

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)


Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª 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
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro
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
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª 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
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural 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
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª 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 Federac 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 Gonçalves 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

Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação / Organizador Ernane Rosa Martins. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-387-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.870211808>

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.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

A Engenharia de Computação tem como definição ser o ramo da engenharia que se caracteriza pelo projeto, desenvolvimento e implementação de sistemas, equipamentos e dispositivos computacionais, segundo uma visão integrada de hardware e software, apoiando-se em uma sólida base matemática e conhecimentos de fenômenos físicos. O objetivo é a aplicação das tecnologias de computação na solução de problemas de Engenharia.

Deste modo, este livro, aborda diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: o desenvolvimento de um jogo de RPG acessível em LIBRAS; uma reflexão quanto à necessidade de aplicação de supressores de surto como proteção de transformadores devido a eventos transitórios em manobras de disjuntores; um algoritmo para geração de contorno 2D envolvendo regiões irregulares; avaliação da influência das tensões residuais e imperfeições geométricas iniciais em colunas de aço submetidas à flexão em torno do eixo de menor inércia; os esforços em estruturas laminares, de características de geometria e carregamentos diversos através da implementação computacional de um elemento finito sólido hexaédrico de 8 nós programado com uma linguagem computacional de alto nível; uma análise computacional realizada através do programa SAP2000; a estabilidade e as vibrações de anéis e tubulações apoiados em uma fundação elástica de Pasternak; um controlador neural para dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL); uma ferramenta de autoria para livros relacionados a área da educação; um aplicativo com propósito de aumentar a taxa de reciclagem e minimizar os danos ambientais devido ao descarte incorreto de resíduos na natureza; a conscientização de crianças e adolescentes sobre as ocorrências de bullying; uma aplicação web interativa, de fácil utilização e interface amigável, por meio do pacote Shiny, destinada aos tópicos de intervalo de confiança e dimensionamento de amostra para o parâmetro proporção; segmentar e detectar, por meio de redes neurais convolutivas, as pás dos raspadores de escória em painéis de ferro gusa do Reator Kambara de uma siderúrgica; integrar a Biblioteca Digital de Artigos (IFPublica) e a Plataforma de Digital de Inscrição e Administração de Projetos (PDIAP), por meio de adaptações nos dois projetos, para impedir erros humanos e automatizar o processo de cadastro de artigos do PDIAP na base de dados do IFPublica.

Assim, espero que a presente obra venha a se tornar um guia aos estudantes e profissionais da área de Engenharia de Computação, auxiliando-os em diversos assuntos relevantes da área, fornecendo a estes novos conhecimentos para poderem atender as necessidades informacionais, computacionais e de automação das organizações de uma forma geral. Por fim, agradeço aos autores por suas contribuições na construção desta importante obra e desejo muito sucesso a todos os nossos leitores.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A ELASTO-PLASTIC CONSTITUTIVE MODEL BASED ON CHABOCHE KINEMATIC HARDENING OF ALUMINUM ALLOY 7050-T7451

Renzo Fernandes Bastos

Daniel Masarin

Ernesto Massaroppi Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118081>

CAPÍTULO 2..... 11

ACANNO: UM JOGO DE RPG COM UMA PROPOSTA DE ACESSIBILIDADE USANDO LIBRAS

Gabriel Barroso da Silva Lima

Marcos Roberto dos Santos

Almir de Oliveira Costa Junior

Jucimar Maia da Silva Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118082>

CAPÍTULO 3..... 23

A IMPORTÂNCIA ATUAL DE ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES CONTRA SOBRETENSÕES E AS APLICAÇÕES RECENTES COM A INSTALAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO

Nelson Clodoaldo de Jesus

João Roberto Cogo

Luiz Marlus Duarte

Luis Fernando Ribeiro Ferreira

Éverson Júnior de Mendonça

Leandro Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118083>

CAPÍTULO 4..... 38

ALGORITMO PARA GERAÇÃO DE CONTORNO DE MALHAS RETANGULARES PARA CÁLCULO DE DIFERENÇAS FINITAS

Pedro Zaffalon da Silva

Neyva Maria Lopes Romeiro

Rafael Furlanetto Casamaximo

Iury Pereira de Souza

Paulo Laerte Natti

Eliandro Rodrigues Cirilo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118084>

CAPÍTULO 5..... 53

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PILARES DE AÇO SOB A INFLUÊNCIA DE TENSÕES RESIDUAIS E IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS INICIAIS

Jefferson Alves Ferreira

Giovani Vitório Costa
Harley Francisco Viana
Renata Gomes Lanna da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118085>

CAPÍTULO 6..... 70

ANÁLISE DE ESTRUTURAS LAMINARES UTILIZANDO UM ELEMENTO SÓLIDO DE BAIXA ORDEM ENRIQUECIDO COM MODOS INCOMPATÍVEIS

Erijohnson da Silva Ferreira
William Taylor Matias Silva
Sebastião Simão da Silva
Adenilda Timóteo Salviano
José Lucas Pessoa de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118086>

CAPÍTULO 7..... 84

ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “A”

Stefano Galimi
Márcio Augusto Roma Buzar
Marco Aurélio Bessa
Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118087>

CAPÍTULO 8..... 103

ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “B”

Stefano Galimi
Márcio Augusto Roma Buzar
Marco Aurélio Bessa
Marcos Henrique Ritter de Gregorio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118088>

CAPÍTULO 9..... 119

APPLICATION OF A MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION PARETO APPROACH TO DESIGN THE SDRE CONTROLLER FOR A RIGID-FLEXIBLE SATELLITE

Luiz Carlos Gadelha de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118089>

CAPÍTULO 10..... 131

APPLICATION OF DEEP LEARNING FOR ANALYSIS OF CRACKS IN PELLET FALLING TESTS

Marconi Junio Henriques Magnani
Jorge José Fernandes Filho
Thyago Rosa Souza
Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180810>

CAPÍTULO 11	143
FLAMBAGEM E VIBRAÇÃO DE ANÉIS E TUBULAÇÕES ESBELTAS EM UMA FUNDAÇÃO ELÁSTICA	
Mariana Barros dos Santos Dias Paulo Batista Gonçalves	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811	
CAPÍTULO 12	155
CALIDAD ÁGIL: PATRONES DE DISEÑO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO DIRIGIDO POR PRUEBAS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812	
CAPÍTULO 13	168
CONTROLE NEURAL DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE	
José Antonio Riul Paulo Henrique de Miranda Montenegro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813	
CAPÍTULO 14	181
SUBOPTIMAL CONTROL ON NONLINEAR SATELLITE SIMULATIONS USING SDRE AND H-INFINITY	
Alessandro Gerlinger Romero Luiz Carlos Gadelha de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814	
CAPÍTULO 15	193
CREATE REALITY IN BOOKS (CRINB) - PROPOSTA DE FERRAMENTA DE AUTORIA DE LIVROS COM REALIZADADE AUMENTADA	
Lucas Velho Gomes Felipe Zunino Gabriel Abreu Freire Sidney Ferreira Coutinho Rogério Grijo Biazotto Eduardo Henrique Gomes Nelson Nascimento Júnior	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815	
CAPÍTULO 16	198
DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES DE ORIENTAÇÃO E CAPACITAÇÃO EM SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO - RECYCLING IS BETTER	
Líbero Passador Neto Dimitre Moreira Ort	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816	

CAPÍTULO 17	206
DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIGITAL (2D) PARA CONSCIENTIZAÇÃO DE CRIANÇAS CONTRA O BULLYING	
Rafael Guedes da Silva Anderson Fabian Melo Nakanome	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817	
CAPÍTULO 18	215
DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA PROPORÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE AMOSTRA POR MEIO DO PACOTE SHINY	
Pablo Fellipe de Souza Almeida Cristina Henriques Nogueira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818	
CAPÍTULO 19	226
DESIGN PATTERNS FOR SOFTWARE EVOLUTION REQUIREMENTS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819	
CAPÍTULO 20	240
DETECTION AND SEGMENTATION OF PIG IRON SLAG SCRAPERS USING MASK RCNN FOR WEAR CONTROL	
Carlos Eduardo Oliveira Milanez Marco Antonio de Souza Leite Cuadros Gustavo Maia de Almeida	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820	
CAPÍTULO 21	252
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS	
Fernanda Calado Mendonça Bernardo Horowitz	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821	
CAPÍTULO 22	268
ESTIMATION OF STELLAR PARAMETERS FOR J-PLUS SURVEY WITH MACHINE LEARNING	
Carlos Andres Galarza Arevalo Simone Daflon Vinicius Moris Placco Carlos Allende-Prieto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822	
CAPÍTULO 23	279
ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DA	

RIGIDEZ DOS PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

Sávio Torres Melo
Rebeka Manuela Lobo Sousa
Pablo Juan Lopes e Silva Santos
Francisca Itaynara de Souza Araújo
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino
Diogo Raniere Ramos e Silva
Tiago Monteiro de Carvalho
Carlos Henrique Leal Viana
João Paulo dos Santos Silva
Madson Nogueira da Silva
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180823>

CAPÍTULO 24..... 290

ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

Sávio Torres Melo
Rebeka Manuela Lobo Sousa
Pablo Juan Lopes e Silva Santos
Francisca Itaynara de Souza Araújo
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino
Diogo Raniere Ramos e Silva
Tiago Monteiro de Carvalho
Carlos Henrique Leal Viana
João Paulo dos Santos Silva
Madson Nogueira da Silva
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180824>

CAPÍTULO 25..... 311

ESTUDO DO MOVIMENTO DOS CORPOS MOEDORES NO PROCESSO DE MOAGEM UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS

Wladimir José Gomes Florêncio
Neilor Cesar dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180825>

CAPÍTULO 26..... 329

FLUID FLOW SUMMARIZATION USING DYNAMIC MULTI-VECTOR FEATURE SPACES

Renato José Policani Borseti
Leandro Tavares da Silva
Gilson Antonio Giralaldi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180826>

CAPÍTULO 27	351
GESTÃO DE PROCESSOS: ALINHAMENTO ESTRATÉGICO ENTRE TI E NEGÓCIO COM BPMN	
Aryel Evelin Vieira Garcia Rodrigo Elias Francisco	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180827	
CAPÍTULO 28	359
IFINTEGRA - INTEGRADOR DA PLATAFORMA DE REGISTRO DE PROJETOS COM A BIBLIOTECA DIGITAL DE ARTIGOS DE UM CAMPUS DO IFSUL	
Mateus Roberto Algayer Geovane Griesang	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180828	
SOBRE O ORGANIZADOR	366
ÍNDICE REMISSIVO	367

DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 05/05/2021

Fernanda Calado Mendonça

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade Federal de Pernambuco
Recife - Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/6178330014234743>

Bernardo Horowitz

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade Federal de Pernambuco
Recife - Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/4821122371021903>

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo dimensionar as armaduras de flexão de blocos de fundação sobre estacas metálicas submetidos a cargas verticais centradas, utilizando um modelo do método de bielas e tirantes. O texto é uma versão atualizada do artigo apresentado no XXXVIII CILAMCE (Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia). O método é composto por três etapas principais: a determinação da geometria dos elementos (bielas, tirantes e zonas nodais), a verificação das tensões nas bielas comprimidas e zonas nodais, e o dimensionamento da armadura de flexão. Inicialmente, foram realizadas comparações com dados experimentais de blocos de fundação com estacas em concreto. Em seguida, algumas considerações foram feitas para adequação à situação de estacas de perfil metálico, tais como: a análise da seção

de concreto contribuinte envolvendo a seção da estaca metálica embutida; o estudo do confinamento do concreto nas regiões nodais e a determinação da influência da compressão transversal na ancoragem da armadura. A comparação dos modelos propostos de bielas e tirantes com os dados experimentais produziu resultados bastante satisfatórios, quanto à previsão do comportamento estrutural de um bloco de coroamento com estacas metálicas submetido a cargas verticais.

PALAVRAS-CHAVE: Blocos sobre estacas, Método de bielas e tirantes, Estacas metálicas.

DESIGN OF PILE CAPS ON STEEL PILES

ABSTRACT: This paper aims to design the flexural reinforcement of pile caps on steel piles subjected to centered vertical loads, using a strut-and-tie method model. The document is an updated version of the paper presented at the XXXVIII CILAMCE (Iberian-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering). The method is composed of three main steps: the determination of the geometry of the elements (struts, ties and nodal zones), the stress verification in the compression struts and nodal zones, and the design of rebar. Initially, comparisons were made with experimental data from concrete pile foundation blocks. Then, some considerations were made for the situation of steel piles, such as: the analysis of the contribute concrete section involving the embedded steel pile section; the study of concrete confinement in the nodal zones and the determination of transversal compression influence on reinforcement anchorage. The comparison of the proposed strut

and tie models with test data produced very satisfactory results regarding on prediction of the structural behavior of a pile caps with steel piles under vertical loads.

KEYWORDS: Pile caps, Strut-and-tie method, Steel piles.

1 | INTRODUÇÃO

Os blocos de coroamento são os elementos estruturais responsáveis pela transferência de carga do pilar para as estacas. Estes maciços têm como principais características o fato de que suas três dimensões têm mesma ordem de grandeza e seu comportamento estrutural complexo. De acordo com a solução adotada estes blocos podem ter distintas configurações, variando-se desde o tipo de estaca adotada, até a forma como as estacas são organizadas e a geometria do maciço.

Para o dimensionamento deste tipo de estrutura, duas metodologias são indicadas: o método seccional e o método de bielas e tirantes (Araújo, 2016). No método seccional o bloco é analisado através da analogia com outros tipos de estruturas mais simples, a exemplo de vigas e lajes, o que exige uma avaliação particionada dos esforços atuantes e seus efeitos. No método de bielas e tirantes o fluxo interno de cargas é representado por uma treliça idealizada tridimensional (ou bidimensional, a depender do número e a maneira como as estacas estão distribuídas) que reflete comportamento estrutural global do bloco de coroamento.

Deve-se observar que num bloco rígido o encaminhamento da carga do pilar para as estacas se realiza de maneira direta, por meio de bielas inclinadas, hipótese esta que não é verificável nos blocos flexíveis. Adicionalmente, em geral os blocos rígidos não estão sujeitos ao efeito de punção, o qual nem sempre pode ser descartado para os blocos flexíveis (Souza, 2004). Conseqüentemente, a escolha do método a ser utilizado é função das características geométricas do bloco, que permitem a classificação em dois tipos: rígidos e flexíveis.

Não há consenso quanto aos critérios para a classificação de um bloco como rígido ou flexível. Segundo Fusco (2013), desde que as bielas mais abatidas não tenham ângulo de inclinação menor do que 26.56° o bloco pode ser considerado rígido; tal inclinação é definida pela reta que liga o centro da estaca ao ponto na base do pilar que dista 0.25 da face deste, onde é a dimensão do pilar numa direção. Diferentemente, a NBR 6118 (2014) indica que um bloco é rígido se a sua altura for maior ou igual a um terço da diferença entre a dimensão do bloco e a dimensão do pilar na mesma direção.

Pesquisas como as de Sabnis e Gogate (1984) e Adebar, Kuchma e Collins (1990), têm abordado os casos de blocos sobre estacas de concreto com seções quadradas e circulares. No entanto, são escassos os estudos das situações nas quais as estacas presentes nos blocos são metálicas, com seções laminares, a exemplo do relatório que analisa a ligação entre este tipo de estaca e o bloco por meio de ensaios experimentais

(GAI Consultants Inc., AISI, 1982), que será tratado com mais detalhes no tópico pertinente.

A necessidade de estudos e modelos que possam representar os blocos de coroamento sobre estacas metálicas de forma satisfatória justifica a pesquisa realizada neste trabalho no sentido de definir parâmetros que auxiliem na aplicação do método de bielas e tirantes para o dimensionamento desses elementos. Incluindo o desenvolvimento de um modelo elaborado via *Mathcad* que seja adequado para esses casos, e recomendações construtivas para a execução dos blocos com estacas em aço.

2 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de pesquisas, especialmente a partir da década de 1980, procurou estender a utilização dos métodos de analogia de treliça, antes empregados apenas em vigas. Como consequência, ocorreu o surgimento do método de Bielas e Tirantes, que passou a ser aplicado no dimensionamento de outros tipos de estruturas em concreto armado, as quais apresentam um comportamento diferenciado, a exemplo de consolos, vigas-parede e blocos.

A confiabilidade do método para a aplicação ao caso de blocos de coroamento já é reconhecida, especialmente em alguns países onde as normas indicam que este é um procedimento que gera resultados seguros. De acordo com Caverns e Fenton (2004), o método de bielas e tirantes proporciona ao projetista resultados mais robustos, os quais são necessários sabendo que essas estruturas apresentam elevados riscos geotécnicos e de execução.

2.1 Método de bielas e tirantes

O método de bielas e tirantes consiste na representação discreta, através de uma treliça idealizada, dos campos de tensões de determinado elemento estrutural submetido ao estado-limite último. Neste método, os campos de compressão e tração são representados pelas bielas e tirantes, respectivamente, enquanto os nós são as conexões que unem os dois primeiros. Cada um desses elementos tem sua geometria determinada de acordo com as características do bloco, das estacas, do pilar e da armadura a ser utilizada. Definir a geometria desses elementos é um dos pontos mais importantes para o dimensionamento, uma vez que as verificações de tensões levam em consideração esses valores para avaliar a segurança dos blocos de coroamento.

Os eixos das bielas devem ser modelados de forma suas direções se aproximem das direções que compreendem as tensões principais de compressão. Nos blocos rígidos, entre os pontos de aplicação de carga e reação, as tensões de compressão se espalham causando a formação de tensões de tração transversal. Uma alternativa para este fenômeno notado por Adebar et al. (1990), é a utilização do modelo de biela simples combinado com critérios de ruptura adequados para cobrir esse tipo de mecanismo.

Os eixos dos tirantes devem ser escolhidos de forma a simular as armaduras que

serão efetivamente utilizadas no elemento estrutural. A modelagem do tirante também compreende o uma camada prismática de concreto que envolve o eixo (sendo concêntrica a este). Este concreto não contribui efetivamente para o aumento da resistência do tirante; sua função é apenas a compatibilização entre a seção do tirante e das zonas nodais adjacentes, conseqüentemente auxiliando na transferência de carga entre os elementos.

Os nós são os pontos de ligação entre as bielas e tirantes e que recebem as cargas e reações as quais o elemento estrutural está submetido. As zonas nodais são os elementos que compreendem os volumes de concreto que se localizam no entorno dos pontos que representam os nós. Em seu trabalho, Chantelot e Mathern (2010) trataram as zonas nodais – e as subzonas – como tendo forma de paralelepípedo, sendo, portanto, denominadas zonas nodais paralelepipedicas ou zonas nodais cuboides; enquanto as bielas possuíam seção prismática hexagonal.

2.2 Método de Fusco (2013)

Em seu modelo, o autor considera que a carga proveniente do pilar é distribuída uniformemente por todas as estacas pertencentes ao bloco através de bielas comprimidas. Em seguida, as tensões nas zonas nodais são verificadas na seção junto ao pilar e junto à estaca.

O contato entre o pilar e o bloco é uma seção de transição na qual a tensão atuante é limitada pelo valor máximo de $0,85 f_{cd}$, onde f_{cd} é resistência de cálculo à compressão do concreto. Além disso, Fusco (2013) estabeleceu que as bielas inclinadas do modelo devem convergir para uma seção crítica, a uma dada profundidade, na qual a tensão atuante já tenha sido reduzida para um valor de aproximadamente $0,20 f_{cd}$.

Para a determinação das tensões de compressão atuantes nas bielas comprimidas nas partes superior e inferior, são empregadas áreas ampliadas com o ângulo de abertura de cerca de $63,4^\circ$ ($\arctg 2$) no pilar e nas estacas, respectivamente. Desta forma, as verificações de tensões são governadas pelas seguintes equações:

$$\sigma_{cd,pil}^{bie} = \frac{F_{d,pilar}}{A_{amp,pilar} \cdot \text{sen}^2(\theta)} \leq 0,20 f_{cd} \quad (1)$$

$$\sigma_{cd,est}^{bie} = \frac{F_{d,est}}{A_{amp,est} \cdot \text{sen}^2(\theta)} \leq 0,25 f_{cd} \quad (2)$$

Onde $\sigma_{cd,pil}^{bie}$ é a tensão na biela na seção junto ao pilar; $\sigma_{cd,est}^{bie}$ é a tensão na biela na seção junto à estaca; $F_{d,pilar}$ é o esforço de cálculo no pilar; $F_{d,est}$ é o esforço de cálculo na estaca; $A_{amp,pilar}$ é a área ampliada do pilar; $A_{amp,est}$ é a Área ampliada da estaca; e θ é o ângulo de inclinação da biela comprimida.

O modelo considera ainda que os blocos são armados segundo duas direções ortogonais entre si, com as barras sendo dispostas numa faixa sobre as estacas: e as armaduras principais são dimensionadas considerando a força atuante no tirante, para

cada uma das direções de forma independente.

2.3 Método da NBR 6118 (2014)

De forma simplificada, o método consiste na verificação da resistência dos nós (o comprimido na base do pilar e o comprimido-tracionado acima das estacas) e bielas, e na disposição das armaduras necessárias para suportar as trações nos tirantes.

Um roteiro de cálculo sugerido por Santos et al. (2015) envolve a investigação da profundidade do nó comprimido abaixo do pilar, buscando o limite de resistência das bielas do modelo, com as etapas: I. adoção do valor inicial da profundidade; II. Determinação do ângulo de inclinação da biela; III. verificação das tensões de compressão no nó sob o pilar; IV. reavaliação da profundidade (se o valor da tensão atuante for muito menor em relação a resistência, um valor menor deve ser empregado; caso contrário um valor maior é empregado); V. determinação do novo ângulo de inclinação da biela; VI. verificação das tensões nos nós sobre as estacas; VII. dimensionamento das armaduras (tirante). Além disso, o autor propõe que as áreas do pilar e das estacas sejam substituídas por áreas ampliadas formadas com uma abertura de 45°.

A NBR 6118 (2014) estabelece parâmetros para as resistências das bielas e regiões nodais, de acordo com os tipos de elementos que podem ser encontrados nos modelos. A resistência de cálculo das bielas prismáticas e regiões nodais ondem confluem apenas bielas é dada por $f_{cd1}=0,85 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd}$ onde $\alpha_{v2} = 1 - f_{ck}/250$ (f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto em MPa). A resistência de cálculo das bielas atravessadas por mais de um tirante e regiões nodais ondem também confluem mais de um tirante é dada por $f_{cd2}=0,60 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd}$. A resistência de cálculo das bielas atravessadas por um único tirante e regiões nodais ondem confluem apenas um tirante é dada por $f_{cd3}=0,72 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd}$.

Assim, as expressões que verificam as tensões nas porções superior e inferior da biela comprimida podem ser resumidas por:

$$\sigma_{cd,pil}^{bie} = \frac{F_{d,pilar}}{A_{amp,pilar} \cdot \text{sen}^2(\theta)} \leq f_{cd1} \quad (3)$$

$$\sigma_{cd,est}^{bie} = \frac{F_{d,est}}{A_{amp,est} \cdot \text{sen}^2(\theta)} \leq f_{cd3} \quad (4)$$

2.4 Comparação com resultados experimentais

Para realizar esta primeira análise, foi desenvolvido um modelo no software Mathcad (versão 14), com base nos parâmetros fornecidos pelos métodos de dimensionamento apresentados anteriormente. O programa desenvolvido faz a verificação do bloco, calculando a carga máxima suportada. Sabendo as características segundo as quais bloco foi executado, são analisados os limites de resistência dos elementos da treliça idealizada pelo modelo de bielas e tirantes adequado.

Em síntese, o algoritmo implementado no programa de verificação consiste em:

- 1) Inserção dos dados (dimensões do bloco e das estacas, propriedades do concreto e aço);
- 2) Cálculo das resistências das zonas nodais do modelo;
- 3) Análise da armadura utilizada no bloco e determinação da força atuante na direção do tirante;
- 4) Definição da função carga, que tem como variáveis: a profundidade da região nodal abaixo do pilar e a carga na biela;

$$carga(y, P) = P \quad (5)$$

5) Definição das equações que representam as restrições do problema:

a) Coeficiente de segurança para a zona nodal abaixo do pilar:

$$CS_1 = \frac{f_{cd1}}{F_{bie}/A_{bie,pil}} \geq 1 \quad (6)$$

b) Coeficiente de segurança para a zona nodal acima das estacas:

$$CS_2 = \frac{f_{cd3}}{F_{bie}/A_{bie,est}} \geq 1 \quad (7)$$

c) Coeficiente de segurança para o tirante:

$$CS_3 = \frac{f_{yk}}{F_{td}/A_s} \geq 1 \quad (8)$$

Onde F_{bie} é a força na direção do eixo da biela inclinada, $A_{bie,est}$ é a área da seção transversal da biela na proximidade do pilar e $A_{bie,pil}$ é a área da seção transversal da biela na proximidade da estaca.

6) Maximização da função carga (com o recurso disponível no software);

$$máx(carga) = (y, P) \quad (9)$$

7) Determinação da carga máxima para a biela, e o total para o bloco sobre estacas.

$$P_{total} = 4 \cdot P \quad (10)$$

Em sua pesquisa, Sabnis e Gogate (1984) ensaiaram nove blocos sobre quatro estacas em escala reduzida, conforme modelo da Figura 1; nos quais as estacas e o pilar central eram simulados com cilindros metálicos de mesmo diâmetro. No entanto, para fins de análise, foram escolhidos dois exemplares: SS1 e SS3 (denominação dada pelos autores, que será mantida neste trabalho). Ambos têm as mesmas dimensões e diferem quanto às armaduras empregadas nos blocos. No bloco SS1 há duas vezes três barras de

diâmetro 0.0057m distribuídas em cada direção, com tensão de escoamento de $499,4 \cdot 10^6$ Pa. No bloco SS3 há duas vezes sete barras de diâmetro 0.0034m distribuídas em cada direção, com tensão de escoamento de $886,0 \cdot 10^6$ Pa.

Para auxiliar na comparação entre os resultados obtidos com o programa e os ensaios experimentais, foi considerado que a zona nodal abaixo do pilar foi dividida em quatro subzonas, cada uma formando a biela inclinada que transfere parte da carga do pilar para a estacas. Além disso, pilar e estacas foram considerados quadrados, com dimensões que traduzem uma área equivalente à área circular do cilindro metálico; e para cada tirante ortogonal a armadura corresponde ao total de barras concentradas na faixa de 1.2 vezes o diâmetro da estaca mais 80% das barras que estão distribuídas fora da dita faixa.

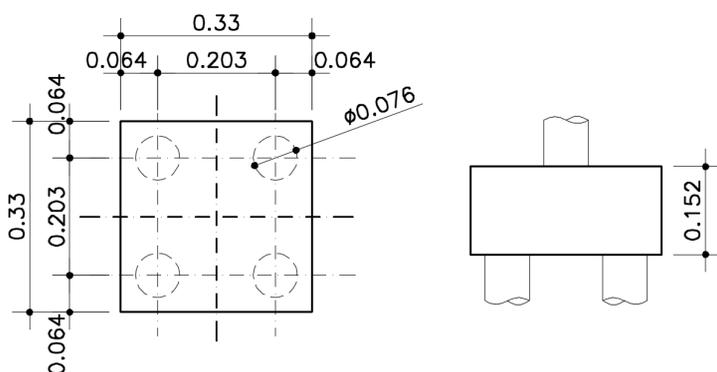


Figura 1. Vista em planta e elevação do bloco ensaiado por Sabnis e Gogate (1984), com dimensões em metros.

Três hipóteses de verificação foram desenvolvidas. Cada uma destas associou diferentes parâmetros para resistência dos nós e bielas a modelos de geometria das regiões nodais (Figura 2), conforme descrição detalhada na Tabela 1.

Nomenclatura	Crítérios de resistência	Geometria das zonas nodais
A	NBR 6118 (2014)	Santos et al. (2015)
B	NBR 6118 (2014)	Chantelot e Mathern (2010)
C	Fusco (2013)	Santos et al. (2015)

Tabela 1. Hipóteses de verificação dos blocos ensaiados por Sabnis e Gogate (1984).

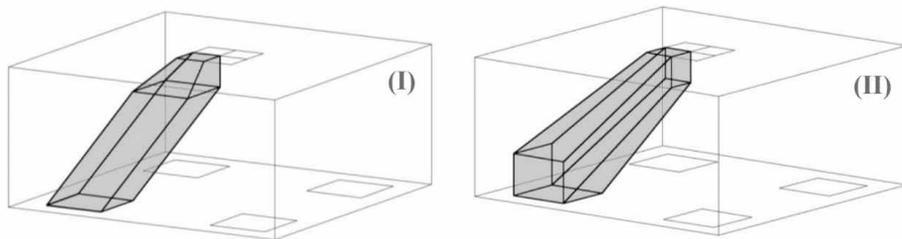


Figura 2. Modelos de bielas propostos por: I – Santos et al. (2015) e II – Chantelot e Mathern (2010).

Conforme pode-se observar na Tabela 2, há grandes diferenças entre os valores obtidos nas hipóteses de cálculo e nos resultados experimentais. Esses resultados já eram esperados, pois os modelos de bielas e tirantes costumam prever resistências bastante conservadoras, em relação às cargas de ruptura (Sorrentino, 2012).

Bloco	A	B	C	Carga de ruptura
SS1	152000N	136000N	80000N	250400N
SS3	204000N	172000N	80000N	247900N

Tabela 2. Comparação entre as hipóteses de cálculo e ensaios de Sabnis e Gogate (1984).

O modelo de Chantelot e Mathern (2010), apesar de proporcionar um melhor detalhamento da região nodal, produziu valores bem próximos aos encontrados com o modelo de geometria mais simples indicado por Santos et al. (2015). A metodologia proposta por Fusco (2013) é a mais conservadora entre as analisadas, resultando nas menores cargas previstas para os blocos de coroamento. As hipóteses A e B, que se referem aos parâmetros normas brasileira produziram um pouco mais próximos, porém ambos a favor da segurança.

3 I BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS

Apesar de amplamente utilizados, os blocos de fundação sobre estacas metálicas carecem de pesquisas específicas que estudem seu dimensionamento por meio do método de bielas, o qual é indicado para estes tipos de regiões de descontinuidade. Em geral, os recursos utilizados para este dimensionamento provêm da analogia com pesquisas realizadas em estacas de concreto. Dentre os poucos encontrados na literatura, os ensaios realizados pelo American Iron and Steel Institute (1982) em blocos de coroamento serão a base para os estudos detalhados adiante, para implementação de um modelo de bielas e tirantes adequado à situação de estacas metálicas.

3.1 Método de bielas e tirantes adaptado ao caso de estacas metálicas

Para o desenvolvimento do método de bielas e tirantes em blocos sobre estacas metálicas, algumas propriedades do modelo foram adaptados: as áreas expandidas na região do pilar e da estaca, a forma como as armaduras são dispostas no tirante, o concreto contribuinte que envolve a seção da estaca (quando está embutida no interior do bloco), o confinamento das zonas nodais e a influência da compressão transversal na ancoragem da armadura.

Na região nodal localizada abaixo do pilar, na porção superior do bloco, a profundidade y , que define a seção horizontal, deve ser tal que a tensão seja verificada conforme a Eq.(3). O leque de abertura considerado para a delimitação da área tem um ângulo de 45° , conforme proposição de Santos et al. (2015). A área expandida na região do pilar deve ser limitada pelas dimensões do próprio bloco.

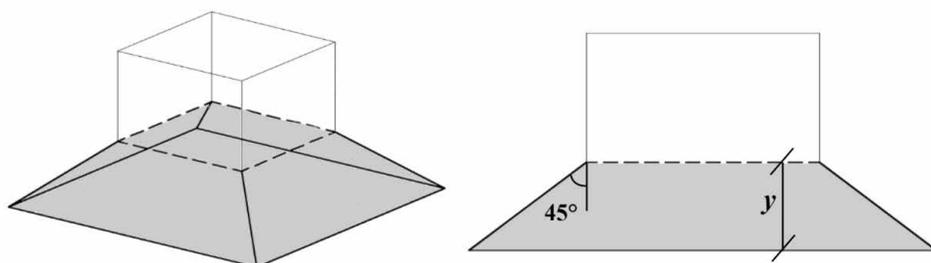


Figura 3. Vista tridimensional e elevação da região nodal expandida abaixo do pilar.

A região nodal localizada acima da estaca, na porção inferior do bloco, tem sua altura definida pela espessura dos tirantes que se conectam a ela. O leque de abertura que forma a área expandida indicado por Santos et al. (2015) também é de 45° , a partir do ponto em que se inicia o embutimento da estaca. Com a área expandida na região do pilar obtida, as tensões nesta região da biela devem obedecer a condição imposta pela Eq. (4).

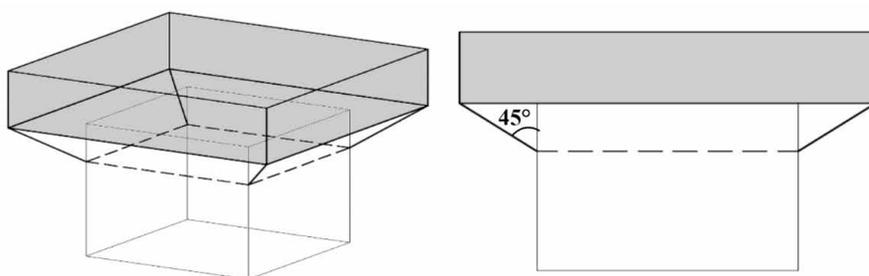


Figura 4. Vista tridimensional e elevação da região nodal expandida (em cinza) acima da estaca embutida.

A maior parte da armadura principal do bloco – no mínimo 85% – deve ser posicionada na região das estacas, numa faixa de largura 1.2 vezes a dimensão da estaca. Conseqüentemente, o tirante também terá a dimensão que corresponde a esta faixa onde se concentram as armaduras de flexão do bloco de coroamento.

O formato “irregular” da seção laminada das estacas metálicas é um fator complicador para a definição da zona nodal. Entretanto, devido ao embutimento de parte da estaca no bloco, há uma porção de concreto (entre os flanges e a alma) que atua de forma solidária ao perfil metálico, resistindo aos esforços, conforme demonstrada a Figura 5. Esse fenômeno foi observado durante ensaios com blocos que continham apenas uma estaca com perfil H, nos quais após a falha toda esta área de concreto se manteve intacta junto com a estaca, de acordo com o relatório da AISI (1982).



Figura 5. Área (em cinza) da porção de concreto se solidariza à estaca metálica.

O confinamento das zonas nodais e bielas favorece a segurança do bloco, de forma a NBR 6118 (2014), indica fatores que aumentem a resistência de acordo com este parâmetro. Além disso, para prevenir que haja a ruptura do concreto na biela por fendilhamento, isto é, por ação da tração transversal nas bielas “garrafa”, a tensão resistente de cálculo à pressão de contato nas zonas nodais deve ser limitada, conforme Eq. (11), (12) e (13) propostas por Adebar (1996).

$$\sigma_b \leq 0.6 \cdot f_{cd} + \alpha\beta \cdot 6\sqrt{f_{cd}} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left(\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} - 1 \right) \leq 1 \quad (12)$$

$$\beta = \frac{1}{3} \left(\frac{h_{bie}}{b_{bie}} - 1 \right) \leq 1 \quad (13)$$

Onde A_1 é a área carregada, A_2 é a área homotética em relação a A_1 , h_{bie}/b_{bie} é a razão entre a projeção vertical e a projeção horizontal biela. Para a verificação da zona nodal localizada abaixo do pilar a razão que diz respeito ao aspecto da biela pode ser simplificada como $2d/c$, onde d é a altura efetiva do bloco e c é a dimensão do pilar quadrado. Enquanto para a verificação da zona nodal localizada acima da estaca esta

razão pode ser simplificada como d/d_e , onde d_e é o diâmetro da estaca.

Assim como o confinamento por armadura transversal posicionada ao longo do comprimento de ancoragem, a compressão transversal é um dos recursos que podem ser utilizados para reduzir o comprimento reto efetivo, desde que este seja maior do que o mínimo recomendado. Fusco (2013) propõe a Eq. (14) para calcular o comprimento de ancoragem efetivo para os casos em que a pressão transversal é menor que $8 \cdot 10^6$ Pa.

$$l_{b,ef} = (1 - 0.04 \cdot p)l_b \quad (14)$$

Onde p é a pressão transversal em MPa e l_b é o comprimento de ancoragem calculado.

3.2 Comparação com ensaios realizados pelo AISI

Assim como ocorreu para os casos de estacas de concreto, foi utilizado o programa de verificação do bloco, que calculou a carga máxima suportada no bloco. O algoritmo deste programa foi descrito na seção 2.4. Além dos parâmetros já considerados, foram inseridas as adaptações referentes às estacas de concreto, conforme explanação da seção 3.1.

O relatório do AISI (1982) realizou o ensaio em quatro blocos sobre estacas metálicas, em escala real. Devido às suas características, foram selecionados apenas os blocos 1 e 2, para o estudo detalhado por meio do método de bielas e tirantes. Ver Figuras 6 e 7. Estes blocos possuem seis estacas e as mesmas dimensões em planta; mas diferem entre si quanto a: resistência à compressão do concreto, armaduras adotadas, altura do bloco, dimensões do pilar e, pelo fato de que o bloco 1 tem chapas soldadas ao topo de um par de estacas da extremidade. Para auxiliar a compreensão, as diferenças entre os blocos estão expressas na Tabela. 3.

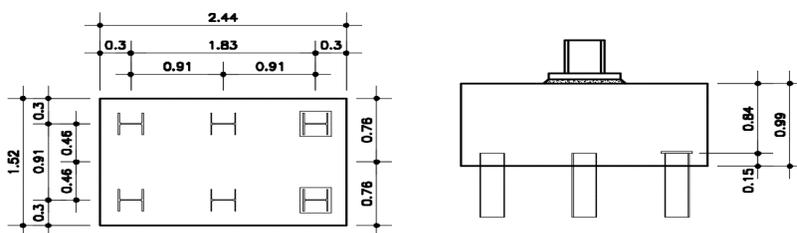


Figura 6. Vista em planta e elevação do Bloco 1, com dimensões em metros.

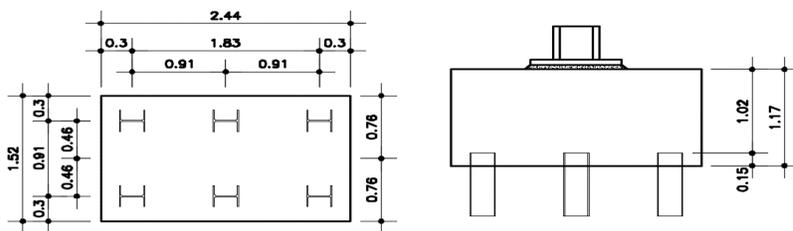


Figura 7. Vista em planta e elevação do Bloco 2, com dimensões em metros.

Bloco	f_{ck}	Armadura distribuída na maior direção	Armadura distribuída na menor direção
1	$28.61 \cdot 10^6 Pa$	18 barras - $D \cong 0.019m$	12 barras - $D \cong 0.032m$
2	$30.54 \cdot 10^6 Pa$	19 barras - $D \cong 0.019m$	19 barras - $D \cong 0.028m$

Tabela 3. Características diferentes entre os blocos 1 e 2.

Como o ponto de aplicação de carga era composto por um perfil metálico sobre uma chapa também metálica, as dimensões do “pilar” foram consideradas como sendo a área do perfil metálico, expandida em 45° no interior da chapa. A zona nodal abaixo do pilar, foi subdividida em 6 subzonas, cada uma destas formando a biela inclinada em direção à respectiva estaca.

Para avaliar de que forma a carga total seria distribuída entre as seis estacas, os blocos foram modelados com o auxílio do software *SAP 2000*. Através dos resultados obtidos foi constatado que uma estaca central recebe cerca de 18% da carga total, enquanto uma estaca da extremidade recebe aproximadamente 16%. A verificação se baseou na biela inclinada da extremidade, encontrando sua carga máxima, e em seguida, multiplicando este valor por 6.25 para determinar a carga total suportada pelo bloco de coroamento.

Nas hipóteses de verificação, em cada tirante ortogonal a armadura corresponde ao total de barras concentradas na faixa de 1.2 vezes o diâmetro da estaca mais certo percentual das barras que estão distribuídas fora da dita faixa.

Os parâmetros utilizados para resistência dos nós foram propostos pela NBR 6118 (2014) e a geometria das regiões nodais sugerida por Santos et al. (2015), em concordância com as adaptações mencionadas na seção 2.4. Seis hipóteses de verificação foram desenvolvidas, as quais estão caracterizadas na Tabela 4.

Nomenclatura	Descrição
HV I	Consideração de 100% da armadura distribuída
HV II	Consideração de 80% da armadura distribuída
HV III	Consideração de 100% da armadura distribuída e compressão transversal na faixa sobre a estaca
HV IV	Consideração de 80% da armadura distribuída e compressão transversal na faixa sobre a estaca
HV V	Consideração de 100% da armadura distribuída, compressão transversal na faixa sobre a estaca e confinamento das zonas nodais
HV VI	Consideração de 80% da armadura distribuída, compressão transversal na faixa sobre a estaca e confinamento das zonas nodais

Tabela 4. Caracterização das hipóteses de verificação.

É possível notar por meio da Tabela 5, que a variação entre os resultados obtidos com o modelo de bielas e tirantes e os resultados experimentais foi menor do que a ocorrida para os casos de estacas em concreto. No Bloco 1, as cargas previstas tinham os valores variando entre 75.7% e 94.9% da carga de ruptura, enquanto para o Bloco 2 esta variação foi de 77.3% a 94.1%. As adaptações sugeridas no item 2.1 e empregadas para as verificações, geraram efeitos positivos na previsão da carga total a ser suportada por blocos sobre estacas metálicas.

Bloco	HV I	HV II	HV III	HV IV	HV V	HV VI	Carga de ruptura
1	$6.67 \cdot 10^6 N$	$6.11 \cdot 10^6 N$	$7.28 \cdot 10^6 N$	$7.20 \cdot 10^6 N$	$8.36 \cdot 10^6 N$	$7.58 \cdot 10^6 N$	$8.81 \cdot 10^6 N$
2	$9.83 \cdot 10^6 N$	$8.74 \cdot 10^6 N$	$10.1 \cdot 10^6 N$	$9.06 \cdot 10^6 N$	$10.6 \cdot 10^6 N$	$9.47 \cdot 10^6 N$	$11.3 \cdot 10^6 N$

Tabela 5. Comparação entre as hipóteses de cálculo e ensaios experimentais.

Segundo o relatório dos ensaios (AISI, 1982), ambos os blocos sofreram rupturas precoces, causadas por motivos diferentes. No Bloco 1, a falha se iniciou por escorregamento da armadura, pois o seu comprimento de ancoragem era insuficiente; em seguida, as estacas centrais penetraram no bloco e a ruptura se deu quando o mesmo ocorreu com o par de estacas da extremidade que não tinham chapa soldada em seu topo. Ver detalhes na Figura 8. Enquanto no Bloco a falha ocorreu mais rapidamente, quando o concreto presente nas faces adjacentes à estaca de uma das extremidades rompeu, devido a falta do confinamento adequado.

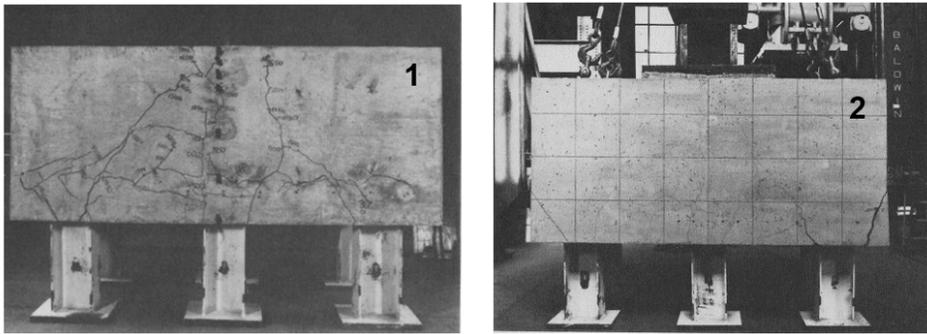


Figura 8. Vistas do Bloco 1 e do Bloco 2 após a ruptura, respectivamente (AISI, 1982).

Apesar de todos os resultados encontrados estarem dentro do previsto e a favor da segurança do bloco, os modelos de bielas e tirantes não produziram valores tão conservativos quanto seria esperado. Este fato se explica pela ruptura prematura dos blocos, os quais, se executados de forma apropriada, poderiam ter resistido a cargas ainda maiores do que as obtidas durante os experimentos.

4 | PROGRAMA PROPOSTO

As comparações entre os resultados de previsão de carga – através de verificações – e os resultados experimentais, especialmente dos ensaios realizados pelo AISI (1982), proporcionaram uma base para o desenvolvimento do programa proposto para o dimensionamento de blocos de coroamento sobre estacas metálicas.

4.1 Programa para blocos sobre estacas metálicas

O programa elaborado, com a utilização do software Mathcad (versão 14) faz o dimensionamento da armadura de flexão do bloco sobre estacas metálicas submetido a carga vertical centrada. Assim como para verificações (itens 2.4 e 3.2), cada biela do modelo é dimensionada isoladamente.

Algoritmo implementado no programa para dimensionamento da armadura de flexão:

- 1) Inserção dos dados (dimensões do bloco e das estacas, propriedades do concreto e aço e carga de projeto);
- 2) Cálculo das resistências das zonas nodais do modelo;

$$f_{cd1} = 0.85 \cdot \alpha_{V2} \cdot f_{cd} \quad (15)$$

$$f_{cd3} = 0.72 \cdot \alpha_{V2} \cdot f_{cd} \quad (16)$$

- 3) Definição das expressões que calculam as características geométricas da biela (ângulo de inclinação, área da seção transversal inferior e superior);

4) Definição das componentes de forças atuantes no eixo da biela e nos eixos dos tirantes ortogonais;

5) Definição da função a ser minimizada, que tem como variável a profundidade da região nodal localizada abaixo do pilar;

$$f(y) = y \quad (17)$$

6) Definição das restrições impostas ao problema:

a) Verificação da tensão na zona nodal abaixo do pilar:

$$\sigma_{cd,pil}^{bie} = \frac{F_{bie}}{A_{bie,pil}} \geq f_{cd1} \quad (18)$$

b) Verificação da tensão na zona nodal acima da estaca:

$$\sigma_{cd,est}^{bie} = \frac{F_{bie}}{A_{bie,est}} \geq f_{cd3} \quad (19)$$

7) Minimização da função (com o recurso disponível no software) e obtenção da profundidade y que define a zona nodal abaixo do pilar;

$$\min(y) = y \quad (20)$$

8) Cálculo da armadura para os tirantes ortogonais;

$$A_s = \frac{F_{tir}}{f_{yk}} \quad (21)$$

9) Cálculo da ancoragem da armadura principal, considerando o confinamento da zona nodal e a influência da compressão transversal.

5 | CONCLUSÃO

O método de bielas e tirantes é recomendado – em regulamentações de vários países e na literatura – para o dimensionamento de blocos de ancoragem por gerar resultados que são tão seguros quanto o necessário para que os riscos geotécnicos e de execução sejam cobertos. a estrutura estudada tem comportamento complexo e de difícil análise, a aproximação obtida já é considerada bastante satisfatória.

A comparação do programa de verificação (descrito no item 2.4) com os ensaios experimentais realizados por Sabnis e Gogate (1984) em blocos sobre estacas com seção circular, produziu resultados bastante conservadores.

As adaptações propostas no item 3.1 foram fundamentais para ajustar o método de bielas e tirantes ao uso com estacas metálicas de seção laminada. As comparações entre as hipóteses de verificação e os resultados do relatório do AISI (1982) chegaram a valores bastante próximos, inclusive compatíveis com as exigências normativas estabelecidas.

Apesar disso, os valores não foram tão conservadores quanto a expectativa de aplicação deste método, por consequência das rupturas antecipadas ocorridas nos blocos ensaiados.

Aliando-se o programa de dimensionamento elaborado (via software Mathcad) – com base nos resultados das comparações e verificações realizadas – às adaptações mencionadas, é possível o dimensionamento das armaduras principais de flexão de blocos sobre estacas metálicas submetidos a cargas centradas, produzindo resultados confiáveis e seguros.

REFERÊNCIAS

ADEBAR, P., KUCHMA, D., & COLLINS, M. P., 1990. **Strut-and-tie models for the design of pile caps: an experimental study**. *ACI Structural Journal*, vol. 87, n. 10, pp. 81–92.

ADEBAR, P., & ZHOU, L., 1996. **Design of deep pile caps by strut-and-tie models**. *ACI Structural Journal*, vol. 93, n. 41, pp. 437–448.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ARAÚJO, J. M., 2016. **Design of rigid pile caps through an iterative strut-and-tie model**. *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 14, n. 8, pp. 397–407.

CAVERS, W. & FENTON, G. A., 2004. **An evaluation of pile cap design methods in accordance with the Canadian design standard**. *Canadian Journal of Civil Engineering*, n. 31, pp. 109–119.

Chantelot, G. & Mathern, A., 2010. **Strut-and-tie modelling of reinforced concrete pile caps**. Master's thesis, Chalmers University of Technology.

CONCRETE REINFORCING STEEL INSTITUTE. **Design guide for pile caps**. 2015.

FUSCO, P. B., 2013. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**. 2ª Ed. PINI.

GAI Consultants Incorporated, 1982. **The steel pile pile cap connection**. American Iron and Steel Institute. (Sponsored report, Aug. 1982).

Sabnis, G. M., & Gogate, A. B., 1984. **Investigation of thick slab (pile cap) behavior**. *ACI Journal*, vol. 81, n. 5, pp. 35–39.

Santos, D. M., & Rahal, R. R., 2015. **Exemplo de aplicação dos conceitos da seção 22**. Revisão de Fernando Rebouças Stucchi., In Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural/Instituto Brasileiro do Concreto. *ABNT NBR 6118:2014 Comentários e exemplos de aplicação*, pp. 433-479. 1ª Ed. IBRACON.

Sorentino, A. W., 2012. **Behavior and analysis of pile caps with poor Anchorage details**. Master's thesis, Oregon State University.

Souza, R. A., 2004. **Concreto estrutural: análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 70, 82, 120, 168, 169, 182, 257, 262, 265, 322, 330

Análise avançada 53, 54, 55, 68

Análise computacional 84, 103

Análise estrutural 55, 71, 82, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 97, 103, 109, 110, 111

Aprendizado 13, 174, 193, 194, 197, 208, 215, 224, 268

B

Bullying 206, 207, 208, 210, 211, 212, 213, 214

C

Carga crítica 143, 144, 147, 148, 149, 152, 153

Computational fluid dynamics 329, 330, 350

Constitutive model 1, 2, 5, 6, 10

Contorno 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 71, 299

Controlador neural 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 179

Controle 19, 119, 120, 131, 168, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 240, 295, 312, 352, 353, 356, 358

D

Deep learning 131, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 142

Descarte adequado 198

Desenvolvimento 11, 12, 14, 15, 17, 20, 21, 35, 36, 40, 44, 82, 83, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 200, 205, 206, 208, 209, 210, 211, 215, 216, 217, 221, 225, 226, 227, 254, 260, 265, 281, 294, 327, 352, 354, 357, 359, 361, 362, 363, 364

Design patterns 155, 156, 166, 167, 226, 227, 228, 230, 231, 234, 238

Diferenças finitas 38, 39, 40, 45, 50, 51, 52, 315

Digital 167, 197, 206, 207, 210, 213, 239, 243, 319, 320, 358, 359, 360, 362, 363, 365

Drop test 131, 132, 133, 134, 135, 141

E

Educação 12, 13, 14, 21, 53, 68, 70, 191, 193, 195, 197, 208, 212, 215, 225, 279, 290, 311, 326, 359, 366

Educacional 14, 82, 206, 208, 209

Elemento hexaédrico 70, 72, 75, 77

Elementos finitos 53, 55, 69, 70, 71, 72, 83, 279, 280, 281, 285, 286, 290, 291, 294, 297,

299, 303, 306, 309, 321

Equações diferenciais 39, 40, 44, 51, 71, 294

Estabilidade estrutural 143

Estatística 21, 215, 216, 217, 218, 224, 225

Estrutura 17, 38, 54, 71, 72, 75, 77, 78, 81, 82, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 106, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 152, 218, 221, 253, 266, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 286, 288, 291, 292, 293, 297, 298, 302, 309, 362, 363

F

Ferramenta 15, 18, 22, 39, 193, 194, 195, 196, 200, 204, 210, 211, 216, 224, 294, 313, 354, 356, 360, 361, 363

Frequências naturais 143, 144, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 153

Fundação elástica 143

G

Geometria irregular 38

Gestão de processos 351, 352, 354, 355, 358

I

Imperfeições geométricas iniciais 53, 54, 55, 62, 64, 67, 69

Inclusão 29, 33, 35, 36, 67, 68, 197, 359, 360

Industrial process 131

Informação 12, 21, 193, 205, 216, 351, 354, 355, 356, 357, 358, 360, 366

Inovação 86, 104, 105, 193, 366

Interfaces 215, 216, 225, 231, 232, 233, 234, 235, 361

J

Jogo 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213

L

Layout 221, 222, 359, 360, 362

Libras 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22

M

Malha 38, 39, 40, 44, 45, 46, 49, 50, 72, 79, 108, 182, 285, 299, 303, 304, 313, 321, 322, 326

Modelagem 31, 33, 35, 36, 38, 39, 70, 72, 149, 194, 251, 255, 268, 280, 285, 294, 295, 299, 305, 351, 352, 353, 354, 356, 357, 358

Modos incompatíveis 70, 72, 75, 76, 77, 79, 80, 82, 83

O

Oscar Niemeyer 84, 85, 86, 87, 89, 101, 102, 103, 104, 105, 118

P

Pasternak 143, 144, 145, 149, 151, 153, 154

Processos 82, 171, 240, 312, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 361

Programação 72, 211, 215, 224, 361

Programas 55, 205, 206, 210, 214, 294, 359

Projeto socioambiental 198

R

Realidade aumentada 193, 194, 195, 196, 197

Rede neural 168, 169, 171, 175

Resistência 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 89, 96, 131, 145, 255, 256, 258, 261, 262, 263, 280, 294, 314

Robô 168, 169, 170, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Robótica 168

RPG 11, 12, 15, 16, 18

RStudio 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225

S

Shiny 215, 216, 217, 218, 220, 221, 224, 225

Simulações 23, 24, 30, 31, 33, 35, 38, 44, 50, 168, 169, 175, 181, 311, 312, 326, 329

Sobretensões de manobras 23, 24, 25, 29, 30

Software 1, 6, 12, 18, 40, 53, 55, 66, 70, 71, 72, 77, 79, 80, 82, 103, 155, 156, 157, 158, 159, 166, 167, 196, 210, 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 237, 238, 239, 256, 257, 263, 265, 266, 267, 281, 285, 297, 299, 300, 311, 320, 321, 330, 356, 357, 359, 360, 363, 364

Stable hysteresis cycle 1, 3, 9

Summarization 329, 330, 331, 332, 343, 349, 350

Supressores de surto 23, 25, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36

Sustentabilidade 198, 199

T

Tecnologia 11, 12, 21, 54, 70, 168, 193, 194, 196, 197, 206, 208, 215, 279, 290, 311, 326, 351, 355, 358, 359, 362, 366

Tensão 1, 24, 25, 26, 27, 28, 33, 34, 59, 62, 63, 66, 67, 75, 170, 255, 256, 258, 260, 261,

266, 295

Tensões residuais 53, 54, 55, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Transformadores 23, 24, 25, 28, 30, 34, 35, 36

Transitórios eletromagnéticos 23, 24, 31

W

Web 54, 194, 195, 196, 200, 215, 216, 217, 218, 221, 222, 225, 355, 359, 360, 361, 362, 363, 365

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

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

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

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