

COLEÇÃO

# DESAFIOS

DAS

# ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
(ORGANIZADORES)

 Atena  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO

# DESAFIOS

DAS

# ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
(ORGANIZADORES)

 Atena  
Editora  
Ano 2021

<b>Editora chefe</b>	
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira	
<b>Assistentes editoriais</b>	
Natalia Oliveira	
Flávia Roberta Barão	
<b>Bibliotecária</b>	
Janaina Ramos	
<b>Projeto gráfico</b>	
Natália Sandrini de Azevedo	
Camila Alves de Cremo	
Luiza Alves Batista	
Maria Alice Pinheiro	2021 by Atena Editora
<b>Imagens da capa</b>	Copyright © Atena Editora
iStock	Copyright do Texto © 2021 Os autores
<b>Edição de arte</b>	Copyright da Edição © 2021 Atena Editora
Luiza Alves Batista	Direitos para esta edição cedidos à Atena
<b>Revisão</b>	Editora pelos autores.
Os autores	Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

#### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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. Elio Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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 Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gílrene 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

**Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica**

**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica /  
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João  
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5983-259-0  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.590212107>

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz  
(Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.  
CDD 621

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://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. Declararam 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 Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica, materiais e automação, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se ainda estabelecer que estas características levam a alterações quase que imediatas no projeto, sendo uma modificação constante na busca por melhores respostas e resultados.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
MODELAGEM DE UM MANIPULADOR PARALELO 3RRR PARA INCLUSÃO DE ELOS FLEXÍVEIS	
André Vecchione Segura	
Fernanda Thaís Colombo	
Máira Martins da Silva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121071">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121071</a>	
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>9</b>
MODELAGEM NUMÉRICA DE SUSPENSÃO DE ¼ DE VEÍCULO	
Lucas Alves Torres	
Lucas Messias Cunha de Araújo	
João Gabriel Paulino de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121072">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121072</a>	
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>20</b>
OTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA DA SUSPENSÃO DE UM CAMINHÃO COM RESTRIÇÃO DE CONFIABILIDADE	
José Gilberto Picoral Filho	
Ewerton Grotti	
Herbert Martins Gomes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121073">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121073</a>	
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>38</b>
ANÁLISE DE FADIGA PARA OS AÇOS ABNT 1045 E ABNT 4140 PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	
Brenda Martins Fernandes	
Reny Angela Renzetti	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121074">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121074</a>	
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>48</b>
ANÁLISE PARAMÉTRICA DAS FREQUÊNCIAS DOMINANTES DE UM VIOLÃO ACÚSTICO	
Marco Túlio Santana Alves	
Felipe Iglesias	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121075">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121075</a>	
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>56</b>
VORTEX-INDUCED VIBRATIONS MODEL WITH 2 DEGREES OF FREEDOM OF RIGID CYLINDERS NEAR A FIXED WALL BASED ON WAKE OSCILLATOR	
Rafael Fehér	
Juan Pablo Julca Avila	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121076">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121076</a>	

**CAPÍTULO 7.....67**

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM COLETOR SOLAR DE TUBO EVACUADO ECCÊNTRICO

Mavd de Paula Ribeiro Teles

Kamal Abdel Radi Ismail

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121077>

**CAPÍTULO 8.....79**

RADIÔMETRO SOLAR DE BAIXO CUSTO USANDO A PLATAFORMA ABERTA ARDUINO

Elson Avallone

Cristiano Pansanato

Átila Negretti Faro

Dionísio Igor Alves da Silva

Jhonatas Wendel da Silva

Guilherme Biazzi Gonçalves

Mário César Ito

Rafael Paiva Garcia

Paulo César Mioralli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121078>

**CAPÍTULO 9.....92**

TURBULENT FORCED CONVECTION IN THE THERMAL ENTRANCE OF RECTANGULAR DUCTS: ANALYSIS FOR DIFFERENT MODELS OF VELOCITY DISTRIBUTION AND MOMENTUM EDDY DIFFUSIVITY

Dhiego Luiz de Andrade Veloso

Carlos Antônio Cabral dos Santos

Fábio Araújo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121079>

**CAPÍTULO 10.....109**

SELEÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO EM UM ALGORITMO GENÉTICO DE CODIFICAÇÃO REAL APLICADO À OTIMIZAÇÃO DE UM CICLO RANKINE ORGÂNICO DE DUPLO ESTÁGIO

Guilherme de Paula Prado

Renan Manozzo Galante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210710>

**CAPÍTULO 11.....124**

DINÂMICA LINEAR PLANAR DE UM TUBO ENGASTADO TRANSPORTANDO FLUIDO COM UMA MASSA ANEXADA NA EXTREMIDADE LIVRE

Milton Aparicio de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210711>

**CAPÍTULO 12.....138**

SENSOR CAPACITIVO PARA DETECÇÃO DE FRAÇÃO DE VAZIO EM ESCOAMENTO BIFÁSICO ÁGUA-AR

Anderson Giacomeli Fortes

Jeferson Diehl de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210712>

**CAPÍTULO 13.....150**

STUDY OF STATIC AND DYNAMIC LEVELS OF UNDERGROUND AQUIFER WELLS TO MAINTAIN THEIR BALANCE LEVEL IN THE PROVINCE OF ICA - 2014

Primitivo Bacilio Hernández Hernández

Omar Michael Hernández García

Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Marcos Luis Quispe Pérez

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210713>

**CAPÍTULO 14.....164**

SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTELIGENTES E CONTROLE AVANÇADO COM ÉNFASE EM MAPAS COGNITIVOS FUZZY EM SISTEMAS DINÂMICOS APLICADOS EM DIFERENTES ÁREAS, COM ÉNFASE EM ROBÓTICA

Márcio Mendonça

Marina Souza Gazotto

Marina Sandrini

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Fábio Rodrigo Milanez

Lillyane Rodrigues Cintra

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210714>

**CAPÍTULO 15.....181**

ROBÔ AUTÔNOMO PARA ESTACIONAMENTO

Lucas Netto Luzente de Almeida

Graziele Barreto da Costa Almeida

Heitor Gomes de Souza Batista

Armando Carlos de Pina Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210715>

**CAPÍTULO 16.....193**

PROTOTIPIGEM RÁPIDA 3D APLICADA AO ÂMBITO UNIVERSITÁRIO

Vitória de Oliveira Mattos

Lucas Ruzzon de Jesus Ortega

Rafael Issao Fukai

Milena de Sousa Ferreira  
João Pedro Monterani Laguna  
Marcelo Sampaio Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210716>

**CAPÍTULO 17.....199**

UMA SOLUÇÃO ANALITICA PARA EFEITOS MECANICOS EM TUMORES SÓLIDOS AVASCULARIZADOS

Francisco Jose Vargas da Silva  
Fernando Pereira Duda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210717>

**SOBRE OS ORGANIZADORES .....206**

**ÍNDICE REMISSIVO.....207**

# CAPÍTULO 4

## ANÁLISE DE FADIGA PARA OS AÇOS ABNT 1045 E ABNT 4140 PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 22/04/2021

**Brenda Martins Fernandes**

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira – Minas Gerais

<http://lattes.cnpq.br/2693269412723503>

**Reny Angela Renzetti**

Universidade Federal de Itajubá  
Itabira – Minas Gerais

<http://lattes.cnpq.br/6646020534442402>

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi realizar simulações de fadiga pelo método dos elementos finitos a partir de dados estáticos provenientes de ensaios de tração para o aço ABNT 1045 e ABNT 4140 e comparar os resultados obtidos com outras literaturas da área. A metodologia utilizada para a simulação baseou-se no pré-processamento, solução e pós processamento. No pré-processamento, foi desenhada a geometria em CAD (do inglês, computer-aided design), definidas as propriedades do material, gerada a malha e aplicadas as condições de contorno. A solução foi processada pelo software ANSYS® e o pós processamento baseou-se na avaliação dos resultados da simulação. As análises se mostraram próximas das encontradas na literatura quando utilizados dados de propriedades do material do estudo em análise, embora as simulações não tenham considerado tensões residuais, rugosidade ou até mesmo possíveis defeitos na peça. Assim, o método dos

elementos finitos se mostrou uma ferramenta valiosa na análise de fadiga, e se combinada com ensaios experimentais pode ser de grande auxílio no desenvolvimento de projetos.

**PALAVRAS - CHAVE:** Fadiga de alto ciclo, simulação, método dos elementos finitos, aços.

### FATIGUE ANALYSIS FOR ABNT 1045 AND ABNT 4140 STEELS BY THE FINITE ELEMENT METHOD

**ABSTRACT:** The aim of the present work was to carry out fatigue simulations by the finite element method using static data from tensile tests for steel ABNT 1045 and ABNT 4140 and to compare the results obtained with other literature in the area. The methodology used for the simulation was based on pre-processing, solution and post-processing. In pre-processing, CAD geometry (computer-aided design) was designed, material properties were defined, mesh was generated and boundary conditions were applied. The solution was processed by the ANSYS® software and the post-processing was based on the evaluation of the simulation results. The analyzes were found to be close to those found in the literature when data on the properties of the study material under analysis were used, although the simulations did not consider residual stresses, roughness or even possible defects in the part. Thus, the finite element method proved to be a valuable tool in fatigue analysis, and if combined with experimental tests it can be of great help in the development of projects.

**KEYWORDS:** High cycle fatigue, simulation, finite element method, steel.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os componentes mecânicos estão sujeitos a diversos carregamentos durante sua vida útil, os quais podem ser de origem estática ou dinâmica. Mas independentemente do tipo, falhas podem ocorrer caso não seja realizado um estudo e dimensionamento correto do sistema. A fadiga, por exemplo, é uma falha muito comum proveniente de carregamentos dinâmicos. Por meio de carregamentos cílicos ou flutuantes, uma peça pode apresentar ruptura sem que se tenha um indício característico ou variação marcante, mesmo trabalhando com tensões abaixo do limite de escoamento do material.

A fadiga de alto ciclo ocorre quando tensões cílicas menores que o limite de escoamento do material são aplicadas, o que promove a deformação plástica de modo localizado. Nesta situação, as falhas acontecem para um número alto de ciclos,  $N < 10^5$  ciclos (Oliveira, 2001).

Condições de serviço com altas tensões e baixos números de ciclos também ocorrem na prática, é o caso de turbinas a vapor, por exemplo. Definidas como fadigas de baixo ciclo, essas apresentam tensões relativamente altas (comumente maiores que o limite de escoamento do material) e baixos números de ciclos ( $N < 10^5$  ciclos). É comum ocorrer em função de tensões de origem térmica, uma vez que as tensões térmicas promovem a expansão ou contração do material. Assim, a fadiga de baixo ciclo resulta de deformações cílicas (Dieter, 1985).

Uma maneira de auxiliar nos estudos de fadiga é por meio de simulações, as quais, quando realizadas de modo correto, se mostram uma ferramenta vantajosa. Apesar de ser um método de solução aproximado, as simulações podem minimizar a necessidade de inúmeros testes experimentais e são capazes de ajudar na tomada de decisões sem a construção de vários protótipos físicos, reduzindo a necessidade de uma metodologia baseada na tentativa e erro. Recursos e tempo podem ser melhores administrados através de simulações.

Além disso, os aços ABNT 1045 e ABNT 4140 são amplamente empregados na indústria. O aço ABNT 1045 apresenta uma boa usinabilidade, boa resistência mecânica, média soldabilidade, alta forjabilidade e é comumente utilizado em eixos e peças. Já o ABNT 4140 é um aço empregado em eixos, pinos, bielas e virabrequins, apresentando boa resistência mecânica, média usinabilidade, baixa soldabilidade e alta temperabilidade (Callister, 2012; Chiaverini, 2005).

Assim, este artigo teve como objetivo estudar a vida em fadiga para as ligas ABNT 1045 e ABNT 4140 pelo método dos elementos finitos.

## 2 | METODOLOGIA

Para o presente estudo utilizou-se uma metodologia baseada no pré-processamento, solução e pós-processamento. No pré-processamento, foi realizada a construção da

geometria em CAD, definição das propriedades dos materiais no software, discretização, análise de convergência e aplicação das condições de contorno. O modelo adotado para o corpo de prova foi o formato padrão para ensaios de fadiga (Pereira, 2019). Foi necessário simplificar a geometria, uma vez que ela possuía roscas na extremidade para fixar o corpo de prova em uma máquina universal de ensaios marca MC, modelo WDW-300E. Para a simulação, a rosca acrescentaria um maior tempo de processamento, mesmo não sendo a região de interesse para o trabalho. Por essa razão, a geometria utilizada neste estudo é mostrada na Figura 1.

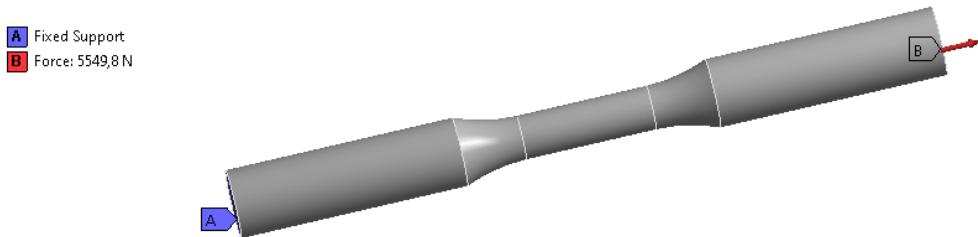
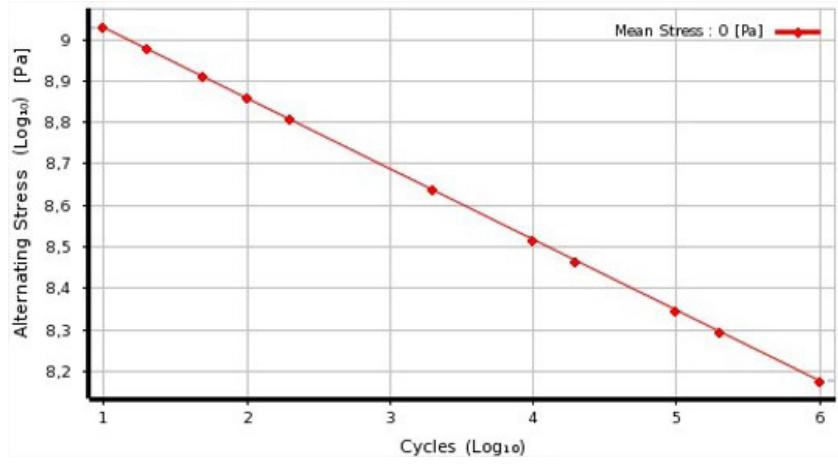


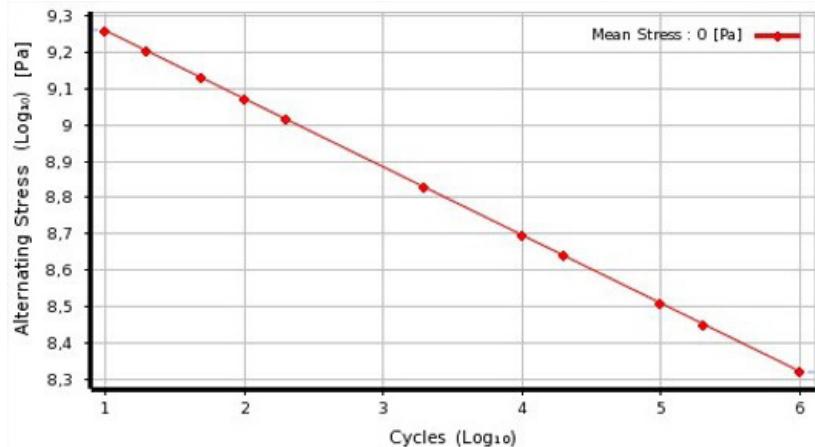
Figura 1: Geometria CAD do corpo de prova para ensaio de fadiga. A região de fixação do corpo de prova está em azul e em vermelho a região de aplicação da força (Autores, 2020).

O ANSYS® apresenta uma biblioteca com alguns materiais, no entanto, caso algum não se encontre no sistema é necessário criar o material com dados que a simulação irá demandar. Para um ensaio de fadiga, é preciso acrescentar propriedades que descrevam como o material irá se comportar, como por exemplo, expoente de resistência à fadiga, coeficiente de ductilidade, além de propriedades como resistência à tração, módulo de elasticidade e limite de escoamento. Desta maneira, os aços ABNT 1045 e ABNT 4140 foram obtidos da literatura (Pereira, 2019) e adicionados manualmente à biblioteca.

Foi necessário acrescentar também a curva S-N característica do material. Como não se tinha conhecimento dessa curva, optou-se por estimar o comportamento dela através de propriedades estáticas. Por meio de condições que o corpo de prova estaria sujeito na simulação (temperatura, carregamento e diâmetro, por exemplo) e propriedades do material como limite de resistência a tração e limite de fadiga médio para  $10^3$  ciclos, foi levantada a curva para o aço 1045 (Fig. 2a) e para o aço 4140 (Fig. 2b). Vale ressaltar que todo o equacionamento tomou como base a bibliografia de Norton (2013).



(a)



(b)

Figura 2: Curva S-N estimada no software ANSYS® para (a) Aço ABNT 1045 (b) Aço ABNT 4140 (Autores, 2020).

A malha para o estudo contou com 7928 nós e 1620 elementos do tipo adaptativo de 3 mm com controle de malha 1 mm. Optou-se pelo controle de malha, pois refiná-la por completo aumentaria o tempo de processamento sem necessidade, sendo que é possível aplicar o refinamento somente em locais de interesse. A Figura 3 mostra a malha adotada no estudo.

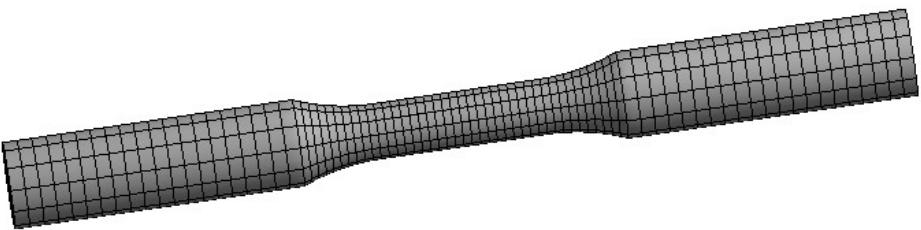


Figura 3: Malha corpo de prova (Autores, 2020).

Para garantir a convergência estudou-se o refinamento em função da tensão máxima de von Mises, considerando uma tensão aplicada de 0,8 da tensão de ruptura do ABNT 1045.

Variável	Tensão máxima de von Mises [MPa]	Erro relativo [%]
Malha adaptativa 3 mm.	516,23	-
Malha adaptativa 3 mm com controle de malha na região de estudo de 2 mm.	522,88	1,27
Malha adaptativa 3 mm com controle de malha na região de estudo de 1 mm.	529,69	1,29
Malha adaptativa 3 mm com controle de malha na região de estudo de 0,5 mm.	526,41	0,62

Tabela 1: Comportamento da Tensão máxima de von Mises para refinamento de malha (Autores, 2020).

Depois da malha, foram definidas as condições de contorno do problema. Azevedo (2016) definiu condições de contorno como fatores que devem ser atribuídos pelo usuário, os quais influenciarão o comportamento da análise. As condições de contorno são: tipos de contato, carregamentos, restrições e cargas de corpos. As escolhas para aplicação de engaste e força foram escolhidas de modo a simular uma máquina de ensaios realizando um teste de fadiga. O engaste foi feito na base do corpo de prova e a força foi aplicada na face contrária ao engaste (Fig. 1), embora a magnitude da força tenha sido alterada durante o estudo, o local de aplicação se manteve o mesmo. Vale ressaltar que o ANSYS® permite aplicar uma força, assim, para submeter a peça a uma tensão específica foi preciso multiplicar a tensão pela área do corpo de prova e obter a força necessária para provocar tal tensão.

Definidos a geometria, material, malha e condições de contorno, foi estabelecido o tipo de carregamento. Para garantir uma carga que provoque fadiga variando entre tração e compressão de mesma amplitude, o carregamento do processo teve uma razão de tensão igual a -1. Para o presente trabalho não foi adotada nenhuma teoria de correção de falha

visto que a tensão média foi zero.

A solução foi processada através do programa ANSYS® e para o pós-processamento foi analisado se o resultado obtido era é aceitável ou não. Nesse estágio, foi importante saber se o resultado representa o problema físico. Caso a solução não fosse aceitável seria necessário retornar a etapa de pré-Processamento, rever as condições e realizar uma nova simulação.

### 3 | RESULTADOS

Para analisar se as simulações estavam corretas buscou-se literaturas de fadiga para o aço ABNT 1045 e o ABNT 4140 a fim de comparar os resultados. O primeiro trabalho analisado foi o de Rodas (2019), o qual realizou um estudo analisando fadiga de altos ciclos para o aço ABNT 1045 afim de repotenciar uma máquina de ensaios mecânicos.

A Tabela 2 mostra uma comparação para a mesma amplitude de tensão entre os resultados das simulações e de Rodas. Na simulação 1 o número de ciclos até a falha obtido pela simulação é menor do que o valor reportado na literatura. Na simulação 2 os dados se mostraram muito mais próximos. A diferença pode ser explicada pelos valores adotados para o limite de fadiga corrigido e o limite de resistência à tração, uma vez que esses valores mudam de acordo com a microestrutura do material e, consequentemente, afetam o comportamento em fadiga.

Enquanto na simulação 1 a resistência à tração foi de 649,8 MPa e  $S_e = 150,14$  MPa, dados obtidos através de ensaios estáticos. Na simulação 2 foi utilizado 637,26 MPa e  $S_e = 318,09$  MPa, valores encontrados no trabalho de Rodas (2019). Desta forma, utilizando os valores encontrados na literatura, tem-se a quantidade de ciclos fica próxima à do ensaio experimental, Tabela 2.

Amplitude de Tensão [MPa]	Número de Ciclos [Literatura]	Número de Ciclos [Simulação 1]	Número de Ciclos [Simulação 2]
442,12	2929	1503	2338
432,69	3949	1706	3370
428,76	4548	1800	3935
427,12	4676	1841	4199
425,55	4915	1881	4470

Tabela 2: Comparação dos dados da simulação e literatura (RODAS, 2019) aço ABNT 1045 (Autores, 2020).

A Figura 4 mostra a distribuição da quantidade de ciclos ao longo do corpo para uma amplitude de tensão de 427,12 MPa da simulação 2. A região que ocorreu a falha foi na parte central do corpo de prova, o que condiz com o esperado, uma vez que foi dimensionado com este intuito.

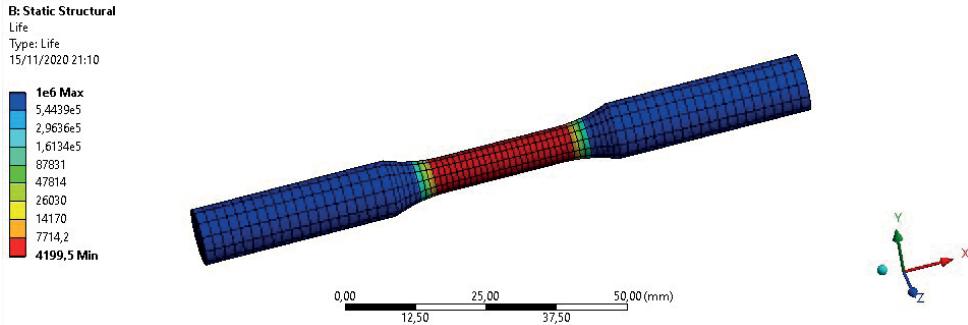


Figura 4: Resultado da simulação do aço ABNT 1045 para uma tensão de 427,12 MPa (Autores, 2020).

Meuren (2018) também realizou um estudo sobre a análise em fadiga, mas para o aço ABNT 4140. No qual uma parte de seu trabalho foi dedicada a examinar o número de ciclos até a falha de forma experimental. Foi elaborado também uma comparação (Tabela 3) entre os resultados dos ensaios da bibliografia adotada e da simulação.

Novamente os resultados apresentam uma grande divergência na simulação 1. A diferença entre a literatura e a simulação pode ser explicada pelo fato de que as tensões estimadas no estudo de Meuren e do presente trabalho para a curva S-N do material foram diferentes. Enquanto na pesquisa de Meuren os valores foram de  $S_m = 675 \text{ MPa}$  e  $S_e = 388,8 \text{ MPa}$ , para a simulação os dados foram de  $S_m = 766,05$   $S_e = 209,23$ . Mas quando se considera os dados apresentados por Meuren e refaz os cálculos para uma nova curva S-N (Simulação 2), tem-se os resultados da Tabela 3.

Amplitude de Tensão [MPa]	Número de Ciclos [Literatura]	Número de Ciclos [Simulação 1]	Número de Ciclos [Simulação 2]
547,5	10167	5152	9706
483,8	62560	9953	45678
413,8	338148	22868	323330

Tabela 3: Comparação dos dados da simulação e literatura (MAUREN, 2018) aço ABNT 4140 (Autores, 2020).

A Figura 5 mostra o resultado da simulação 1 para uma tensão de 547,5 MPa. E a Figura 6 mostra o resultado da simulação para tensão de 413,8 MPa da simulação 2. As escala de cores indicam as regiões e suas respectivas faixas de quantidade de ciclos.

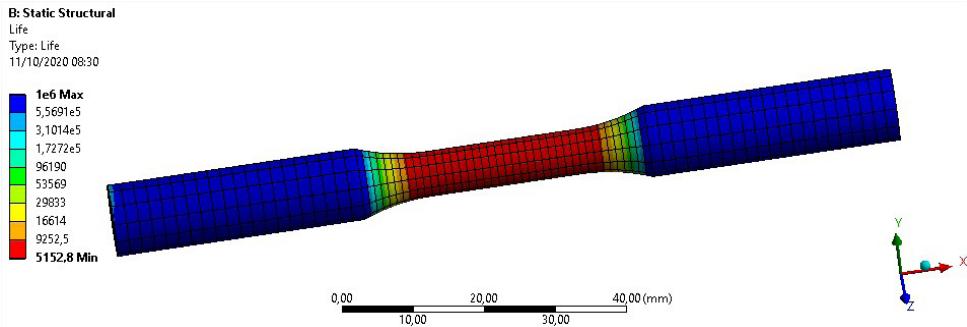


Figura 5: Simulação fadiga aço ABNT 4140 para tensão de 547,5 MPa (Autor, 2020).

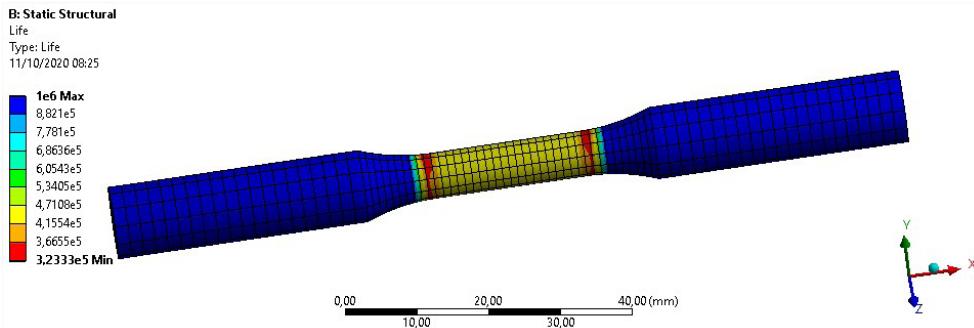


Figura 6: Resultado da simulação para aço ABNT 4140 submetido a uma amplitude de tensão de 413,8 MPa (Autor, 2020).

Comparando os resultados da literatura com os das simulações percebe-se que há diferenças nos resultados, maiores em algumas simulações e menores para outras, o que pode ser explicado por meio de alguns pontos.

Os cálculos de fadiga utilizados neste trabalho foram provenientes de dados estáticos. É comum ocorrer pequenas variações nas propriedades dos materiais, pelo fato de não serem homogêneos e isotrópicos. Pequenas diferenças podem alterar bastante os resultados, e para a simulação são necessários vários outros dados estáticos, como por exemplo o limite de escoamento, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Assim, um conjunto de pequenas diferenças pode levar a resultados muito diferentes. É o caso, por exemplo, do estudo realizado por Meuren (2018) e Rodas (2019), quando utilizados valores obtidos dos trabalhos de cada autor os resultados foram muito próximos.

Vale ressaltar também que a vida em fadiga é uma quantidade estatística de acordo com Dieter (1985), logo é esperado que ocorra um desvio considerável com dados levantados a partir de poucos corpos de prova. Porém, essa variação não ocorreu para simulações pelo método dos elementos finitos realizadas neste estudo, para um mesmo valor de tensão o resultado se manteve o mesmo. Isso se deve ao fato de que a simulação

utilizada neste estudo calcula análises estruturais através do conceito de rigidez, enquanto ensaios experimentais levam em consideração tensões residuais provenientes de processos de fabricação, defeitos no material, trincas e todas as variáveis que vão influenciar na vida em fadiga, porém não foram possíveis de serem adicionadas à simulação.

## 4 | CONCLUSÕES

A simulação pelo método de elementos finitos é um método aproximado, quando se trabalha nesse campo o cálculo das equações que descrevem o comportamento do sistema é feito para um número finito de pontos do domínio, os quais o usuário julga serem capaz de descrever um acontecimento real.

Assim, observou-se com a pesquisa que a análise de fadiga por elementos finitos pode ser muito útil. Contudo, para resultados mais precisos com curvas S-N estimadas, são necessários dados estáticos do material a ser simulado. Portanto, a simulação pode auxiliar na análise de fadiga dos componentes. A junção do estudo de fadiga com o de simulação pelo método de elementos finitos pode ser de colaboração mútua no desenvolvimento de pesquisas.

## 5 | AUTORIZAÇÕES/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

## REFERÊNCIAS

CALLISTER, Jr. W. D.; **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução**. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 7<sup>a</sup> ed. São Paulo: ABM, 2005, 518p.

DIETER, G. E. **Metalurgia Mecânica**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985.

DOWLING, N. E. **Mechanical Behavior of Materials - Engineering, deformation, fracture and fatigue**. 4 ed. Pearson 2013.

MEUREN, A. L. **Análise em Fadiga do Aço 4140**. Projeto de graduação em Engenharia Mecânica - Universidade de Brasília, 60p.,2018.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Tradução de Konstantinos Dimitriou Stavropoulos et al. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1055 p. Título original: Design of Machinery.

OLIVEIRA, A. C. **Propriedade mecânicas de fadiga de baixo ciclo à temperatura de 300° C do aço inoxidável austenítico do sistema Fe-Cr-Mn-N**. Dissertação de mestrado - Escola de engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2001.

**PEREIRA, D. A. Desenvolvimento e construção de um sistema de aquecimento indutivo para ensaios de fadiga isotérmica de baixo ciclo em ligas ferrosas.** Dissertação de Mestrado em Ciências em Materiais para Engenharia - Universidade Federal de Itajubá, 121 p., 2019.

**RODAS, C. D. R. Repotenciación de la máquina a fatiga em ciclos altos en el acero AISI 1045 con la finalidad de adquirir datos en los laboratorios de la carrera de ingeniería mecánica.** Projeto de graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Técnica de Ambato, 126p., 2019.

**TAKAHASHI, B. X. Metodología Moderna para Análise de Fadiga Baseada em Elementos Finitos de Componentes Sujetos a Fadiga Uni e Multiaxial.** Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Universidade de São Paulo, 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

- Aços 10, 38, 39, 40, 46
- Algoritmo Genético 11, 109, 111, 112, 174
- Arduino 11, 79, 80, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 172, 175, 190, 192

### C

- Campo de temperatura 92, 93
- CitationID 112, 116
- Citationitems 168
- Confiabilidade 10, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 79
- Controle Adaptativo 165
- Convecção Forçada 92, 93

### E

- Elementos Finitos 10, 1, 2, 6, 21, 38, 39, 45, 46, 47, 48, 50, 55, 128, 129, 131, 137
- Energia renovável 67
- Energia Solar 67, 79, 90, 91
- EPI's 193, 196, 198
- Escoamento bifásico 12, 138, 139, 140, 148
- Escoamento Turbulento 92, 93
- Estacionamento Autônomo 181

### F

- Fadiga 10, 21, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 125
- Fluido-Estrutura 57, 124
- Fração de vazio 12, 138, 139, 140, 142, 145, 146, 147, 148, 149
- Frequência 6, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 21, 26, 48, 49, 52, 116, 125, 133, 135, 140, 142, 143, 145, 146
- Função de transferência 9, 12, 14, 15

### G

- Graus de liberdade 9, 11, 23

### I

- Impressão 3D 193, 196
- Instrumentação 80, 91, 144, 190

## L

Lógica Fuzzy 165

## M

Manipulador Flexível 1, 2

Manipulador Paralelo 10, 1, 2, 3, 6

Matriz 128, 129, 130, 131, 135, 166, 170, 187, 199, 200, 201, 203, 205

Modelo Multicorpos 1, 2, 6

## N

Nusselt 92, 93, 99, 100, 101, 102, 103, 106

## O

Otimização 9, 10, 11, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 48, 49, 55, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 170, 175, 177, 192

## P

PET 193, 194, 195, 198

Piranômetro 80, 81

Projeto mecatrônico 181

Protótipos 39, 165, 167, 172, 177

## R

Radiação térmica 80, 82

Radiômetro 11, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91

Redes Neurais Artificiais 164, 165, 166, 168

## S

Seleção 109, 111, 112, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 170, 171, 176, 185

Sensor capacitivo 12, 138, 140, 145

Simulação 9, 2, 3, 6, 17, 20, 25, 28, 35, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 135, 167, 169

Sistemas Computacionais Inteligentes 12, 164, 168

Sistemas Dinâmicos 12, 124, 164, 167

Sistemas Térmicos 109, 111

Stress 199

Suspensão 10, 9, 10, 11, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 184

## T

Tensão 2, 3, 42, 43, 44, 45, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 187, 199, 200, 201, 203, 204

Tumor 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205

**V**

Vibração 1, 2, 5, 9, 10, 13, 16, 17, 20, 21, 26, 50, 133

Violão 10, 48, 49, 50, 51, 54

COLEÇÃO

# DESAFIOS

DAS

# ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA



- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉️ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK [facebook.com/atenaeditora.com.br](https://facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

# DESAFIOS

DAS

# ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA

- 
- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  - ✉️ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  - 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  - FACEBOOK [facebook.com/atenaeditora.com.br](https://facebook.com/atenaeditora.com.br)