

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

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

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 31/05/2021

Rubens Silva Correia

Universidade Federal de Pernambuco
Caruaru – PE
<https://orcid.org/0000-0002-5378-385X>

Giuliana Furtado Franca Bono

Universidade Federal de Pernambuco
Caruaru – PE
<https://orcid.org/0000-0002-3668-135X>

Gustavo Bono

Universidade Federal de Pernambuco
Caruaru – PE
<https://orcid.org/0000-0003-4666-8703>

RESUMO: No projeto de vigas de concreto armado utilizando o procedimento convencional, estimam-se as dimensões da seção transversal para realizar o dimensionamento das armaduras e as verificações de segurança exigidas pelas normas técnicas pertinentes. Se os critérios de segurança forem atendidos, as dimensões estimadas são adotadas como solução. No entanto, não necessariamente esta é a melhor solução. Para encontrar a solução ótima, é preciso transformar o projeto convencional em um projeto ótimo, utilizando técnicas de otimização. Assim, este estudo tem por objetivo otimizar vigas de concreto armado, considerando seções transversais T para diferentes situações de vão, carregamento e resistência do concreto. O projeto ótimo consiste em encontrar as

dimensões da seção transversal da viga que minimizem os custos, respeitando os critérios de segurança das normas técnicas. Para resolver o problema formulado, é utilizado o método de Otimização por Enxame de Partículas, que é uma técnica de otimização baseada no comportamento de enxames de animais. São encontradas as dimensões ótimas em diferentes situações de projeto, observando tendências e o comportamento dos custos otimizados.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização. Concreto armado. Vigas T. Otimização por Enxame de Partículas.

OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH SECTION T USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

ABSTRACT: In the design of reinforced concrete beams using the conventional procedure, the dimensions of the cross section are estimated to carry out the dimensioning of the reinforcements and the safety checks required by the relevant technical standards. If the security criteria are met, the estimated dimensions are adopted as a solution. However, this is not necessarily the best solution. To find the optimal solution, it is necessary to transform the conventional design into an optimal design, using optimization techniques. Thus, this study aims to optimize reinforced concrete beams, considering cross sections T for different situations of span, loading and strength of concrete. The optimal project consists of finding the dimensions of the beam's cross section that minimize costs, respecting the safety criteria of the technical standards. To

solve the formulated problem, the Particle Swarm Optimization method is used, which is an optimization technique based on the behavior of animal swarms. Optimal dimensions are found in different design situations, observing trends and the behavior of optimized costs.

KEYWORDS: Optimization. Reinforced concrete. T beams. Particle Swarm Optimization.

1 | INTRODUÇÃO

As vigas de concreto armado com seção T são amplamente utilizadas nas construções. São encontradas em situações onde as lajes maciças colaboram na resistência das vigas formando a seção T, em lajes nervuradas moldadas no local ou pré-fabricadas, ou ainda quando já são pré-fabricadas no formato T.

No projeto convencional de vigas com seção T, bem como de outros elementos estruturais, realiza-se um pré-dimensionamento da seção e são feitas análises para verificar se os critérios de desempenho das normas técnicas são atendidos. Se as verificações forem satisfeitas, o pré-dimensionamento é adotado como solução. Caso contrário, realiza-se uma nova estimativa e o processo é repetido até chegar a uma solução. A solução encontrada neste procedimento é apenas viável e não necessariamente a melhor solução. Para determinar a solução ótima, o projeto convencional deve ser substituído pelo projeto ótimo, onde técnicas numéricas de otimização são utilizadas para encontrar a melhor solução.

No projeto ótimo, o projeto convencional é transformado em um problema de otimização. Geralmente, os problemas de otimização de engenharia podem ser expressos como a minimização (ou maximização) de uma função sujeita a restrições de igualdade e desigualdade (BELEGUNDU; CHANDRUPATLA, 2011). A função é chamada de função objetivo, e as variáveis de projeto. Dentre os métodos de resolução, existem técnicas modernas que surgiram como métodos poderosos e populares para resolver problemas complexos de otimização de engenharia, tais como Algoritmos Genéticos, Recozimento Simulado e Otimização por Enxame de Partículas (RAO, 2009). A Otimização por Enxame de Partículas é baseada no comportamento social de aves ou peixes, e foi introduzida em 1995.

No contexto da otimização de vigas de concreto armado com seção T, algumas pesquisas foram realizadas. Jasin et al. (2010), Silva, Fálcon e Garcia (2010) e Fedghouche e Tiliouine (2012) encontraram as dimensões da seção T e as áreas de aço para minimizar o custo da viga, considerando o custo do concreto, do aço e das formas. Jasin et al. (2010) consideraram as restrições referentes a norma americana, analisando as tendências dos resultados otimizados. Silva, Fálcon e Garcia (2010) consideraram as restrições da norma brasileira, obtendo o comportamento das variáveis de projeto ótimas para diferentes valores de momento fletor. Fedghouche e Tiliouine (2012) consideraram a norma europeia para formular as restrições, e constataram uma economia das soluções ótimas em relação a

outras soluções obtidas pelo projeto convencional.

Em um ambiente cada vez mais competitivo e exigente, a utilização do projeto ótimo em lugar do convencional é atraente e vantajosa. Dimensionar de forma otimizada, minimizando os custos, possibilita uma economia nos projetos estruturais. Assim, neste estudo são otimizadas vigas de concreto armado com seção T, em diferentes situações de projeto, variando o vão, o carregamento e a resistência do concreto. São obtidas as dimensões ótimas da seção para minimizar os custos, considerando os custos do concreto, do aço e das formas, atendendo aos critérios da norma brasileira de concreto. Para resolver o problema de otimização, é utilizada a técnica de Otimização por Enxame de Partículas.

2 I FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

A viga de concreto armado com seção T possui as características apresentadas na Figura 1. A seção T é formada por mesa e nervura. A base e a altura da mesa são b_f e h_f , respectivamente, e a base e a altura da nervura são b_w e h_w , respectivamente. A área de aço tracionado é A_s e a área de aço comprimido é A_s' . Considera-se um cobrimento c entre as áreas de aço e os bordos da seção. A viga é biapoiada, submetida a um carregamento distribuído p ao longo do vão L .

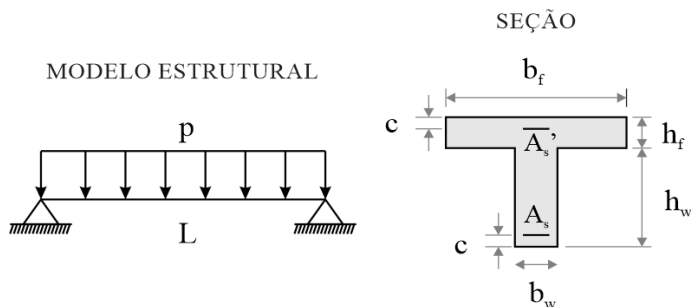


Figura 1 – Viga de concreto armado com seção T.

2.1 Variáveis de projeto

As variáveis de projeto consideradas são as dimensões da seção T: b_f , h_f , b_w e h_w , conforme a Figura 1.

2.2 Função objetivo

A função objetivo é a minimização do custo monetário da viga, ou seja, deseja-se encontrar as variáveis de projeto (dimensões da seção) que minimizem o custo. Nos custos são considerados os custos unitários dos insumos: concreto, aço e formas. A equação da função objetivo é dada por:

$$C = (b_f h_f + b_w h_w) L c_c + (A_s + A_s') L \rho c_a + [2(h_f + h_w) + b_f] L c_f \quad (\text{Equação 1})$$

Na qual c_c , c_a e c_f são os custos unitários do concreto, aço e formas, respectivamente. O parâmetro ρ é a massa específica do aço, igual a 7850 kg/m³. As áreas de aço A_s e A_s' são calculadas a partir dos parâmetros da seção.

Os custos unitários do concreto, aço e formas (c_c , c_a e c_f) foram retirados das tabelas de preço do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), do mês de março de 2018 para o estado de Pernambuco. Estes custos se encontram na Tabela 1:

Código SINAPI	Insumo	Unidade	Custos unitários
34439	Aço	kg	4,62
1345	Formas	m ²	35,19
34493	Concreto C25	m ³	224
34495	Concreto C35	m ³	243,94
34481	Concreto C45	m ³	326,54

Tabela 1 – Custos unitários do concreto, aço e formas.

2.3 Restrições

As restrições da otimização são critérios que devem ser satisfeitos na solução ótima. As variáveis de projeto ótimas, que minimizem a função objetivo, devem satisfazer esses critérios. No problema de otimização da viga de concreto armado com seção T, são consideradas como restrições imposições da ABNT NBR 6118:2014 e limites nas variáveis de projeto. Tais restrições são apresentadas a seguir:

- Foram considerados limites inferiores e superiores para as variáveis de projeto, conforme a Equação 2. Para as bases (b_f e b_w) foi adotada a dimensão mínima de 12 cm para vigas, conforme o item 13.2.2 da ABNT NBR 6118:2014. Para as alturas (h_f e h_w), foi adotada a altura mínima de 8 cm para lajes maciças de piso, conforme o item 13.4.2.1. E para todas as variáveis, foi adotado 100 cm como valor máximo.

$$\begin{Bmatrix} 12 \\ 8 \\ 12 \\ 8 \end{Bmatrix} (\text{cm}) \leq \begin{Bmatrix} b_f \\ h_f \\ b_w \\ h_w \end{Bmatrix} \leq \begin{Bmatrix} 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \end{Bmatrix} (\text{cm}) \quad (\text{Equação 2})$$

- Além dos limites para variáveis de projeto, foi considerado que b_f deve ser maior ou igual a b_w para manter a geometria da seção na forma T (Equação 3). Foi adotado também que a altura total da viga não deve ultrapassar 100 cm (Equação 4):

$$b_f \geq b_w \quad (\text{Equação 3})$$

$$h_f + h_w \leq 100 \text{ cm} \quad (\text{Equação 4})$$

- Para garantir à segurança a instabilidade lateral da viga, conforme o item 15.10 da ABNT NBR 6118:2014, as seguintes condições devem ser satisfeitas:

$$b_f \geq \frac{L}{50} \quad (\text{Equação 5})$$

$$b_f \geq 0,40(h_f + h_w) \quad (\text{Equação 6})$$

- De acordo com o item 17.3.5.2.4 da ABNT NBR 6118:2014, a soma das armaduras de tração (A_s) e compressão (A_s') não deve ter valor maior que 4% da área de concreto da seção:

$$(A_s + A_s') \leq 0,04(b_f h_f + b_w h_w) \quad (\text{Equação 7})$$

- Para atender ao estado-limite de deformação excessiva, conforme a ABNT NBR 6118:2014, a flecha máxima na viga (a_t) não deve ultrapassar os valores limites indicados no item 13.3 da norma. É considerada a flecha limite para aceitabilidade visual:

$$a_t \leq a_{\text{lim}} = \frac{L}{250} \quad (\text{Equação 8})$$

2.4 Problema de otimização de viga de concreto armado com seção T

Com as variáveis de projeto, função objetivo e restrições definidas, o problema de otimização de viga de concreto armado com seção T, para minimizar os custos, pode ser escrito como:

Encontrar b_f , h_f , b_w e h_w tal que:

Minimize C

Sujeito a: $12 \text{ cm} \leq b_f, b_w \leq 100 \text{ cm}$

$8 \text{ cm} \leq h_f, h_w \leq 100 \text{ cm}$

$b_f \geq b_w$

$h_f + h_w \leq 100 \text{ cm} \quad (\text{Equação 9})$

$b_f \geq \frac{L}{50}$

$b_f \geq 0,40(h_f + h_w)$

$(A_s + A_s') \leq 0,04(b_f h_f + b_w h_w)$

$a_t \leq \frac{L}{250}$

Como visto nas equações apresentadas anteriormente, é necessário calcular as áreas de aço e a flecha máxima para determinar o custo (função objetivo) e as restrições. A seguir, são apresentados os procedimentos adotados neste estudo para esses cálculos.

As áreas de aço são determinadas para o dimensionamento à flexão simples, procedendo conforme o primeiro fluxograma da Figura 2. Inicialmente, calcula-se o momento solicitante de cálculo (M_d) e o máximo momento que a seção consegue resistir com armadura simples, trabalhando no limite da linha neutra ($M_{d,lim}$). O limite da linha neutra é determinado conforme as condições de ductilidade apresentadas no item 14.6.4.3 da ABNT NBR 6118:2014, que para concretos com classe de resistência menor ou igual a 50, é igual a 0,45 da altura útil da seção. Caso M_d seja menor ou igual a $M_{d,lim}$, a seção necessita apenas de armadura simples, caso contrário, é necessário armadura dupla. Para a situação de armadura simples, se M_d for menor ou igual ao momento resistente da mesa da seção ($M_{d,r}$), A_s é calculada considerando uma seção retangular de base b_f e altura (h_f+h_w), caso contrário, o cálculo é feito considerando a seção T. Para a situação de armadura dupla, considera-se a linha neutra na posição limite. Se a deformação de A_s' é menor que a deformação de escoamento do aço, então A_s e A_s' são calculadas considerando a armadura de compressão sem escoamento. Caso contrário, A_s e A_s' são calculadas considerando a armadura de compressão com escoamento. Assim, ficam determinadas as áreas de aço tracionado e comprimido (A_s e A_s'). Caso a área de aço tracionado seja menor que a área de aço mínima exigida no item 17.3.5.2.1 da norma, a área mínima é adotada.

A flecha máxima na viga é determinada conforme o segundo fluxograma da Figura 2. Inicialmente, calcula-se o momento solicitante de serviço na seção mais solicitada (M_a) e o momento de fissuração do concreto (M_r), conforme o item 17.3.1 da ABNT NBR 6118:2014. Se M_a for maior que M_r , é necessário determinar a rigidez no estágio II ($(EI)_{eq}$) de acordo com o item 17.3.2.1 da norma, caso contrário, considera-se a rigidez da seção bruta de concreto ($E_{cs}I_c$). Com a rigidez definida, calcula-se a flecha total (a_t) considerando a flecha imediata (a_i) e a flecha diferida (a_d). A flecha diferida é calculada conforme o item 17.3.2.1.2 da norma. Assim, fica determinada a flecha máxima na viga.

Detalhes sobre as formulações e equações para o cálculo das áreas de aço e flecha podem ser encontradas em Carvalho e Figueiredo Filho (2014).

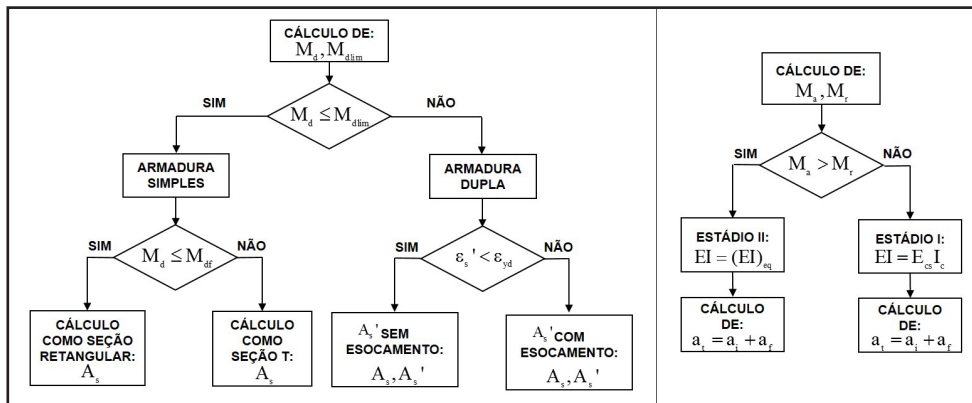


Figura 2 – (Esquerda) Fluxograma do cálculo das áreas de aço. (Direita) Fluxograma do cálculo da flecha.

3.1 OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

A Otimização por Enxame de Partículas (*Particle Swarm Optimization* em inglês, com sigla PSO) é um método de otimização estocástico que imita o comportamento de um enxame de animais (peixes, aves, etc). Em um enxame, um indivíduo (partícula) se comporta de acordo com sua inteligência, bem como com a inteligência do grupo. Cada indivíduo observa o comportamento de seus vizinhos e se ajusta a eles. Se um indivíduo descobre um bom caminho para a comida, outros seguirão esse caminho (ARORA, 2012).

Os algoritmos PSO imitam o comportamento natural dos enxames. Inicialmente, um conjunto de partículas (soluções) é gerado aleatoriamente. A função objetivo de cada partícula é avaliada, determinando a que possui menor valor que passa a ser o líder do enxame. As velocidades de cada partícula são calculadas (em função de parâmetros do algoritmo) e a posição das partículas é atualizada. Novamente, avalia-se a função objetivo dos novos pontos, determinando o de melhor valor (menor função objetivo) para determinar o novo líder do enxame. Esse processo ocorre até que algum critério de parada seja satisfeito (número máximo de iterações, por exemplo). Assim, ao final das iterações, o algoritmo converge para a solução ótima (ou uma solução bastante próxima do ótimo).

O PSO tem semelhanças com os Algoritmos Genéticos (AG). Uma vantagem do PSO em relação aos AG é que o PSO possui menos parâmetros algorítmicos (ARORA, 2012).

Neste estudo, o PSO foi utilizado para resolver o problema de otimização da viga de concreto armado com seção T (Equação(9)). Para tanto, foi utilizado o programa em MATLAB de PSO desenvolvido por Chen (2016), versão 1.31.2.

O algoritmo de Chen (2016) resolve problemas de otimização com restrições lineares e não-lineares utilizando o PSO, escritos no MATLAB. No algoritmo, são utilizadas funções de penalização para tratar com as restrições.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O problema de otimização da viga de concreto armado com seção T (Equação (9)) foi implementado no MATLAB e foi utilizado o programa de PSO desenvolvido por Chen (2016) para resolver o problema formulado.

Para a viga, foi considerado aço CA-50 e cobrimento de 3 cm. O problema de otimização foi resolvido para diferentes valores de vão, carga e resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}). Os valores de vão foram variados de 1 a 10 m, em incrementos de 1 m. O carregamento foi variado de 5 a 50 kN/m, em incrementos de 5 kN/m. E o f_{ck} foi variado de 25, 35 e 45 MPa. Assim, foram obtidas as dimensões otimizadas da seção e os custos ótimos para cada uma das situações de vão, carga e f_{ck} . Tais resultados são analisados a seguir.

4.1 Dimensões otimizadas da seção T

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 se encontram as dimensões ótimas da seção: b_f , h_f , b_w e h_w , respectivamente, em função do vão e da carga para os valores de f_{ck} analisados.

Como observado na Figura 3, os valores ótimos da base da mesa (b_f), apresentam um crescimento com o aumento do vão e da carga. Nas três superfícies (com diferentes f_{ck}), esse crescimento é verificado. Como o momento fletor solicitante aumenta devido ao aumento do vão e da carga, é necessária uma área maior de concreto comprimido na seção, o que justifica o crescimento de b_f . Observa-se que com o aumento do f_{ck} ocorre uma diminuição nos valores de b_f nas situações de vão e carga elevados, devido ao aumento da resistência da seção.

Analisando a Figura 4, verifica-se que os valores ótimos da altura da mesa (h_f) não apresentam uma tendência clara com o aumento do vão e da carga. Porém, observa-se que nas situações de vão e carga elevados, se encontram os maiores valores de h_f . Assim como no caso de b_f , os valores de h_f diminuem com o aumento do f_{ck} .

Na Figura 5, verifica-se que os valores ótimos da base da nervura (b_w) são predominantemente iguais a 12 cm, que é a dimensão mínima adotada (Equação (2)). Os maiores valores ocorrem nas situações de vão e carga elevados. Observa-se que b_w varia de 12 a 14 cm, que são valores baixos se comparados as outras dimensões. A maior parte do concreto na nervura está tracionado não contribuindo na resistência da seção, não sendo necessário valores altos de b_w . Assim como no comportamento de b_f e h_f , ocorre uma diminuição de b_w com o aumento do f_{ck} .

Como observado na Figura 6, os valores ótimos da altura da nervura (h_w) apresentam um crescimento com o aumento do vão e da carga. Porém, o crescimento de h_w é mais significativo com o aumento do vão. Esse crescimento ocorre para aumentar a rigidez da seção, possibilitando resistir ao esforço solicitante e atender a limitação de flecha. Analisando as três superfícies (com diferentes f_{ck}), verifica-se que, de modo geral,

o comportamento se manteve o mesmo, sendo então a variação do f_{ck} de pouca influência no valor ótimo de h_w .

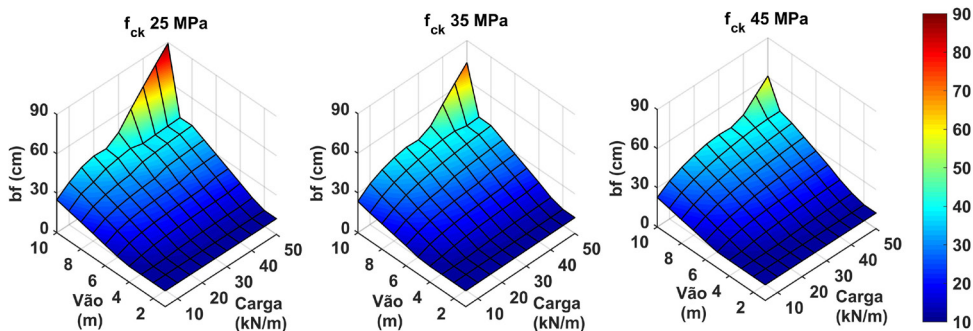


Figura 3 – Valores ótimos de bf .

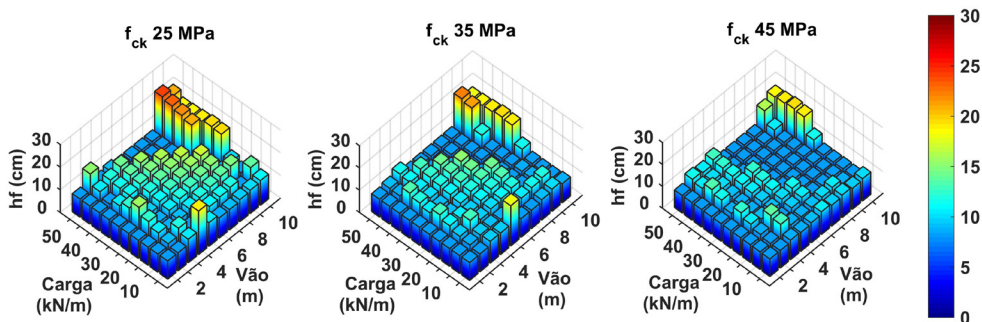


Figura 4 – Valores ótimos de hf .

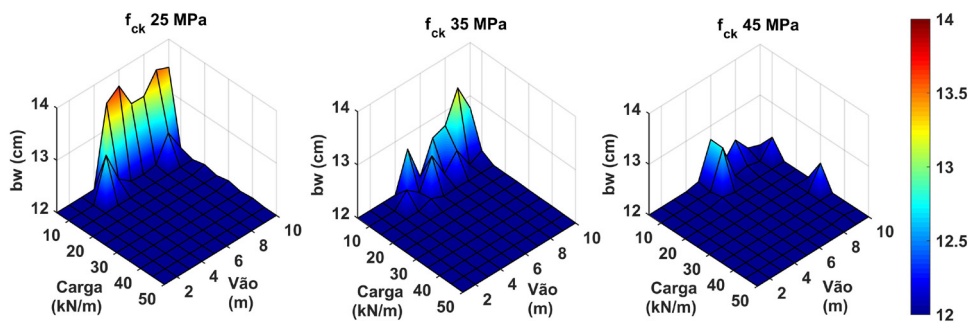


Figura 5 – Valores ótimos de bw .

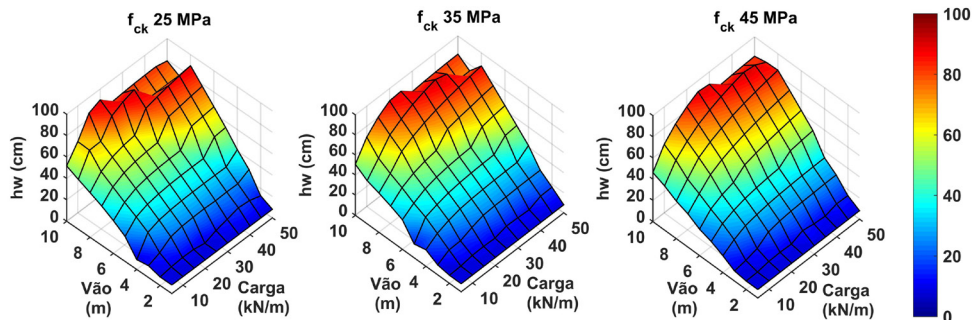


Figura 6 – Valores ótimos de h_w .

Nas Tabelas 2 a 5, apresenta-se a média de cada dimensão ótima para cada valor de vão e carregamento, considerando os três valores de f_{ck} (25, 35 e 45 MPa). Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 encontram-se os valores médios de b_f , h_f , b_w e h_w , respectivamente:

Vão (m)	b_f (cm)									
	Carga (kN/m)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
2	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
3	12,00	12,00	12,13	12,67	13,30	13,76	14,11	14,38	14,59	14,93
4	12,00	13,34	15,10	16,24	17,03	17,60	18,03	18,37	18,64	19,57
5	12,80	16,30	18,35	19,73	20,67	21,36	21,87	22,59	24,00	24,43
6	15,01	19,05	21,57	23,16	24,50	25,37	26,04	27,86	28,47	28,98
7	17,26	21,99	24,89	26,79	28,13	29,68	31,39	32,19	32,91	33,52
8	19,39	24,72	28,34	30,63	32,30	34,44	35,59	36,54	37,34	38,04
9	21,48	27,88	31,57	34,77	36,87	38,46	38,53	39,18	38,83	39,04
10	23,78	30,67	35,41	38,35	39,50	41,70	46,90	55,16	64,99	74,44

Tabela 2 – Valor médio de b_f .

Vão (m)	h_f (cm)									
	Carga (kN/m)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
2	8,00	8,60	9,69	11,37	13,71	10,71	11,38	11,55	10,00	11,97
3	9,69	11,52	11,74	9,47	8,98	9,47	10,34	10,68	11,13	10,19
4	12,46	8,80	8,96	9,67	10,45	11,22	11,93	12,59	13,22	10,02
5	12,52	8,93	10,11	10,97	11,92	12,80	13,62	12,64	8,00	8,03
6	9,20	10,01	11,06	12,19	11,81	12,51	13,15	8,16	8,00	8,01
7	8,91	10,64	10,99	11,86	12,71	10,95	8,01	8,15	8,00	8,01
8	9,71	11,36	10,12	10,57	11,00	8,05	8,03	8,00	8,01	8,00
9	9,90	9,57	10,58	8,42	8,16	8,18	12,27	14,02	18,23	20,77

10	9,85	9,89	8,16	8,75	12,88	16,77	19,15	18,95	18,52	19,14
----	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabela 3 – Valor médio de h_w .

Vão (m)	b_w (cm)									
	Carga (kN/m)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
2	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
3	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
4	12,00	12,36	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
5	12,76	12,09	12,05	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
6	12,82	12,45	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
7	12,65	12,05	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
8	12,78	12,17	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
9	12,99	12,17	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,01	12,00
10	12,75	12,17	12,00	12,02	12,00	12,16	12,00	12,01	12,00	12,00

Tabela 4 – Valor médio de b_w .

Vão (m)	h_w (cm)									
	Carga (kN/m)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
2	8,00	8,76	10,24	10,34	9,29	13,24	13,28	13,72	16,06	14,80
3	10,13	14,18	17,60	22,21	24,28	24,93	24,93	25,26	25,34	27,14
4	13,84	24,55	28,80	30,92	32,13	32,79	33,16	33,33	33,38	38,90
5	19,47	31,82	35,77	38,34	39,76	40,59	41,05	43,84	52,01	53,03
6	28,31	37,57	42,87	45,71	49,44	50,92	51,95	61,48	63,17	64,44
7	34,26	44,33	51,23	55,11	57,63	63,25	70,46	72,33	74,28	75,78
8	38,78	50,45	60,74	66,02	69,74	78,05	80,93	83,34	85,34	87,09
9	43,79	60,12	68,36	78,52	84,02	87,98	84,06	83,95	78,69	76,84
10	49,59	66,79	80,37	87,08	85,87	82,73	80,38	81,05	81,48	80,86

Tabela 5 – Valor médio de h_w .

As tendências das dimensões ótimas, observadas nas Figuras 3 a 6, e os valores ótimos das Tabelas 2 a 5, podem servir de base para o dimensionamento de vigas de concreto armado com seção T, com custo mínimo, de modo a auxiliar o projetista estrutural na tomada de decisões.

4.2 Custos ótimos

Nas Figuras 7, 8 e 9, se encontram os custos ótimos dos materiais para cada valor de vão, carga e f_{ck} analisados.

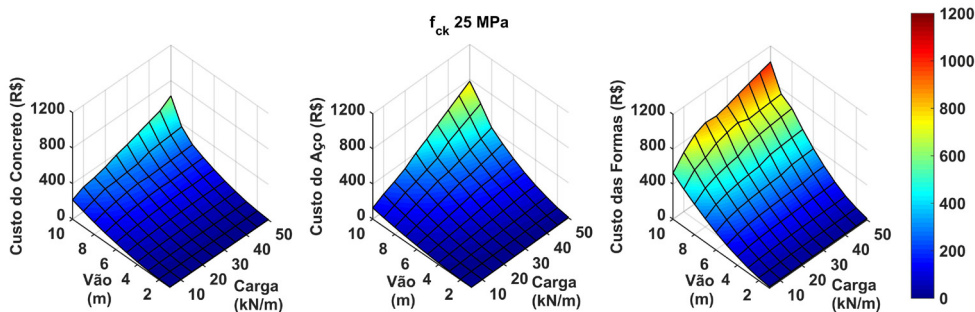


Figura 7 – Custos ótimos dos materiais para o f_{ck} de 25 MPa.

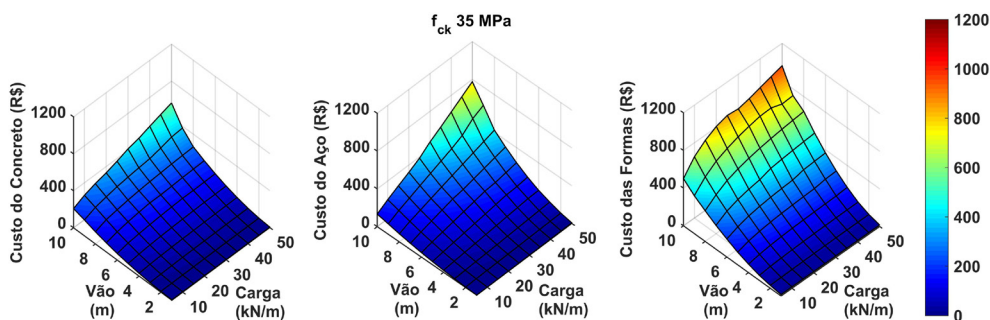


Figura 8 – Custos ótimos dos materiais para o f_{ck} de 35 MPa.

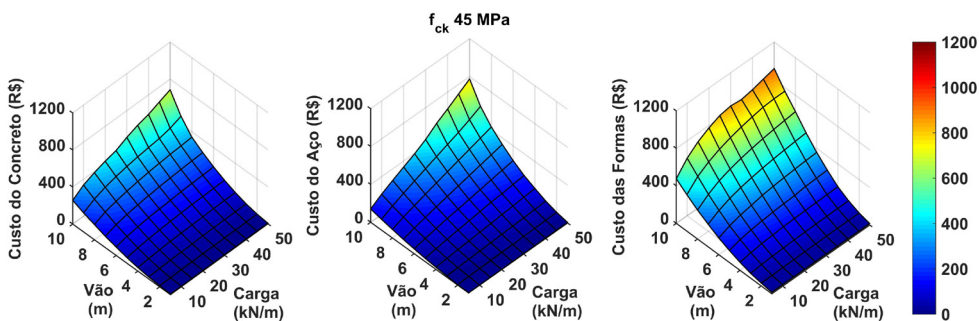


Figura 9 – Custos ótimos dos materiais para o f_{ck} de 45 MPa.

Verifica-se nas Figuras 7, 8 e 9 que os custos crescem com o aumento do vão e da carga. Nas três situações de f_{ck} (25, 35 e 45 MPa), observa-se que os maiores custos são das formas, seguidos dos custos do aço e do concreto.

4.3 Comparação do pso com os AG

Para verificar a eficiência do algoritmo de PSO, usado neste estudo para resolver o problema de otimização da viga de concreto armado com seção T (Equação (9)), foram obtidos os custos ótimos utilizando os AG presentes no *Optimization Toolbox* do MATLAB. A variação percentual do custo ótimo obtido com PSO (c_{PSO}) em relação ao custo ótimo obtido

com os AG (c_{AG}) foi calculada como:

$$\Delta C(\%) = \frac{|c_{AG} - c_{PSO}|}{c_{PSO}} 100\% \quad (\text{Equação 10})$$

A variação percentual da Equação 10 se encontra na Figura 10. Como verificado na Figura, as variações foram próximas de zero, sendo a maior variação próxima de 1,5%. Tais resultados mostram que o PSO encontrou custos ótimos praticamente iguais aos encontrados pelos AG, confirmando a eficácia do algoritmo de PSO utilizado.

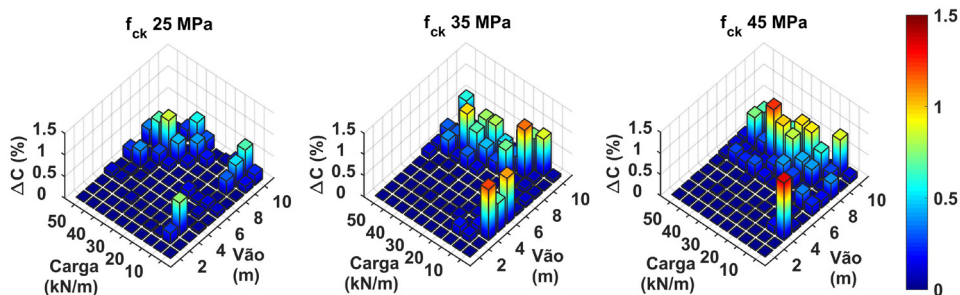


Figura 10 – Variação percentual dos custos ótimos obtidos pelo PSO e pelos AG.

4.4 Exemplo de projeto ótimo de viga com seção T

Para exemplificar a utilização do procedimento de otimização abordado anteriormente, foi dimensionada uma viga pela metodologia do projeto ótimo, e comparado os resultados com a solução obtida pelo projeto convencional. A viga e sua respectiva solução convencional foram extraídas de Fedghouche e Tiliouine (2012).

A viga possui vão de 8 m, com o f_{ck} do concreto igual a 30 MPa e o aço CA-50, com um carregamento distribuído de 71,5 kN/m. Neste caso foi considerado o custo unitário do concreto igual a 233,95 R\$/m³, retirado das tabelas de preço do SINAPI.

A viga dimensionada com o procedimento convencional, possui dimensões b_p , h_p , b_w e h_w iguais a 50, 15, 30 e 80 cm, respectivamente, e altura útil de 72 cm, resultando numa área de aço igual a 22,57 cm².

Dimensionando a mesma viga com o procedimento de projeto ótimo, foram obtidas as dimensões otimizadas de b_p , h_p , b_w e h_w conforme a Tabela 6.

Características	Projeto convencional	Projeto ótimo
b_f (cm)	50,00	37,77
h_f (cm)	15,00	24,46
b_w (cm)	30,00	12,00
h_w (cm)	80,00	69,97
Área de aço (cm ²)	22,57	23,29
Área de concreto (cm ²)	3150,00	1763,32
Custo total (R\$)	1919,98	1643,89
Economia	-	16,79%

Tabela 6 – Valor médio de h_w .

Como visto na Tabela 6, a solução de projeto ótimo apresenta um valor ligeiramente maior de área de aço, porém possui uma área de concreto consideravelmente menor que a solução de projeto convencional, resultando num menor custo.

O custo da solução de projeto ótimo foi de R\$ 1643,89, enquanto o da solução de projeto convencional foi de R\$ 1919,98, tendo-se então uma economia de 16,79%. Dessa forma, fica evidente a vantagem do projeto ótimo em lugar do convencional, por resultar em menores custos.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foi otimizada uma viga de concreto armado com seção T, em diferentes situações de vão, carregamento e resistência à compressão do concreto. Foram obtidas as dimensões ótimas da seção, que minimizassem os custos, através do método de Otimização por Enxame de Partículas.

A utilização do projeto ótimo, em lugar do convencional, é vantajosa por possibilitar a concepção de estruturas mais econômicas, como visto no exemplo realizado de viga com seção T, onde a solução ótima possibilitou uma economia financeira de 16,79% em relação a solução convencional.

Com os resultados obtidos, foi possível analisar tendências das dimensões otimizadas. As tendências e os valores das dimensões otimizadas, em diferentes situações de projeto, podem servir de auxílio aos projetistas na tomada de decisões, de modo a possibilitar um dimensionamento mais econômico.

A metodologia empregada neste estudo, permite substituir o projeto convencional pelo projeto ótimo, possibilitando a elaboração de projetos otimizados.

REFERÊNCIAS

ARORA, J.S. **Introduction to Optimum Design**, 3ª ed, Elsevier Academic press, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA BRASILEIRA. **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**, NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BELEGUNDU, A.D.; CHANDRUPATLA, T.R. **Optimization Concepts and Applications in Engineering**, 2ª ed, Cambridge University Press, 2011.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CHEN, S.S. **Constrained Particle Swarm Optimization**, versão 1.31.2. 2016. Disponível em <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25986-constrained-particle-swarm-optimization>>.

FEDGHOUCHE, F.; TILIOUINE, B. **Minimum cost design of reinforced concrete T-beams at ultimate loads using Eurocode2**. Engineering Structures, 42:43–50, 2012.

JASIN, N.A; et al. **Optimal Design of Reinforced Concrete T-Beam Floors**. Basrah Journal for Engineering Science, 5:1-6, 2005.

RAO, S. **Engineering Optimization. Theory and Practice**, 4ª ed, John Wiley & Sons, 2009.

SILVA, A.B.C.E; FALCÓN, G.A.S.; GARCIA, S.L.G. **Dimensionamento ótimo de Vigas de Concreto Armado com Seção T**. Mecânica Computacional, XXIX: 9217-9230, 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

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