

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 2



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 2



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 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 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
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 2 /
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 978-65-5983-303-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.030211407>

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 segundo volume, apresenta 19 capítulos que abordam pesquisas relevantes sobre os desafios enfrentados pela engenharia civil mundo afora, tais como: Enchentes e Ocupações Irregulares, Planejamento Urbano, Manifestações Patológicas em Edificações, Retrofit e Adequação Estrutural, Escolha de Estruturas de Fundação e uso de Tecnologia BIM.

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 ao planejamento urbano, manifestações patológicas, tecnologia BIM, ou desenvolvimento da tecnologia *expander body*, por exemplo.

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

ENCHENTES E OCUPAÇÕES IRREGULARES COMO DESAFIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO EM MARABÁ (PA): DELINEAMENTO DE ÁREAS ABAIXO DA COTA SEGUNDO O PLANO DIRETOR


Michael Vinícius Pontes Nunes
Flaviany Luise Nogueira de Sousa
Tháís Carolayne Bastos Rodrigues
Nuria Pérez Gallardo
Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira
Alan Monteiro Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114071>

CAPÍTULO 2..... 23

URBANIZAÇÃO DE ENCOSTAS – ESTRATÉGIAS PARA OCUPAÇÃO E CONTENÇÃO


Henrique Dinis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114072>

CAPÍTULO 3..... 32

ESTUDO DAS CAUSAS E ORIGENS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRA PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR


Gladis Cristina Furlan
Neusa Eliana Figur
Elmagno Catarino Santos Silva
Calil Abumanssur
Silvana da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114073>

CAPÍTULO 4..... 46

APLICAÇÃO DO MÉTODO SCS PARA SUPORTE AO PLANEJAMENTO URBANO

Wanderson Ferreira dos Santos
Ed Carlo Rosa Paiva
Juliana Alves de Jesus Iraçabal
Bruna Gôbbo de Águas
Thaynara de Almeida Corrêa Silva
Lariane Fernanda de Deus Faria

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114074>

CAPÍTULO 5..... 68

PRAÇAS URBANAS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DE MERITI: UMA ANÁLISE DA MANUTENÇÃO DAS PRAÇAS


Aline da Silva de Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114075>

CAPÍTULO 6..... 80

UTILIZAÇÃO DA FIBRA DO AÇÁI NA COMPOSIÇÃO DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS PARA PASSEIO PÚBLICO NA CIDADE DE SANTARÉM-PA


Fernanda Camila Ramos Rodrigues
Liandra Caroline Avelino Rego
Marlon David Almeida da Silva
Suene Riley Guimarães da Silva
Sérgio Gouvêa de Melo
Hugo Ricardo Aquino Sousa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114076>

CAPÍTULO 7..... 94

RETROFIT E ADEQUAÇÃO ESTRUTURAL PARA MUDANÇA DE USO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA COMERCIAL

Daniel de Oliveira Pereira
Elizabeth Montefusco Lopes
Guilherme Guelfi Binati
Lucas Gonçalves de Oliveira
Sthefanie Busch Andres Montes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114077>

CAPÍTULO 8..... 107

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE MISTURAS RAP E SOLO PARA APLICAÇÃO EM VIAS VICINAIS


Adriely Maria Sandi
Gislaine Luvizão
Fabiano Alexandre Nienov

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114078>

CAPÍTULO 9..... 123

EVOLUÇÃO NORMATIVA BRASILEIRA SOBRE SISTEMAS PREDIAIS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Luciano Zanella
Wolney Castilho Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0302114079>

CAPÍTULO 10..... 133

FUNDAÇÕES MAIS USUAIS DE AEROGERADOR: ESCOLHA EM FUNÇÃO DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA, PROCESSO EMPÍRICO

Adriana Dominique da Costa Rocha de Sá
Giovanni Maciel de Araújo Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140710>

CAPÍTULO 11..... 151

O USO DA PLATAFORMA BIM PARA OTIMIZAÇÃO DAS OBRAS PÚBLICAS: UMA ANÁLISE DO MODELO DIGITAL E OS RESULTADOS ESPERADOS PELA ESTRATÉGIA

BIM BR


Michely Cristina Melo Kretschmer
Paulo Roberto Nascimento de Góes
Peter Ruiz Paredes
André Luís Oliveira Gadelha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140711>

CAPÍTULO 12..... 165

A TECNOLOGIA BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL


Ana Carolina Martins de Pádua
Pedro Lucio Bonifacio
Darlan Einstein do Livramento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140712>

CAPÍTULO 13..... 173

PLANOS DE CONTINGÊNCIA PARA SITUAÇÕES EMERGENCIAIS EM BARRAGENS


Rafaela Baldi Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140713>

CAPÍTULO 14..... 179

REDUÇÃO DA AMPLITUDE TÉRMICA POR MEIO DE TECNOLOGIA VERDE: ESTUDO DE CASO NO INVERNO DE SÃO CARLOS-SP, BRASIL


Nuria Pérez Gallardo
Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira
Alan Monteiro Borges
Flaviany Luise Nogueira de Sousa
Stéfane Mireles da Silva Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140714>

CAPÍTULO 15..... 190

ANÁLISE DO FENÔMENO DE *FLUTTER* EM UMA AERONAVE NÃO TRIPULADA


Robert Davis Cavalcanti Barros
Francisco Gilfran Alves Milfont

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140715>

CAPÍTULO 16..... 197

COMPARAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS TABULAR E GRÁFICO NA DETERMINAÇÃO DO TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM VIGAS CONTÍNUAS

Jefferson Milton Muller Martins
Elie Chahdan Mounzer


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140716>

CAPÍTULO 17..... 215

COMER; BEBER E REZAR: UMA CIDADE DE 15 MINUTOS AMAZÔNICA

Arthur Gabriel Lopes Leal


Romerito Rodrigues Vieira
Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140717>

CAPÍTULO 18.....223

OSMOSE INVERSA UTILIZADA NA REMOÇÃO DE FLUOXETINA DE ÁGUA DE SOLUÇÕES MODELO


Talita Dalbosco
Gabriel Capellari Santos
Vandré Barbosa Brião
Nelson Miguel Grubel Bandeira
Aline Manfroi Soster

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140718>

CAPÍTULO 19.....228

O AVANÇO DA TECNOLOGIA *EXPANDER BODY* NO BRASIL

Carlos Medeiros Silva
Fernando Feitosa Monteiro
Renato Pinto da Cunha
Yago Machado Pereira de Matos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03021140719>

SOBRE O ORGANIZADOR.....238

ÍNDICE REMISSIVO.....239

CAPÍTULO 16

COMPARAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS TABULAR E GRÁFICO NA DETERMINAÇÃO DO TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM VIGAS CONTÍNUAS

Data de aceite: 01/07/2021

Jefferson Milton Muller Martins

Mestrando em Engenharia Civil Universidade Federal Fluminense Niterói, Brasil

Elie Chahdan Mounzer

Professor Adjunto, Universidade Federal Fluminense Niterói, Brasil

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo cujo objetivo é comparar a eficiência dos métodos tabular e gráfico na determinação do tempo de resistência ao fogo (TRRF). A NBR 15200:2012, para a aplicação do método tabular apresenta tabelas que relacionam dimensões mínimas em função do TRRF e do tipo de elemento estrutural. Uma alternativa para o dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio ao método tabular é o método gráfico que consiste na aplicação de gráficos que permitam a obtenção do TRRF após obter o parâmetro conhecido como momento relativo (μ_r) e a disposição das armaduras na seção. Este trabalho tem como finalidade comparar essas metodologias de cálculo, por isso as vigas foram divididas em grupos conforme as condições de apoio, o comprimento do vão, a largura da seção e o valor do carregamento. A partir dos resultados encontrados, conclui-se que para as vigas contínuas, o método tabular apresentou valores de TRRF mais elevados na maioria dos casos, com exceção de carregamentos menores.

PALAVRAS-CHAVE: Método Gráfico, Método Tabular, TRRF, Incêndio.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material largamente aplicado na construção civil, em função de características favoráveis como elevada durabilidade, ser moldável e permitir o monolitismo das construções. Além disso, o concreto endurecido é incombustível, não emite gases tóxicos, apresenta baixa condutividade térmica e elevada massividade à temperatura ambiente (quando comparados aos metais). Devido à estas propriedades, o concreto apresenta uma boa resistência ao fogo. Entretanto, o concreto armado possui características negativas e os danos causados em função de um incêndio podem ir desde uma descoloração ou manchas produzidas por fumaças até a destruição do elemento estrutural como consequência da perda da resistência mecânica. A estrutura heterogênea e complexa dificulta o estabelecimento de modelos precisos que determinem com segurança o comportamento de estruturas em concreto armado sujeitas a um incêndio em diversas situações. O incêndio é um evento considerado com baixa probabilidade de ocorrência. Em outros países, como os Estados Unidos, até o final do século XIX não havia o registro de incêndios com acentuada quantidade de vítimas fatais, por isso, a segurança contra o fogo tinha por ênfase a proteção ao patrimônio.



Figura 1 – *Triangle Shirtwaist Factory*.

No início do século XX ocorreram alguns incêndios entre os quais o incêndio da fábrica da Triangle Shirtwaist. O fogo na Triangle Shirtwaist provocou a morte de 146 pessoas, em maioria jovens mulheres imigrantes.

Os primeiros regulamentos sobre segurança contra incêndio no Brasil surgiram somente em meados de 1975, após a ocorrência dos incêndios dos edifícios Joelma e Andraus, em São Paulo (Figura 2). A partir de então a legislação vem sendo constantemente modernizada, exigindo, a adoção de medidas como a compartimentação horizontal e vertical em projetos de edifícios altos. Assim, são utilizados dispositivos, como portas corta-fogo, no interior dos edifícios, e peitoris e marquises nas fachadas. Com isso, em uma eventual situação de incêndio, é possível impedir que o fogo, iniciado em um determinado andar, se alastre para os demais.



Figura 2 – Incêndio no edifício Andraus.

2 | MÉTODO DE PESQUISA

2.1 Determinação do Tempo de Resistência ao Fogo

O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) pode ser determinado através de algumas metodologias de cálculo. Entre as alternativas disponíveis estão o método tabular e o método gráfico. Este artigo propõe uma comparação entre os métodos como objetivo de verificar a eficiência de cada método na determinação do TRRF. Para realizar essas comparações as vigas biapoiadas foram divididas em grupos o valor característico do carregamento uniformemente distribuído das vigas p_k varia entre 10 e 100 kN/m), o comprimento do vão e a seção transversal (somente foram consideradas seções T). Assim, com esses resultados encontrados é possível comparar a eficiência de cada método.

2.2 O Tempo de Resistência ao Fogo pelo Método Gráfico

No método gráfico o tempo requerido de resistência ao fogo é determinado em função de um parâmetro conhecido como momento relativo μ_r e da disposição das armaduras na seção transversal. Assim, para obter o TRRF a partir da aplicação do método gráfico é necessário cumprir cinco etapas:

1. dimensiona-se a peça para a condição da temperatura ambiente (Figura 3).
2. a partir da área de aço encontrada no item anterior, determina-se o momento fletor resistente positivo à temperatura ambiente. Esse momento fletor resistente é determinado através do equilíbrio de forças na seção transversal. Neste artigo as vigas analisadas apresentam somente seção T, por isso, é necessário determinar

a altura do bloco de concreto comprimido y . Para as peças que apresentam armadura positiva, se y for menor que a espessura da laje, a seção apresenta um comportamento como se fosse seção retangular, uma vez que há uma seção retangular de concreto trabalhando à compressão. Entretanto, se y cortar a largura da viga, esta seção deve ser calculada como seção T.

$$F_{sd,fi} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{s,fi}} \cdot \sum_{j=1}^n k_{s,\theta i} \cdot A_{si} \quad (1)$$

onde

$F_{sd,fi}$ – força resultante de cálculo na armadura em incêndio;

f_{yk} – resistência característica à tração do aço;

$\gamma_{s,fi}$ – coeficiente de ponderação da resistência do aço; $k_{s,\theta}$ – fator de redução de resistência, à temperatura θ , da barra de aço;

$k_{s,\theta}$ – fator de redução de resistência, à temperatura θ , da barra de aço;

A_{si} – área da barra de aço.

$$F_{cd,fi} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}} \cdot \sum_{j=1}^{m_{fi}} k_{c,\theta i} \cdot A_{cj} \quad (2)$$

onde

$F_{cd,fi}$ – força resultante de cálculo na área de concreto;

f_{ck} – resistência característica à compressão do concreto;

$\gamma_{c,fi}$ – coeficiente de ponderação da resistência do concreto em incêndio;

$k_{c,\theta}$ – fator de redução de resistência, à temperatura θ , do elemento finito comprimido j ;

A_{cj} – área do elemento finito comprimido j .

$$F_{sd,fi} = F_{cd,fi} \quad (3)$$

$$M_{Rd,fi} = 0,85 \cdot F_{cd} \cdot z_{j,fi} \quad (4)$$

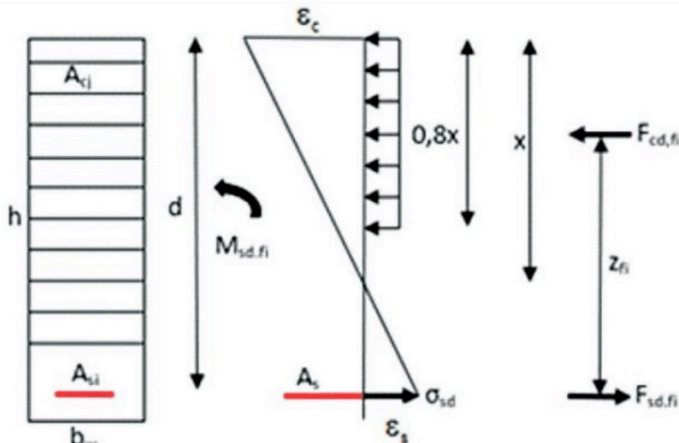


Figura 3 – Equilíbrio de forças resultantes na seção transversal em concreto armado.

3. Nesta etapa o valor de cálculo do carregamento uniformemente distribuído em situação de incêndio. Considerou-se 60% de ações permanentes e 40% de ações variáveis. Sabendo que se trata de uma viga presente em edifícios residencial, a NBR 8681:2003 determina que $\Psi_2 = 0,3$. A partir da expressão que representa a combinação última das ações, determina-se o valor de $p_{d,fi}$ da viga em situação de incêndio, como

$$p_{d,fi} = 1,2 \cdot p_{G,k} + 0,7 \cdot \Psi_2 \cdot p_{Q,k} \quad (5)$$

4. A partir dos resultados encontrados no item anterior, determina-se o momento fletor solicitante de cálculo em situação de incêndio

5. Após realizar os procedimentos anteriores, calcula-se o parâmetro conhecido como momento relativo (μ_{fi}), necessário para determinar o método gráfico. Em seguida, o gráfico compatível à seção de concreto analisada é selecionado e, a partir do valor de μ_{fi} , associado à configuração de armaduras, determina-se o tempo de resistência ao fogo

$$\mu_{fi} = \frac{M_{Rd,fi}}{M_{Rd}} \quad (6)$$

2.3 O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo pelo método tabular

No método tabular ocorre a imposição de um tempo fictício que a estrutura precisa resistir durante o incêndio. Esse tempo, conhecido como TRRF, é determinado empiricamente como resultado dos trabalhos realizados na área e posteriormente aplicados na norma. O método tabular consiste na associação entre o TRRF e os parâmetros conhecidos como a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face inferior do concreto exposta ao fogo

c_1 e largura mínima b_{min} e ocorre em duas etapas (Figura 4):

1. com a finalidade de verificar a eficiência do resultado obtido por meio do método gráfico para o TRRF calcula-se esse mesmo TRRF por meio do método tabular. Inicialmente, deve-se determinar a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face interior do concreto exposta ao fogo

$$c_1 = c + \phi_r + \frac{\phi_l}{2} \quad (7)$$

onde

c_1 – distância entre o eixo da armadura longitudinal

inferior e a face de concreto aquecida; ϕ_t : diâmetro dos estribos ($\phi_t = 5\text{mm}$);

ϕ – diâmetro da barra de aço da armadura longitudinal;

c – cobrimento.

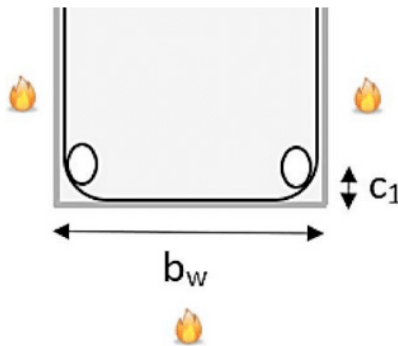


Figura 4 – Dimensões mínimas de largura (b_{min}) e distância entre o eixo da armadura longitudinal inferior e a face do concreto exposta ao fogo (c_1).

2. A partir do valor determinado de c_1 e da largura da seção, determina-se por intermédio da interpolação linear dos valores determinados na Tabela 1 na NBR 15200: 2012 que considera a condição de apoio das vigas (vigas biapoiadas).

2.4 Comparação Entre o Método Tabular e o Método Gráfico

A última etapa do processo é a comparação entre a eficiência dos métodos tabular e gráfico no dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio de acordo com as condições estabelecidas inicialmente. Esse processo de avaliação de eficiência de metodologia é realizado confrontando o TRRF encontrado em cada método.

3 I RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Viga contínua, $L = 4,0$ m e $b_w = 25$ cm

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos					
TRRF (min)	Combinações de b_{min}/C_1 (mm/mm)				b_{min} (mm/mm)
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	–	–	80
60	120/25	190/12	–	–	100
90	140/37	250/25	–	–	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

Tabela 1 – Método tabular para dimensionamento de vigas contínuas de concreto armado em situação de incêndio.

p_k (kN/m)	M_k (kN.m)	μ	A_s^+	A_s^+
10	11,25	0,006	2,50	2 ϕ 12,5
20	22,50	0,012	2,50	2 ϕ 12,5
30	33,75	0,018	2,50	2 ϕ 12,5
40	45,00	0,024	2,72	4 ϕ 10,0
50	56,25	0,030	3,41	2 ϕ 16,0
60	67,50	0,036	4,10	6 ϕ 10,0
70	78,75	0,041	4,80	4 ϕ 12,5
80	90,00	0,047	5,50	2 ϕ 20,0
90	101,25	0,053	6,21	2 ϕ 20,0
100	112,50	0,059	6,92	6 ϕ 12,5

Tabela 2 – Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído.

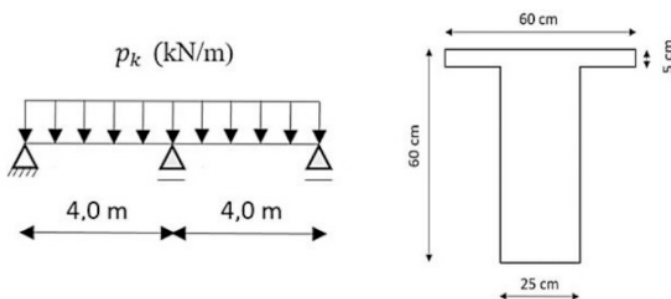


Figura 5 – Esquema estático da viga e a seção adotada.

Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído (Tabela 2).

$$\mu = \frac{M_k \cdot \gamma_c}{b_f \cdot d^2 \cdot \sigma_{cdi}}$$

onde

M_k – momento característico;

γ_c – coeficiente de minoração para o concreto;

b_f – largura da seção transversal;

d^2 – altura efetiva da viga;

σ_{cd} – tensão de cálculo do concreto;

f_{yd} – tensão de cálculo do aço.

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}$$

$$A_s = \omega \cdot b_f \cdot d \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}}$$

Verificação da altura do bloco de concreto comprimido (Tabela 3).

$$F_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot A_s$$

$$F_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot A_c$$

$$F_{sd} = F_{cd}$$

onde

F_{sd} e F_{cd} – força resultante de cálculo no aço e no concreto, respectivamente;

f_{yk} – resistência característica à tração do aço ($f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$);

f_{ck} – resistência característica à compressão do concreto ($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$);

γ_s e γ_c – coeficiente de minoração para o aço e o concreto, respectivamente;

A_s e A_c – área de aço e concreto, respectivamente; α – igual a 0,85.

Momento fletor resistente para $y \leq h_f$ (Tabela 4).

$$M^{rd} = F_{sd} \cdot z$$

p_k (kN/m)	F_{sd} (kN)	F_{cd}/γ (kN/cm)	y (cm)	Seção T ou retangular
10	108,7	91,1	1,194	Seção Retangular
20	108,7	91,1	1,194	Seção Retangular
30	108,7	91,1	1,194	Seção Retangular
40	118,1	91,1	1,297	Seção Retangular
50	148,1	91,1	1,626	Seção Retangular
60	178,2	91,1	1,957	Seção Retangular
70	208,6	91,1	2,290	Seção Retangular
80	239,1	91,1	2,626	Seção Retangular
90	269,9	91,1	2,963	Seção Retangular
100	300,8	91,1	3,303	Seção Retangular

Tabela 3 – Verificação da altura do bloco de concreto comprimido.

p_k (kN/m)	d (cm)	z (cm)	M_{rd} (kN.m)
10	56,38	55,78	60,63
20	56,38	55,78	60,63
30	56,38	55,78	60,63
40	56,50	55,85	65,95
50	56,20	55,39	82,00
60	56,50	55,52	98,95
70	56,38	55,23	115,20
80	56,00	54,69	130,77
90	56,00	54,52	147,14
100	56,38	54,72	164,63

Tabela 4 – Momento fletor resistente para $y \leq h_t$

onde

F_{sd} – força resultante de cálculo no aço;

z – braço de alavanca.

A Tabela 5 apresenta TRRF (min) em função do método gráfico

$$p_{d,fi} = 1,2 \cdot p_{G,k} + 0,7 \cdot \psi_2 \cdot p_{Q,k}$$

onde

$p_{G,k}$ – carregamento característico para ação permanente;

$p_{Q,k}$ – carregamento característico para ação variável;

$P_{d,fi}$ (kN/m)	$M_{sd,fi}$ (kN.m)	μ	TRRF (gráfico)
8,04	9,05	0,149	128 min
16,08	18,09	0,298	95 min
24,12	27,14	0,448	80 min
32,16	36,18	0,549	95 min
40,20	45,23	0,552	73 min
48,24	54,27	0,548	95 min
56,28	63,32	0,550	95 min
64,32	72,36	0,553	73 min
72,36	81,41	0,553	73 min
80,40	90,45	0,549	110 min

Tabela 5 – TRRF (min) em função do método gráfico.

p_k (kN/m)	c_1 (cm)	Método Tabular	Método Gráfico
		TRRF viga (min)	TRRF viga (min)
10	36,25	102	128
20	36,25	102	95
30	36,25	104	80
40	35,00	102	95
50	38,00	107	73
60	35,00	102	95
70	36,25	104	95
80	40,00	111	73
90	40,00	111	73
100	36,25	104	110

Tabela 6 – TRRF em função do método tabular e comparação com o método gráfico.

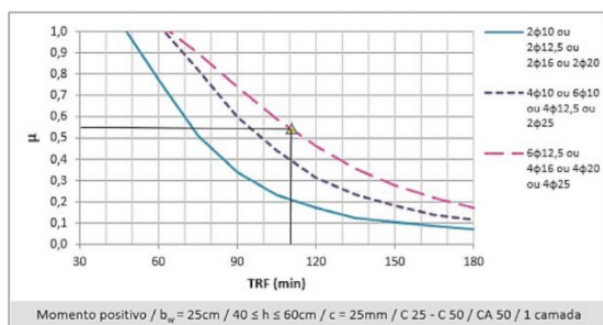


Figura 6 – Exemplo de aplicação do método gráfico para $\mu_{fi} = 0,549$ e $6\phi 12,5$

$$\mu = \frac{M_{sd,fi}}{M_{Rd}}$$

onde

$M_{sd,fi}$ – momento solicitante em incêndio;

M_{Rd} – momento resistente para temperatura ambiente.

A Tabela 6 apresenta o tempo de resistência ao fogo em função do método tabular e comparação do resultado obtido com o método gráfico.

$$c_1 = c + \phi_l + \frac{\phi_1}{2}$$

onde

c_1 – distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo;

c – cobrimento;

ϕ_l – diâmetro dos estribos;

ϕ_1 – diâmetro da barra de aço.

A Figura 7 apresenta comparação entre TRRF em função do método adotado.

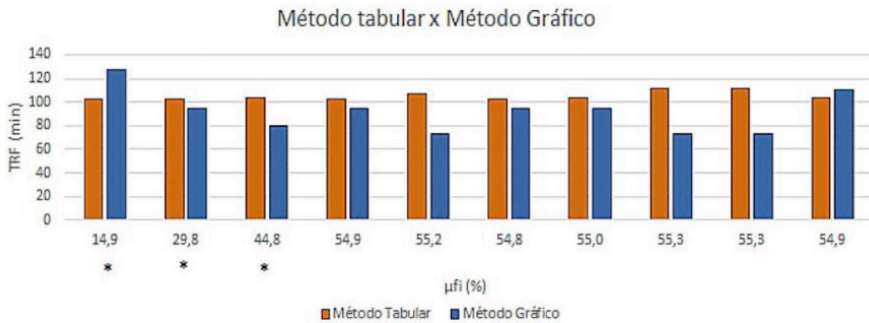


Figura 7 – Comparação entre TRRF em função do método adotado.

3.2 Viga contínua, $L = 4,00$ m e $b_w = 30$ cm

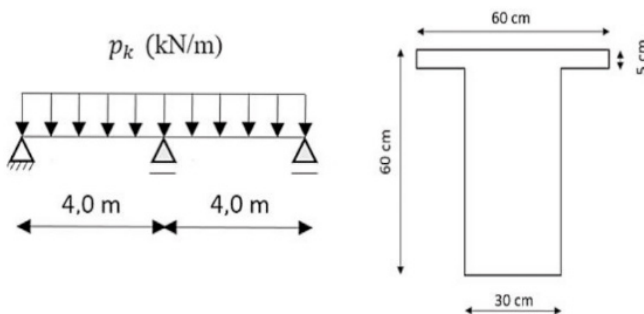


Figura 8 – Esquema estático da viga e a seção adotada.

A Tabela 7 apresenta a armadura longitudinal (A_s) adotada em função do carregamento.

A Tabela 8 apresenta a verificação da altura do bloco de concreto comprimido.

p_k (kN/m)	M_k (kN.m)	μ	A_s^+	A_s^+
10	11,25	0,006	2,93	4 ϕ 10,0
20	22,50	0,012	2,93	4 ϕ 10,0
30	33,75	0,018	2,93	4 ϕ 10,0
40	45,00	0,024	2,93	4 ϕ 10,0
50	56,25	0,030	3,41	2 ϕ 16,0
60	67,50	0,036	4,10	6 ϕ 10,0
70	78,75	0,041	4,80	4 ϕ 12,5
80	90,00	0,047	5,50	2 ϕ 20,0
90	101,25	0,053	6,21	2 ϕ 20,0
100	112,50	0,059	6,92	6 ϕ 12,5

Tabela 7 – Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído.

Verificação da altura do bloco de concreto comprimido (Tabela 8).

Momento fletor resistente para $y \leq h_f$ (Tabela 9).

Na Tabela 10 TRRF (min) em função do método gráfico.

p_k (kN/m)	F_{sd} (kN)	F_{cd}/y (kN/cm)	y (cm)	Seção T ou retangular
10	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
20	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
30	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
40	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
50	148,3	91,1	1,628	Seção Retangular
60	178,3	91,1	1,957	Seção Retangular
70	208,7	91,1	2,292	Seção Retangular
80	239,1	91,1	2,626	Seção Retangular
90	270,0	91,1	2,965	Seção Retangular
100	300,9	91,1	3,304	Seção Retangular

Tabela 8 – Verificação da altura do bloco de concreto comprimido.

p_k (kN/m)	d (cm)	z (cm)	M_{rd} (kN.m)
10	56,50	55,80	71,09
20	56,50	55,80	71,09
30	56,50	55,80	71,09
40	56,50	55,80	71,09
50	56,20	55,39	82,12
60	56,50	55,52	98,97
70	56,38	55,23	115,26
80	56,00	54,69	130,77
90	56,00	54,52	147,20
100	56,38	54,72	164,65

Tabela 9 – Momento fletor resistente para $y \leq h_f$.

$P_{d,fi}$ (kN/m)	$M_{sd,fi}$ (kN.m)	μ	TRRF (gráfico)
8,04	9,05	0,127	160 min
16,08	18,09	0,254	120 min
24,12	27,14	0,382	102 min
32,16	36,18	0,509	88 min
40,20	45,23	0,551	73 min
48,24	54,27	0,548	105 min
56,28	63,32	0,549	105 min
64,32	72,36	0,553	88 min
72,36	81,41	0,553	88 min
80,40	90,45	0,549	105 min

Tabela 10 – TRRF (min) em função do método gráfico.

A Tabela 11 apresenta o tempo de resistência ao fogo em função do método tabular e comparação do resultado obtido com o método gráfico.

A Figura 9 apresenta uma comparação entre os tempos de resistência ao fogo obtidos em função dos métodos tabular e gráfico.

3.3 Viga contínua, $L = 4,00$ m e $b_w = 35$ cm

P_k (kN/m)	c_1 (cm)	Método Tabular	Método Gráfico
		TRRF viga (min)	TRRF viga (min)
10	35,00	116	160
20	35,00	116	120
30	35,00	119	102
40	35,00	116	88
50	38,00	123	73
60	35,00	116	105
70	36,25	119	105
80	40,00	129	88
90	40,00	129	88
100	36,25	119	105

Tabela 11 – TRRF em função do método tabular e comparação com o método gráfico.

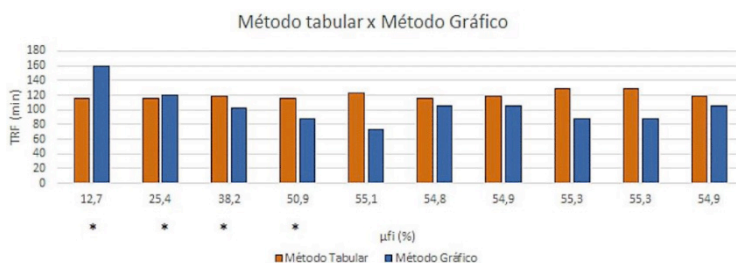


Figura 9 – Comparação entre TRRF em função do método adotado.

p_k (kN/m)	M_k (kN.m)	μ	A_s^+	A_s^+
10	11,25	0,006	3,34	2 ϕ 16,0
20	22,50	0,012	3,34	2 ϕ 16,0
30	33,75	0,018	3,34	2 ϕ 16,0
40	45,00	0,024	3,34	2 ϕ 16,0
50	56,25	0,030	3,41	2 ϕ 16,0
60	67,50	0,036	4,10	4 ϕ 12,5
70	78,75	0,041	4,80	4 ϕ 12,5
80	90,00	0,047	5,50	2 ϕ 20,0
90	101,25	0,053	6,21	2 ϕ 20,0
100	112,50	0,059	6,92	6 ϕ 12,5

Tabela 12 – Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído.

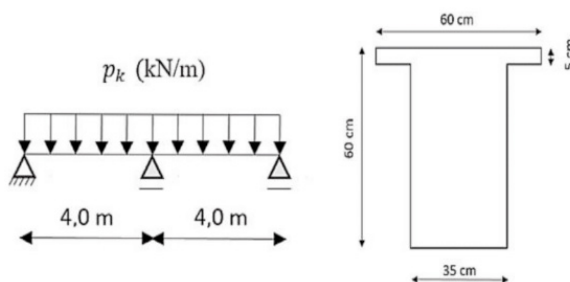


Figura 10 – Esquema estático da viga e a seção adotada.

p_k (kN/m)	F_{sd} (kN)	F_{cd}/y (kN/cm)	y (cm)	Seção T ou retangular
10	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
20	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
30	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
40	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
50	148,3	91,1	1,628	Seção Retangular
60	178,3	91,1	1,957	Seção Retangular
70	208,7	91,1	2,292	Seção Retangular
80	239,1	91,1	2,626	Seção Retangular
90	270,0	91,1	2,965	Seção Retangular
100	300,9	91,1	3,304	Seção Retangular

Tabela 13 – Verificação da altura do bloco de concreto comprimido.

p_{ic} (kN/m)	d (cm)	z (cm)	M_{rd} (kN.m)
10	56,20	55,40	80,45
20	56,20	55,40	80,45
30	56,20	55,40	80,45
40	56,20	55,40	80,45
50	56,20	55,39	82,12
60	56,38	55,40	98,75
70	56,38	55,23	115,26
80	56,00	54,69	130,77
90	56,00	54,52	147,20
100	56,38	54,72	164,65

Tabela 14 – Momento fletor resistente para $y \leq h_y$.

A Figura 10 apresenta esquema estático da viga e a seção adotada.

A Tabela 12 apresenta a armadura longitudinal (A_s) adotada em função do carregamento.

A Tabela 13 apresenta a verificação da altura do bloco de concreto comprimido.

A Tabela 14 apresenta a verificação do momento fletor resistente para $y \leq h_y$.

A Tabela 15 apresenta TRRF (min) em função do método gráfico.

A Tabela 16 apresenta o tempo de resistência ao fogo em função do método tabular e comparação do resultado obtido com o método gráfico.

A Figura 11 apresenta uma comparação entre os tempos de resistência ao fogo obtidos em função dos métodos tabular e gráfico.

$p_{d,fn}$ (kN/m)	$M_{s,d,fn}$ (kN.m)	μ	TRRF (gráfico)
8,04	9,05	0,112	150 min
16,08	18,09	0,225	115 min
24,12	27,14	0,337	98 min
32,16	36,18	0,450	85 min
40,20	45,23	0,551	77 min
48,24	54,27	0,550	113 min
56,28	63,32	0,549	113 min
64,32	72,36	0,553	88 min
72,36	81,41	0,553	88 min
80,40	90,45	0,549	113 min

Tabela 15 – TRRF (min) em função do método gráfico.

p_k (kN/m)	c_1 (cm)	Método Tabular	Método Gráfico
		TRRF viga (min)	TRRF viga (min)
10	38,00	123	150
20	38,00	123	115
30	38,00	123	98
40	38,00	127	85
50	38,00	127	77
60	36,25	123	113
70	36,25	123	113
80	40,00	132	88
90	40,00	132	88
100	36,25	123	113

Tabela 16 – TRRF em função do método tabular e comparação com o método gráfico.

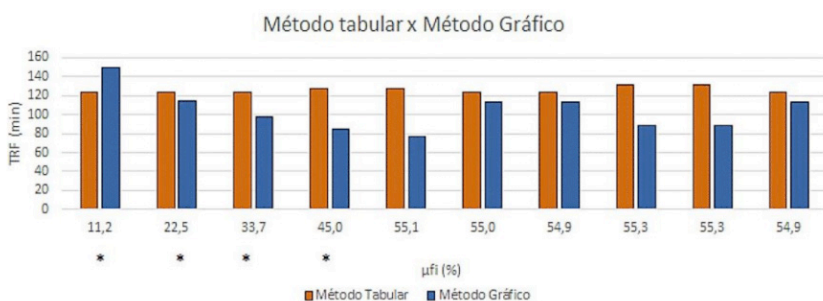


Figura 11 – Comparação entre TRRF em função do método adotado.

3.4 Análise de Resultados em Vigas Contínuas

O artigo apresenta uma comparação entre duas metodologias de cálculo para a determinação do tempo de resistência ao fogo. Com o objetivo de fazer essa verificação foram selecionadas vigas e divididas conforme a condição de apoio, o comprimento do vão e largura da seção. Além disso, foram criados subgrupos com o objetivo de permitir uma análise da influência do acréscimo de carregamento na eficiência de cada método. Assim, foram consideradas somente vigas contínuas e os parâmetros que variam são o carregamento e a largura da seção. Para estas condições são 30 simulações. Algumas análises podem ser realizadas a partir dos resultados encontrados anteriormente. O método gráfico apresenta uma maior discrepância entre valores máximos e mínimos obtidos para o TRRF o que indica uma maior eficiência do método tabular para determinar o TRRF. As vigas contínuas tendem a apresentar resultados mais elevados de TRRF para o método tabular. Em relação a variação da largura da seção pode-se dizer que o aumento da largura da seção resulta em TRRF maior, tanto para o método tabular quanto para o método gráfico. As Figura 12 apresenta a diferença relativa entre os TRRF obtidos em função das metodologias aplicadas.



Figura 12 – Diferença relativa entre os métodos para $L = 4,0$ m.

4 | CONCLUSÕES

A proposta do artigo é uma comparação de eficiência entre os métodos gráfico e tabular na determinação do tempo de resistência requerido ao fogo (TRRF) em vigas de concreto armado, simulando a ocorrência de um incêndio. Em função da facilidade de aplicação, recomenda-se que o método tabular seja adotado inicialmente para cálculo do TRRF. O método gráfico possibilita a utilização de uma metodologia alternativa para o cálculo do TRRF. Esse método alternativo consiste em gráficos que relacionam o tempo de resistência das vigas ao fogo à razão entre o momento solicitante em incêndio e o momento resistente à temperatura ambiente. Para realizar este trabalho as vigas foram divididas em grupos conforme as condições de apoio, o comprimento de vão, a largura da seção e o valor do carregamento. A partir dos resultados encontrados, conclui-se que para as vigas contínuas, o método tabular apresentou resultados mais altos na maior parte dos casos, com exceção de carregamentos menores. Em vigas contínuas, observa-se que os resultados encontrados para o TRRF tendem a uma maior proximidade para os diferentes carregamentos e larguras de seção estudados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ABN NBR 14432:2001. **Exigências de resistência a fogo de elementos construtivos de edificações** – Procedimento, 2001.
- ABNT NBR 8681:2003. Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, 2003.
- ABNT NBR 15200: 2012. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, 2012.
- ABNT NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, 2014.

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

ALBUQUERQUE, G. B. M. L.; SILVA, V. P.

Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio por meio do método gráfico. Ibracon – Revista Ibracon de estruturas e materiais, v.6, n.4, 2013.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. Editora Dunas: Rio Grande, 4ª ed. 2014.

BORTOLLATTO, M. **Aprimoramento dos sistemas de vistorias existentes do corpo de bombeiros militar de SC**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. In: Anais da XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural; Brasília. Distrito Federal: UNB; p.21, 2002.

SILVA, V.P. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio. Aprimoramento de algumas recomendações do Eurocode**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 4, n. 2, p. 277-303, 2012.

SILVA, V.P. **Projeto de Estruturas de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2014.

SOUZA, A.A.A.; MORENO Jr, A.L. **Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto**. Rev. Ibracon Estrut. Mater. [online]. Vol. 3, n.4, pp.432-448, 2010.

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

Abastecimento complementar 123
AeroDesign 190, 191, 195, 196
Aeroelasticidade 190, 191
Água de chuva 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132
Alteração de ocupação 95
Atualização de edifícios existentes 95

B

Barragens 173, 174, 175, 177, 178
Bioarquitetura 179

C

Cidade de 15 minutos 215, 216, 217
Coberturas verdes 179, 184, 188, 189
Comportamento térmico 179, 181
Concreto 26, 28, 29, 34, 36, 38, 39, 43, 44, 69, 70, 71, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 102, 106, 110, 120, 121, 136, 140, 184, 197, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 210, 211, 213, 214
Construção 2, 5, 8, 10, 14, 21, 22, 25, 26, 29, 32, 33, 44, 69, 70, 76, 77, 79, 80, 95, 96, 97, 100, 103, 104, 105, 106, 116, 126, 136, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 165, 166, 168, 170, 171, 172, 174, 180, 181, 183, 184, 197

D

Desempenho 9, 32, 96, 106, 107, 111, 114, 115, 127, 152, 188, 191, 225, 228, 235, 236
Diretrizes 6, 7, 10, 47, 66, 72, 123, 174, 221
DywiExpander 228, 229

E

Enchente 1, 17, 18
Energia eólica 133, 134, 135, 140, 148, 149
Estacas 26, 27, 28, 30, 31, 140, 141, 142, 145, 146, 148, 228, 229, 232, 233, 235, 236, 237
Estratégia BIM BR 151, 152, 158, 164
Expander body 228, 229, 231, 232, 233, 234, 236, 237

F

Fachadas verdes 179, 183, 189

Fibra de açaí 80, 81, 92

Flutter 190, 191, 192, 193, 195, 196

Fontes alternativas 123, 124, 129, 130, 131, 188

Fresagem 107, 108, 110, 120

I

Incêndio 125, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 206, 213, 214

Intertravado 71, 78, 80, 81, 92

M

Manutenção 12, 30, 32, 47, 65, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 97, 106, 108, 109, 120, 121, 126, 127, 151, 152, 153, 158, 163, 174

Marabá 1, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 179, 215, 216, 221, 222

Matriz de significância 68, 72, 74

Método gráfico 197, 199, 201, 202, 205, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 214

Método SCS 46, 48, 51, 61

Método tabular 197, 199, 201, 202, 203, 206, 207, 209, 211, 212, 213

Modelagem 97, 151, 152, 153, 155, 158, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 170

Modelo virtual 151, 158, 159, 162, 163

Modernização de edifícios 95

O

Obras de contenção 23, 25, 26, 28, 30

Obras públicas 32, 44, 151, 152, 158, 162, 163, 168, 170

Ocupação não planejada de encostas 23

Ocupações irregulares 1, 4, 6, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 25, 30

Osmose inversa 223, 224

Otimização 151, 158, 163, 170

P

Patologias 32, 33, 34, 44, 97, 103

Pavimentação 14, 69, 71, 93, 107, 109, 110, 120, 121

Planejamento de obras 95

Planejamento urbano 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 20, 21, 22, 46

Plano diretor 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 55, 58, 59, 65, 67, 106

Plataforma BIM 151, 158, 159, 163

Poluentes emergentes 223, 224

Praças urbanas 68, 69, 73

R

RAP 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 121

Reabilitação de edifícios 95

S

Serviços 14, 31, 33, 44, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 109, 136, 164, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221

Situações emergenciais 173

Solo 2, 7, 8, 11, 12, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 73, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 118, 119, 120, 121, 126, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 174, 177, 216, 228, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 236, 237

Solução técnica 133

Sondagem 133, 134, 137, 138, 147, 149, 234, 235

Sustentabilidade 7, 8, 22, 62, 67, 80, 97, 152, 153, 158, 170, 174, 181, 225

T

Tecnologia 94, 97, 106, 124, 152, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 179, 228, 229, 230, 232, 233, 236, 237

Tratamento de água 223, 226

TRRF 197, 199, 201, 202, 205, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 213

U

Urbanização 2, 4, 7, 9, 11, 12, 13, 20, 22, 23, 24, 25, 46, 47, 48, 54, 55, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 180

V

Vicinais 107, 108, 109, 111, 116, 119, 121, 122

Volume de escoamento superficial 46, 48, 51, 54, 58, 61, 63, 64, 65

Z

Zoneamento 1, 4, 7, 8, 12, 21, 22, 177


COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 2



 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 2



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