

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora
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 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
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 Miraniilde 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

AGANNO: 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 |

FLAMBAGEM E VIBRAÇÃO DE ANÉIS E TUBULAÇÕES ESBELTAS EM UMA FUNDAÇÃO ELÁSTICA

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 05/05/2021

Mariana Barros dos Santos Dias

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental,
Pontifícia Universidade Católica do Rio de
Janeiro (PUC-Rio)
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/9117130787097879>

Paulo Batista Gonçalves

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental,
Pontifícia Universidade Católica do Rio de
Janeiro (PUC-Rio)
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/5457197162245079>

RESUMO: Estudos já realizados mostraram que anéis e tubulações elásticas de paredes finas estão sujeitos a instabilidades quando sob tensões compressivas. A natureza seguidora da força devida à pressão hidrostática influencia fortemente a carga de flambagem e a previsão da carga de flambagem crítica pode ser de até 50% se este efeito for desprezado para anéis esbeltos. Neste trabalho, foram estudadas a estabilidade e as vibrações de anéis e tubulações apoiados em uma fundação elástica de Pasternak. O estudo começou com a formulação de funcionais de energia de deformação interna, com base na teoria não linear descrita em Brush e Almroth (1975), energia potencial de cargas externas, energia de deformação interna da fundação de Pasternak e energia cinética. Com base na função

de Lagrange e no princípio de Hamilton, foram obtidas as equações não lineares do movimento do anel, as quais, posteriormente, ao serem linearizadas, dão origem às expressões analíticas para o cálculo das frequências naturais e modos de vibração. Através do critério do equilíbrio adjacente e da energia potencial mínima, foram derivadas as equações de equilíbrio crítico, então foi possível torná-las adimensionais para estudo, através de uma análise paramétrica, que mostra a influência dos parâmetros geométricos e físicos do anel e da fundação na carga crítica, frequências naturais e relação não linear carga-frequência, considerando o efeito da força seguidora da pressão hidrostática.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade estrutural, carga crítica, frequências naturais, fundação elástica, fundação de Pasternak.

BUCKLING AND VIBRATION OF SLENDER RINGS AND PIPES ON AN ELASTIC FOUNDATION

ABSTRACT: Previous studies have shown that thin-walled elastic rings and pipes when under a state of compressive stresses are subject to instability. The following nature of the force due to the hydrostatic pressure strongly influences the buckling load and the forecast of the critical buckling load can be up to 50% if this effect is neglected, for slender rings. In this work, the stability and vibrations of thin-walled rings and pipes on an elastic Pasternak base were studied. The study began with the formulation of internal deformation energy functionals, based on the nonlinear theory described in Brush

and Almroth (1975), potential energy of external loads, internal deformation energy of the Pasternak foundation and kinetic energy. Based on the Lagrange function and the Hamilton principle, the nonlinear equations of motion of the ring were obtained, which, later, when it was linearized, it derived the analytical expressions for the calculation of natural frequencies and modes of vibration. Through the criterion of the adjacent equilibrium and the minimum potential energy, the equations of critical equilibrium were derived, then it was possible to make them dimensionless to study, through a parametric analysis, which shows the influence of the geometric and physical parameters on the critical load, natural frequencies and load-frequency nonlinear relation, considering the follower force effect of the hydrostatic pressure. **KEYWORDS:** Structural stability, critical load, vibration frequencies, elastic foundation, Pasternak foundation.

1 | INTRODUÇÃO

Anéis e tubulações têm uma variedade de aplicações na engenharia civil, mecânica e biomecânica e, em muitos casos, são envolvidos por um meio elástico. Esta pesquisa estuda as características de flambagem e vibração de anéis e tubulações apoiados em uma base elástica de Pasternak [3], [6], usando uma formulação não linear [2], [5], a equação de flambagem pode ser deduzida usando a teoria de flambagem de Euler para tubulações longas modelando-as como um anel [5]. A análise de estabilidade e vibração de anéis e cascas cilíndricas longas continua sendo um assunto de pesquisa significativo devido a várias aplicações tecnológicas com contribuições modernas, incluindo [1], [4], [8]. A influência dos parâmetros geométricos e físicos na carga crítica, frequências naturais e relação carga-frequência não linear, considerando o efeito da força seguidora da pressão hidrostática é observada através da análise paramétrica.

2 | FORMULAÇÃO

Para geometria, considera-se um anel circular fino de raio a , seção transversal com base b e espessura h . Para um ponto a ser analisado, o raio a faz um ângulo θ com os eixos cartesianos x . Com o ângulo e o raio, o problema é formulado em coordenadas polares como ilustrado na Figura 1.

Para os graus de liberdade no ponto analisado, há um vetor, cujas componentes são \bar{v} (circunferencial) e \bar{w} (radial) e as magnitudes desses vetores são v e w , que são os deslocamentos radial e circunferencial, respectivamente.

Para o carregamento, o anel está sob pressão hidrostática de magnitude q .

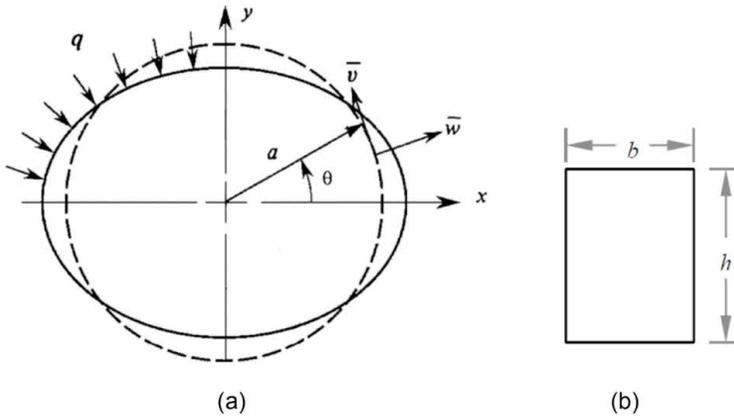


Figura 1: Anel sob pressão hidrostática: geometria e Sistema de coordenadas. (a) Kyriakides e Corona (2007) adaptado pelos autores.

Considera-se que o material é elástico, isotrópico e linear, com módulo de elasticidade E e ρ com massa por unidade de volume.

A energia potencial do anel sob pressão hidrostática é dada por [2].

$$\Pi = \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{EAa}{2} \left[\frac{v' + w}{r} + \frac{1}{2} \left(\frac{v - w'}{r} \right)^2 \right]^2 + \frac{El a}{2} \left(\frac{v' - w''}{a^2} \right)^2 \right\} d\theta + qa \int_0^{2\pi} \left[w + \frac{1}{2a} (v^2 - vw' + v'w + w^2) \right] d\theta \quad (1)$$

onde A e I são respectivamente a área e o momento de inércia da seção transversal, w e v são os deslocamentos radial e circunferencial, respectivamente, e $(\quad)' = \partial/\partial\theta$.

A energia potencial gravitacional da pressão hidrostática é escrita como

$$\Omega = qa \int_0^{2\pi} \left[w + \frac{1}{2a} (v^2 - vw' + v'w + w^2) \right] d\theta \quad (2)$$

A energia interna de deformação para o modelo de fundação de Pasternak toma a forma [3], [6]:

$$U_f = \frac{1}{2} K_r \int_0^{2\pi} w^2 a \, d\theta + \frac{1}{2} K_g \int_0^{2\pi} \frac{w_{,\theta}^2}{a} d\theta \quad (3)$$

onde a reação da fundação é determinada por uma constante de mola radial K_r (o módulo de reação da fundação de Winkler, que representa a resistência à compressão do solo) em combinação com um parâmetro K_g , que é responsável pelo efeito de cisalhamento do solo.

A energia cinética do anel esbelto considerando a inércia à rotação é dada por

$$T = \frac{1}{2} A \rho a \int (\dot{v}^2 + \dot{w}^2) d\theta + \frac{1}{2} I \rho a \int \left(\frac{\dot{v} - \dot{w}'}{a} \right)^2 d\theta \quad (4)$$

onde ρ é a massa por unidade de volume, o ponto representa a derivada com relação ao tempo.

As equações de equilíbrio crítico são dadas por

$$\begin{aligned} (v_1' + w_1)' E A a^2 + (v_1 + w_1)'' E I &= 0 \\ K_r a^4 w_1 + (w_1 + w_1'') q a^3 + [(v_1' + w_1) E A - K_g w_1''] a^2 - (v_1 - w_1)''' E I &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

A solução analítica dos modos de flambagem e vibração assume a forma:

$$v = B \operatorname{sen}(n\theta), \quad w = C \operatorname{cos}(n\theta) \quad (6),$$

onde n é o número de ondas circunferenciais.

Aplicando as soluções e escrevendo em forma matricial:

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{cc} n^2 \left(1 + \frac{I}{A a^2} \right) & n \left(1 + n^2 \frac{I}{A a^2} \right) \\ n \left(1 + n^2 \frac{I}{A a^2} \right) & \left(1 + n^4 \frac{I}{A a^2} \right) - (n^2 - 1) \frac{q a}{E A} + \frac{1}{E A} (K_r a^2 + K_g n^2) \end{array} \right] \begin{Bmatrix} B \\ C \end{Bmatrix} \\ = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

Sabendo que as matrizes de rigidez K_E e a matriz de rigidez geométrica K_G são dadas respectivamente por

$$\begin{aligned} K_E &= \begin{bmatrix} E n^2 (I + A a^2) & E n (I n^2 + A a^2) \\ E n^2 (I n^2 + A a^2) & E (I n^4 + A a^2) + a^2 (K_r a^2 + K_g n^2) \end{bmatrix}, \quad K_G = \\ \left| \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & -a^3 (n^2 - 1) \end{array} \right| \end{aligned} \quad (8)$$

e também que a matriz de massa toma a forma:

$$M = -\rho a^2 \begin{bmatrix} I + A a^2 & I n \\ I n & I n^2 + A a^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

A equação característica $|K_E - q K_G|$ do problema de autovalores de estabilidade leva à seguinte seqüência de autovalores:

$$\bar{q}_n = \left\{ \left[n^2 (n^2 - 2) + 1 + \bar{K}_r + \bar{K}_g n^2 \right] / (n^2 - 1) \right\} \quad n = 2, 3, 4 \dots \quad (10)$$

onde os seguintes termos não dimensionais são usados: $\bar{q} = q a^3 / E I$; $\bar{K}_r = K_r a^4 / E I$; $\bar{K}_g a^2 / E I$. Para um tubo longo, a rigidez é reescrita como $E I = E h^3 / 12(1 - \nu^2)$ onde ν é o coeficiente de Poisson [5].

A equação característica $|K_E - q K_G| - \omega^2 M| = 0$ do problema de autovalor de vibração livre não amortecida leva aos seguintes autovalores para as frequências naturais do anel carregado:

$$\bar{\omega}_1 = \left\{ \frac{1}{2\delta(n^2 + \delta + 1)} \left\{ \delta(2n^4 - n^2 + 1) + \delta^2(n^2 + 1) - \bar{q}(\delta + 1)(n^2 - 1) \right. \right. \\ + (\delta + 1)(\bar{K}_r + \bar{K}_g n^2) \\ - \left\{ \delta^4(n^4 + 2n^2 + 1) + 2\delta^3(5n^4 - 2n^2 + 1) + \delta^2(9n^4 - 6n^2 + 1) \right. \\ + [2\delta\bar{q}(\bar{q} + \delta^2) + \bar{q}^2(1 + \delta^2)](n^4 - 2n^2 + 1) + 4\delta^2\bar{q}(2n^4 - 3n^2 + 1) \\ + 2\delta\bar{q}(3n^4 - 4n^2 + 1) \\ - [2\delta^2(\bar{q} + \delta) + 2\bar{q}(1 + 2\delta)](n^2 - 1)(\bar{K}_r + \bar{K}_g n^2) \\ - 4\delta^2(2n^2 - 1)(\bar{K}_r + \bar{K}_g n^2) - 2\delta(3n^2 - 1)(\bar{K}_r + \bar{K}_g n^2) \\ \left. \left. + (\delta^2 + 2\delta + 1)(\bar{K}_r + \bar{K}_g n^2)^2 \right\}^{1/2} \right\} \quad (11)$$

onde $\delta = 12(h/a)^2$, $\bar{\omega} = \sqrt{\rho a^2 \omega^2 / E}$ na frequência não dimensional e ω é a frequência em rad/s correspondente ao modo flexural. O segundo autovalor mais alto corresponde aos movimentos circunferenciais.

3 I RESULTADOS

Usando as expressões analíticas não dimensionais deduzidas, uma análise paramétrica detalhada é agora realizada para estudar o efeito da fundação na carga crítica, frequências naturais e na relação de carga-frequência.

3.1 Carga crítica

A Figura 2 (a) mostra a variação das cargas críticas em função do número de ondas circunferenciais n para valores selecionados do parâmetro de rigidez da fundação de Winkler \bar{K}_r . Para $\bar{K}_r = 0$, a carga crítica corresponde a $n = 2$ com $\bar{q}_{cr} = 3$ [2], [5]. Se o efeito de força seguidora de pressão hidrostática não for considerado na Eq.(1) \bar{q}_{cr} aumenta para 4.5. À medida que \bar{K}_r aumenta, a carga crítica e o número de ondas circunferenciais associados à carga crítica aumentam. A Figura 2 (b) mostra a variação das cargas críticas em função da rigidez da fundação \bar{K}_r , onde a variação do número de ondas crítico n com a rigidez da fundação é claramente observada.

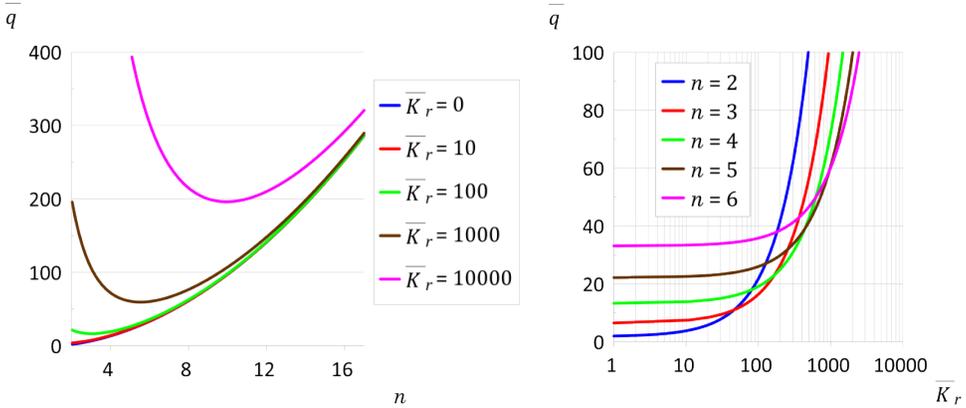
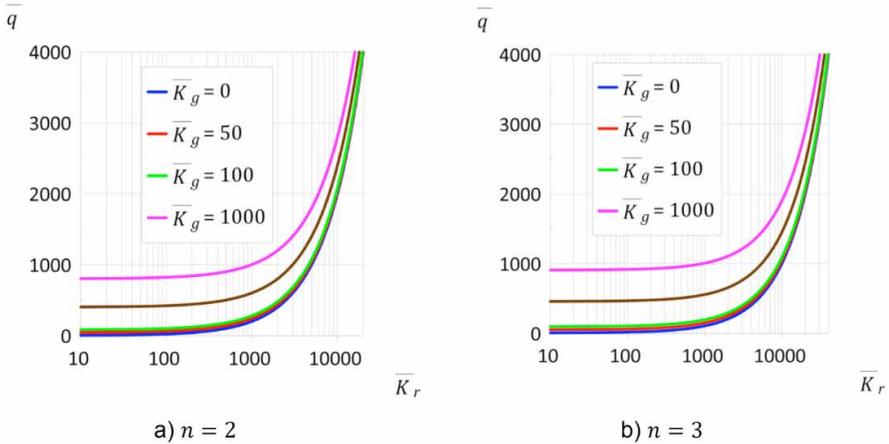


Figura 2: Variação da carga crítica (a) com o número de ondas circunferenciais n para valores selecionados de rigidez da fundação \bar{K}_r ; (b) com a rigidez da fundação \bar{K}_r para valores selecionados de n .

A Figura 3 ilustra a influência do parâmetro de rigidez da fundação \bar{K}_g na carga crítica. Conforme observado na Eq., a carga aumenta com \bar{K}_g e n^2 .

Para um dado valor de n , a diferença entre cargas de bifurcação sucessivas diminui à medida que \bar{K}_g aumenta.



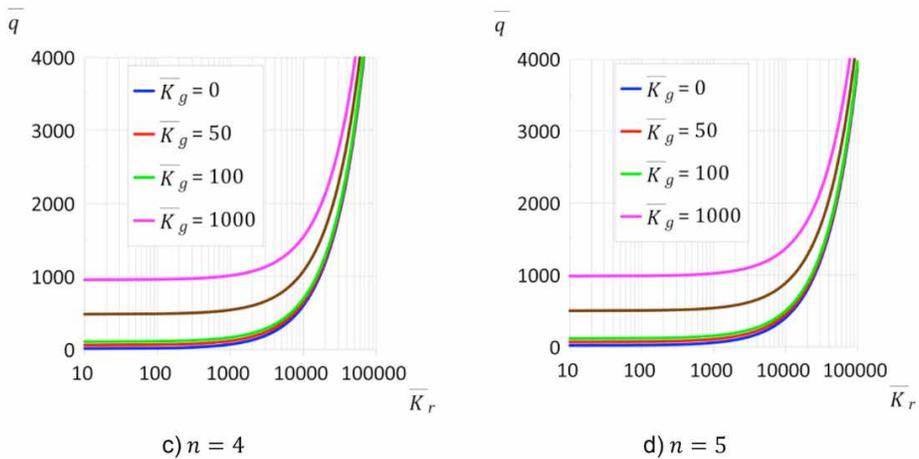


Figura 3: Variação da carga crítica com a rigidez da fundação \bar{K}_r para valores selecionados do parâmetro de rigidez da fundação Pasternak \bar{K}_g e $n = 2$.

Schmidt [7] discute as diferentes expressões e valores da pressão crítica de anéis esbeltos como uma função da carga de modelagem e mostra que geralmente $\bar{q}_{cr} = k^2$ com k^2 variando entre 0,701 e 5,6, mostrando a importância da descrição da carga nos resultados.

3.2 Frequências naturais

Na análise paramétrica apresentada a seguir, observou-se que a influência da inércia à rotação na matriz de massa é desprezível para anéis esbeltos com $a/h \geq 50$, já que todos os resultados são praticamente coincidentes com aqueles obtidos desconsiderando a inércia à rotação. Assim os resultados considerando a inércia à rotação não são apresentados.

A Figura 4 mostra a variação da frequência natural adimensional de flexão $\bar{\omega}_1$ com o número de ondas circunferenciais n para quatro valores de a/h ($a/h = 20, 50, 100$ e 500) e valores selecionados da rigidez da fundação \bar{K}_r ($\bar{K}_r = 100, 500, 1000$). Quanto maior o número de ondas circunferenciais n , maior a frequência natural. Quanto maior a razão a/h , ou seja, quanto mais esbelto o anel, menores os valores de frequências naturais para os mesmos números de ondas circunferenciais n . Como esperado, as frequências naturais aumentam à medida que a rigidez da fundação aumenta. Para um dado valor de a/h , a diferença entre as frequências naturais diminui à medida que n aumenta.

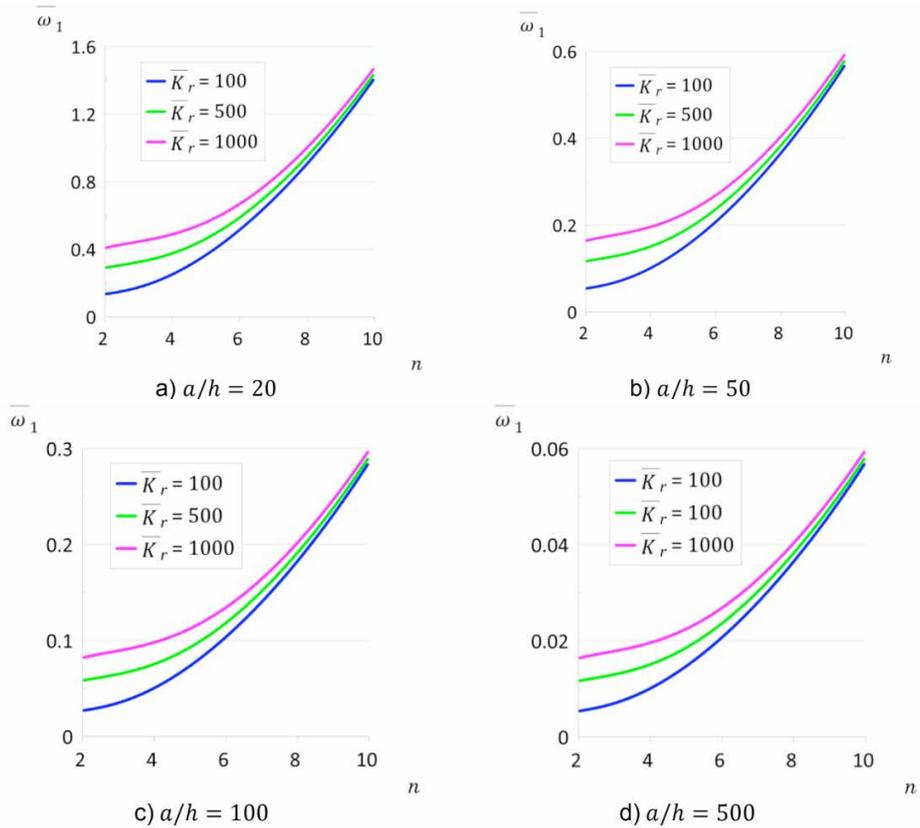


Figura 4: Variação da menor frequência natural adimensional do anel com fundação em função do número de ondas circunferenciais n para $a/h = 20, 50, 100$ e 500 e valores selecionados da rigidez da fundação \bar{K}_r .

A Figura 5 ilustra a influência do parâmetro de fundação de Winkler \bar{K}_r nas quatro frequências naturais mais baixas, onde de acordo com a Figura 4, as frequências naturais de flexão aumentam com n . Inicialmente, a influência da rigidez da fundação é muito pequena, mas para $\bar{K}_r > 10^6$, as frequências naturais aumentam constantemente com \bar{K}_r . A diferença entre as frequências naturais consecutivas também aumenta.

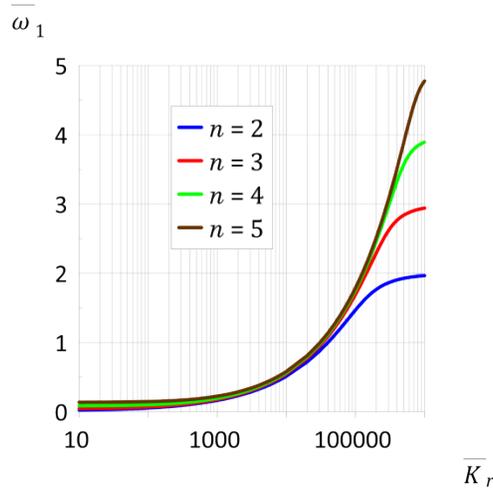


Figura 5: Variação das quatro menores frequências naturais do anel $\bar{\omega}_1$ em função de \bar{K}_r .

A Figura 6 ilustra a influência dos parâmetros de fundação de Pasternak \bar{K}_r e \bar{K}_g nas frequências naturais mais baixas ($n = 2$). A frequência fundamental aumenta com \bar{K}_g para um dado valor de \bar{K}_r , sendo sua influência particularmente importante para $\bar{K}_r < 10^6$. A influência de \bar{K}_g diminui à medida que \bar{K}_r aumenta e desaparece para grandes valores de \bar{K}_r (fundação rígida).

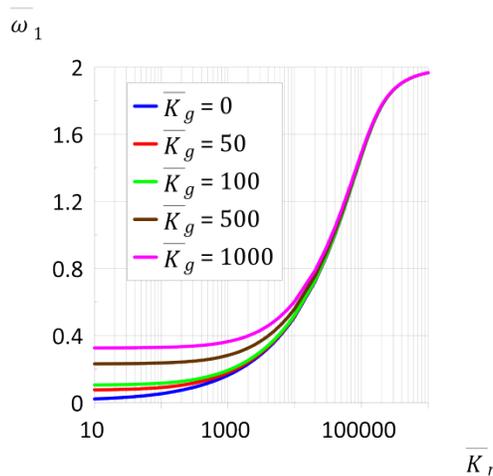


Figura 6: Variação das frequências naturais mais baixas do anel ($n=2$) em função de \bar{K}_r para valores selecionados de \bar{K}_g .

3.3 Relação carga-frequência

Sabe-se que em estruturas sujeitas a flambagem, as tensões de compressão têm

forte influência nas frequências naturais com a frequência natural mais baixa tornando-se zero na carga crítica.

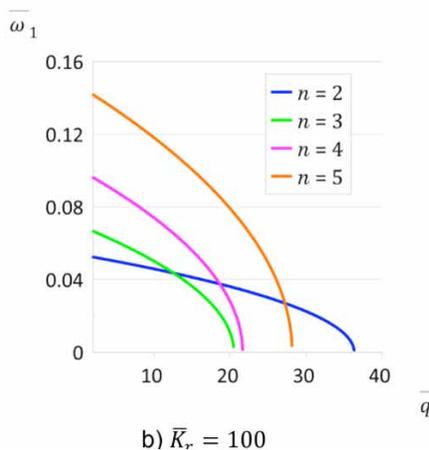
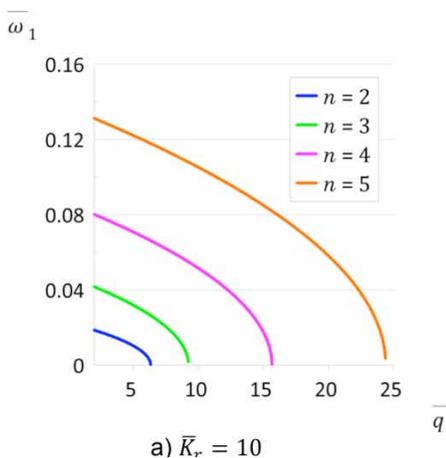
A Figura 7 ilustra a influência do parâmetro de rigidez \bar{K}_r na relação carga-frequência para $\bar{K}_g = 0$ e $a/h = 50$ para os quatro valores de frequências naturais mais baixas.

Para $\bar{K}_r = 10$ (Figura 7a), observa-se que à medida que o valor da carga de compressão aumenta, os valores das frequências diminuem até chegar à carga de bifurcação em cada modo. Nota-se que há uma grande influência do carregamento nas frequências de vibração. Para efeito prático, quando se atinge a primeira carga crítica, um dos autovalores se torna negativo e ocorre a flambagem, passando a estrutura a vibrar em torno de uma configuração de equilíbrio pós-crítica.

Para $\bar{K}_r = 100$ (Figura 7b), um comportamento diferente já é observado com a curva em relação a $n = 2$ cruzando as outras 3 curvas. Para o anel sem carga, as frequências aumentam com o número de onda circunferencial n , mas, à medida que \bar{q} aumenta, há uma mudança na sequência dos modos de vibração, e a frequência natural mais baixa passa a ser associada a $n = 3$, pois para o valor adotado de \bar{K}_r , este é o número de ondas do modo crítico.

Para $\bar{K}_r = 500$ (Figura 7c), o número de semiondas associado à frequência fundamental cresce com a carga axial compressiva, sendo que a frequência associada a $n=5$ é a primeira a se tornar nula, concordando com o modo crítico para este valor de \bar{K}_r . Nota-se neste caso várias intercessões das curvas em torno de $\bar{K}_r = 30$, o que pode levar a diversos problemas de ressonância, incluindo ressonância interna e interação modal. Entretanto, estes fenômenos só podem ser estudados através de uma formulação dinâmica não linear.

Para $\bar{K}_r = 1000$ (Figura 7d), este problema se torna mais evidente, com o número de ondas associado à menor frequência crescendo rapidamente em um pequeno intervalo de \bar{q} .



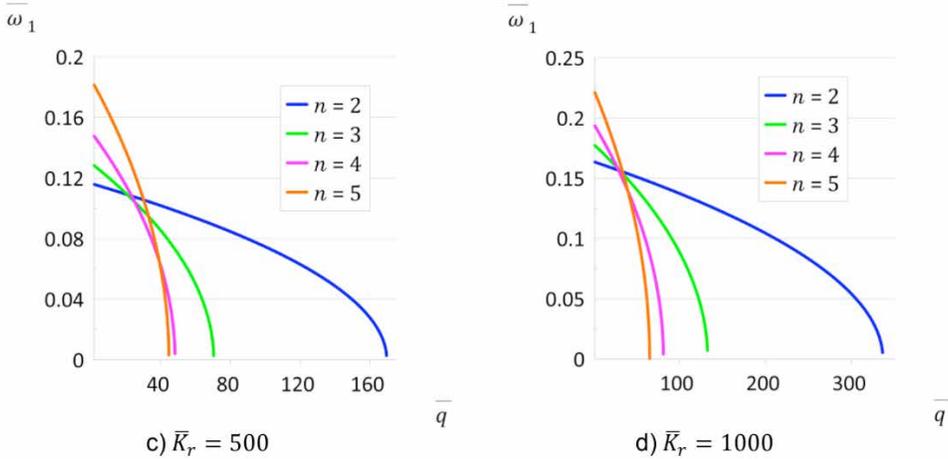


Figura 7: Variação das quatro frequências naturais mais baixas do anel com a pressão aplicada \bar{q} para valores selecionados de ondas circunferenciais n com rigidezes de fundação $\bar{K}_r = 10, 100, 500$ e 1000 e $\bar{K}_g = 0$ para $a/h = 50$.

Portanto, a sequência de modos de vibração em anéis carregados muda com a carga aplicada e os parâmetros de rigidez da fundação.

4 | CONCLUSÕES

A formulação variacional para a resposta dinâmica de um anel ou casca cilíndrica longa (tubulação) sob pressão hidrostática apoiada em uma fundação de Pasternak é apresentada neste estudo e soluções de forma fechada são deduzidas para a carga crítica, frequências naturais e relação carga-frequência. Os resultados de uma análise paramétrica detalhada mostram a influência da carga aplicada e dos dois parâmetros de rigidez da fundação de Pasternak nas características de flambagem e vibração do anel. A fundação Pasternak constitui uma alternativa atraente à fundação de Winkler no que diz respeito à maior flexibilidade do modelo simples de 2 parâmetros.

RECONHECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências de pesquisa brasileiras CAPES [código de financiamento 001], CNPq e FAPERJ-CNE.

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

Os autores confirmam que são os únicos responsáveis pela autoria deste trabalho, e que todo o material aqui incluído como parte do presente trabalho é propriedade (e autoria) dos autores, ou tem a permissão dos proprietários a serem incluídos aqui.

REFERÊNCIAS

- [1] AZZUNI, Eyas; GUZEY, Sukru. A perturbation approach on buckling and postbuckling of circular rings under nonuniform loads. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 137, p. 86-95, 2018.
- [2] BRUSH, D. O.; ALMROTH, B. O. **Buckling of bars, plates and shells**. McGraw Hill, New York 1975.
- [3] DUC, Nguyen Dinh; THANG, Pham Toan. Nonlinear response of imperfect eccentrically stiffened ceramic–metal–ceramic FGM thin circular cylindrical shells surrounded on elastic foundations and subjected to axial compression. **Composite Structures**, v. 110, p. 200-206, 2014.
- [4] GUMBEL, John. New approach to design of circular liner pipe to resist external hydrostatic pressure. In: **Pipelines 2001: Advances in Pipelines Engineering and Construction**. 2001. p. 1-18.
- [5] KYRIAKIDES, Stelios; CORONA, Edmundo. **Mechanics of offshore pipelines: volume 1 buckling and collapse**. Elsevier, 2007.
- [6] PALIWAL, D. N.; BHALLA, Vijay. Large amplitude free vibrations of cylindrical shell on Pasternak foundations. **International journal of pressure vessels and piping**, v. 54, n. 3, p. 387-398, 1993.
- [7] SCHMIDT, Robert. Critical constant-directional pressure on circular rings and hingeless arches. **Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik ZAMP**, v. 31, n. 6, p. 776-779, 1980.
- [8] SHOWKATI, H.; SHAHANDEH, R. Experiments on the buckling behavior of ring-stiffened pipelines under hydrostatic pressure. **Journal of engineering mechanics**, v. 136, n. 4, p. 464-471, 2010.

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
Educativa 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