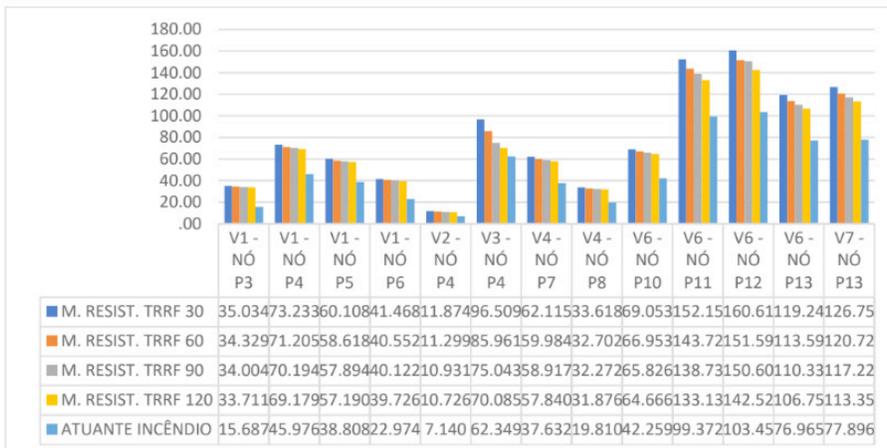


Figura 4 - Momento negativo em kN.m - vigas V1 a V7.



Figura 5 - Momento Negativo em kN.m – vigas V8 a V14.

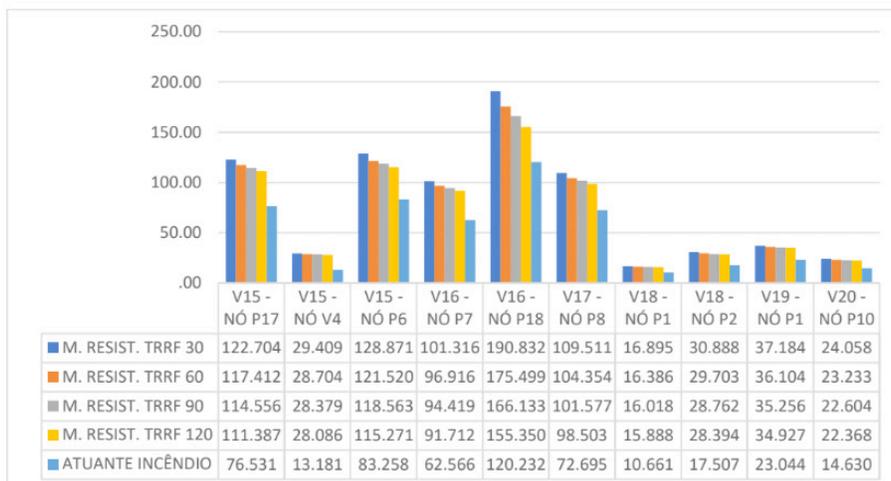


Figura 6 - Momento Negativo em kN.m - vigas V15 a V20).

Observou-se que as vigas não apresentaram situação de erro para as regiões

sujeitas a momento negativo, pois, a armadura por situar-se na parte superior da viga, não perderá propriedades mecânicas, o decréscimo de resistência do concreto é relativamente pequeno, pois, considerou-se como referência a resistência referente ao ponto P, ponto médio da seção. A diminuição da seção decorrente da zona danificada é relativamente baixa quando comparada com as lajes, pois as vigas apresentam altura de no mínimo 30 cm, enquanto as lajes, em média apresentam altura de 10 cm.

4.2.3 Risco de ruptura frágil

Foi observado risco de ruptura frágil para as vigas V3, V6 (NÓ P11 e P12), V7 (NÓ P13), V11 (NÓ P3), V12 (NÓ P5), V14 (NÓ P5), V15 (NÓ P17 e 16), V16 (NÓ P18) e V17 (NÓ P8).

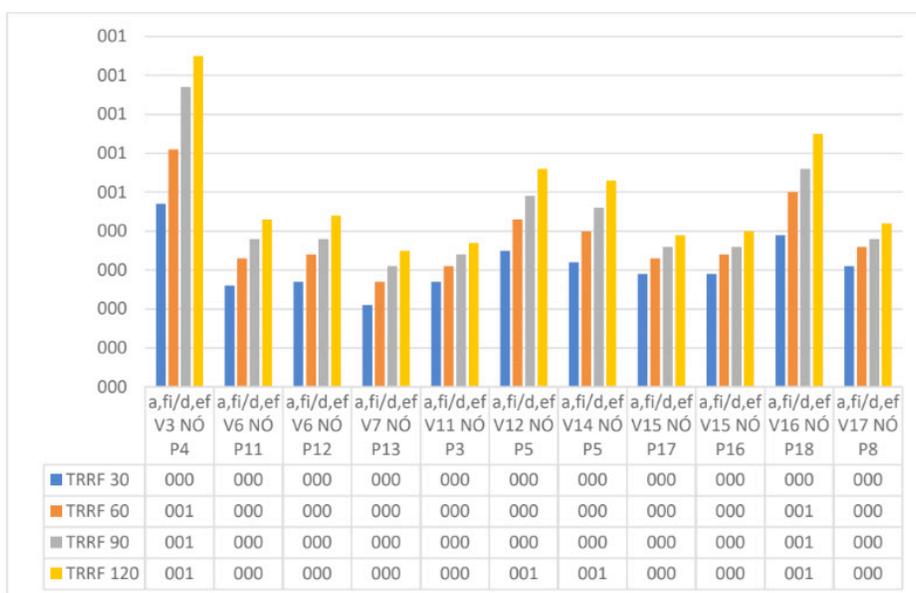


Figura 7 – Risco de ruptura frágil.

5 | CONCLUSÕES

O método tabular para as vigas mostrou-se bastante conservador frente ao método das zonas, principalmente com relação às vigas bi apoiadas. A maioria das vigas do projeto tem base igual a 14 cm, segundo o método tabular vigas de 14 cm devem ter c1 no mínimo igual a 6 cm para suportar 90 minutos de incêndio, por isso as vigas de 14 cm só são capazes de suportar até 60 minutos de incêndio. O caso crítico encontra-se na viga V3 que tem base igual a 12 cm e c1 igual a 3.9 cm, essa geometria faz com que a viga só seja capaz de suportar 30 minutos de incêndio. As vigas contínuas apresentam valores de base mínima e c1 menos rigorosos e por isso, segundo este método são capazes de suportar

até 90 minutos de incêndio.

Em vigas o método das zonas mostrou que a ruptura irá ocorrer provavelmente devido ao escoamento da armadura positiva. Isso é verificado comparando o momento atuante com o resistente. Realizando-se essa comparação observa-se que algumas vigas apresentam ruptura local para os TRRF de 90 e 120.

As regiões que sofrem ação de momento negativo não apresentaram ruptura para nenhuma viga, isso demonstra que dificilmente a ruptura irá ocorrer por esmagamento do concreto. No entanto, a partir das análises realizadas, infere-se que algumas vigas dos pavimentos intermediários apresentaram o risco de ruptura frágil, ou seja, não darão avisos caso venha a ocorrer a ruptura.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, G. B. M.L. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio** 2012. 231 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Ashley, Erin. **Fire Resistance of Concrete Structures**. Tech talk journal, USA, p. 67-70, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - procedimento**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2012.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. 401 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

COSTA, C. N. **Estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2002. 241 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais**. V Simpósio Epusp sobre estruturas de concreto. 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1991-2-2: **Eurocode 1: actions on structures - part 1.2: general actions - actions on structures exposed to fire**. Brussels: CEN, 2002. 59 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1992-1-2: **Eurocode 2: design of concrete structures - part 1.2: general rules - structural fire design**. Brussel: CEN, 2004. 97 p.

FERNANDES, M. C. V. **Verificação da resistência ao fogo de estruturas de betão com base nos métodos simplificados do EC2 – parte 1-2**. 2008. 102 p. Relatório (Mestrado) –Faculdade de engenharia Universidade do Porto, Porto, 2008.

LENNON, T. et al. **Designer's guide to EN 1991-1-2, 1992-1-2, 1993-1-2 and 1994-1-2**. Londres: Thomas Telford Publishing, 2007.

PHAN, Long T.; MCALLISTER, Therese P.; GROSS, John L.; HURLEY, Morgan J. **Best practice guidelines for structural fire resistance design of concrete and steel buildings**. 2010.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica n. 08/2004: Segurança estrutural nas edificações: resistência ao fogo dos elementos de construção**. São Paulo, 2004. 14 p.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. v. 1. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2012.

SILVA, Valdir Pignatta. **Dimensionamento de pilares de concreto armado em situação de incêndio, uma alternativa ao método tabular da NBR 15200: 2004**. Anais do 49º congresso brasileiro de concreto. 2007.

Taerwe, L.R. **Fire Design of Concrete Structures According to the Eurocodes: A Review**. American concrete institute journal, USA, V.255, p. 75-96, 2008.

WIT, A. **Behaviour and structural design of concrete structures exposed to fire**. 2011. 125 p. Thesis (Master of Science) - Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2011.

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