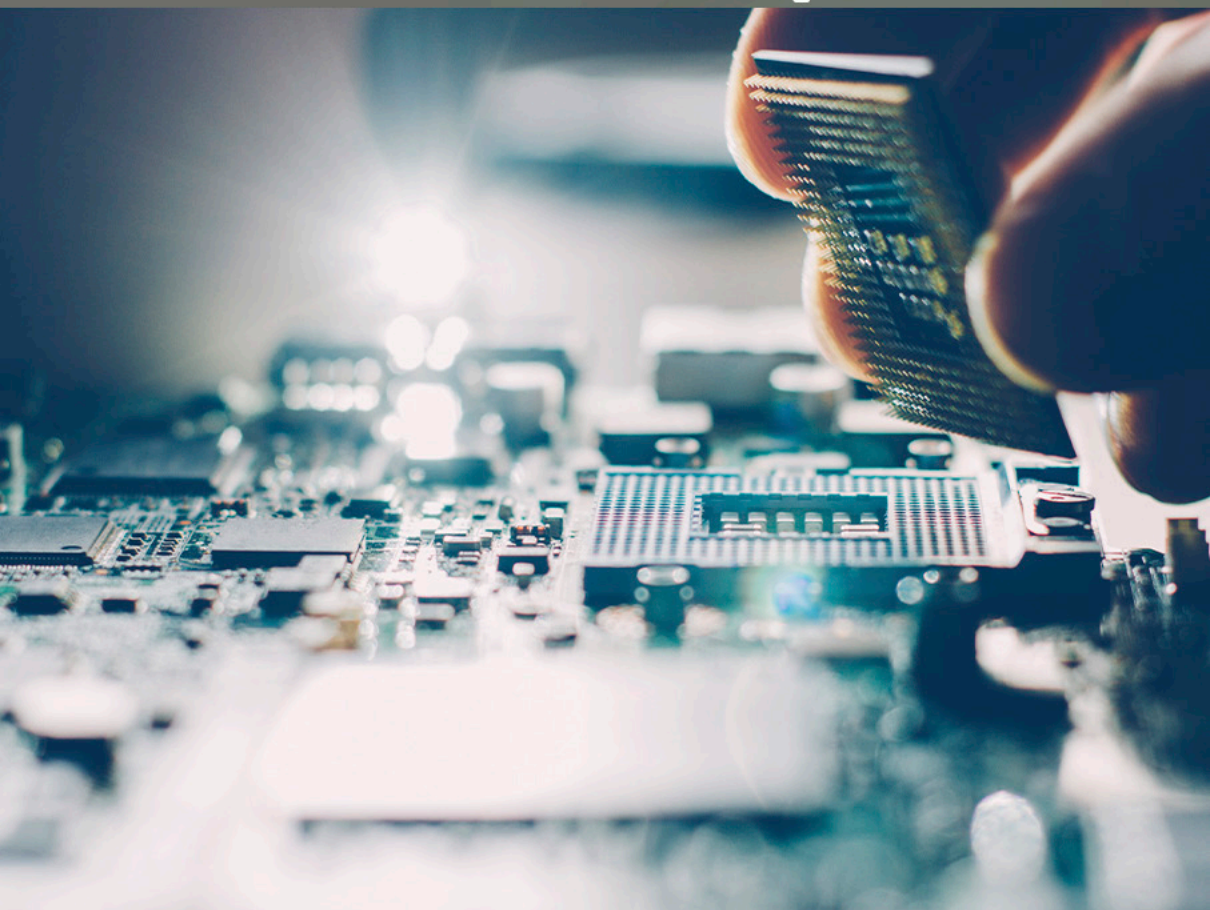


COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

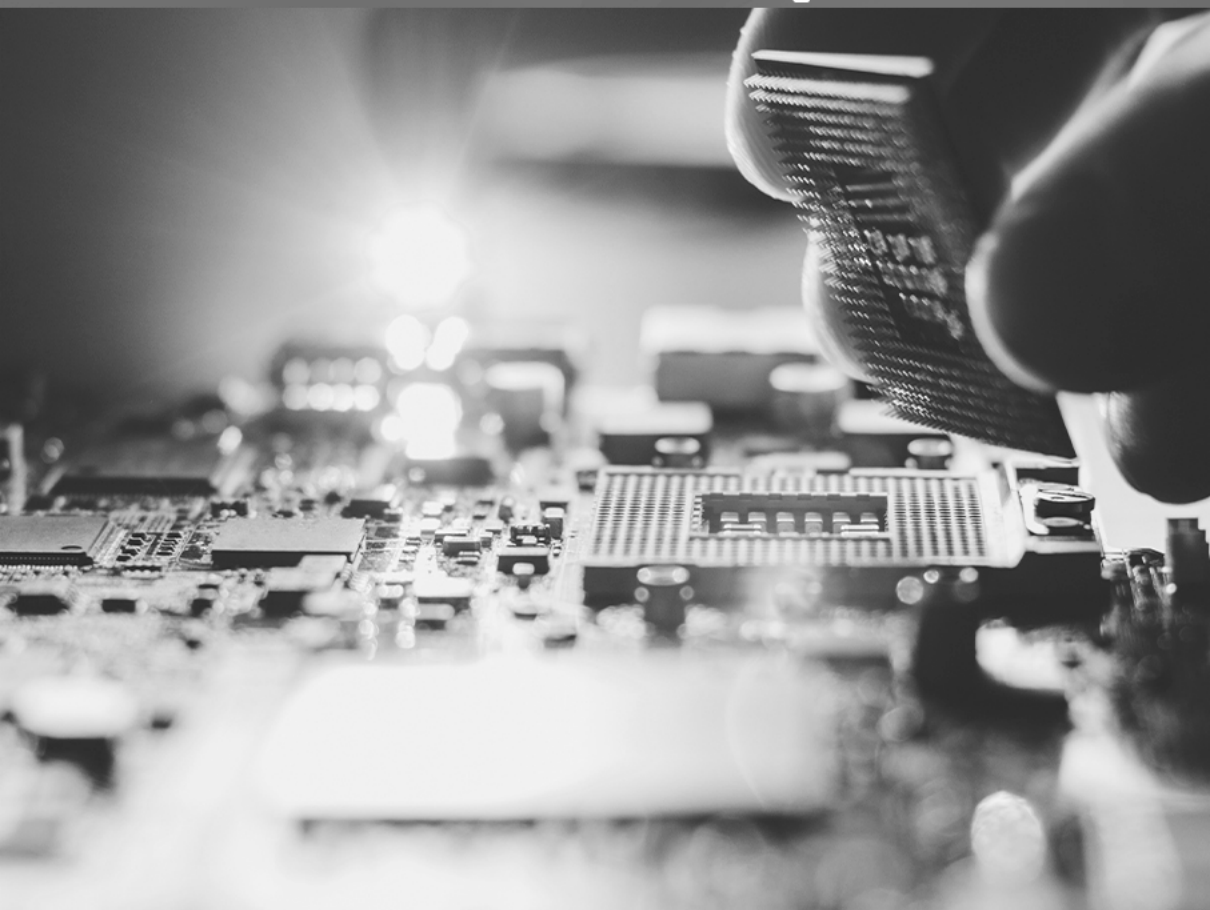


ERNANE ROSA MARTINS  
(ORGANIZADOR)

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 Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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

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

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

Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

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

#### **Linguística, Letras e Artes**

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

## 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](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. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

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

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

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

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

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

Renzo Fernandes Bastos

Daniel Masarin

Ernesto Massaroppi Junior

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

### **CAPÍTULO 2..... 11**


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

Gabriel Barroso da Silva Lima

Marcos Roberto dos Santos

Almir de Oliveira Costa Junior

Jucimar Maia da Silva Junior

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

### **CAPÍTULO 3..... 23**

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

Nelson Clodoaldo de Jesus


João Roberto Cogo

Luiz Marlus Duarte

Luis Fernando Ribeiro Ferreira

Éverson Júnior de Mendonça

Leandro Martins Fernandes

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

### **CAPÍTULO 4..... 38**

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

Pedro Zaffalon da Silva


Neyva Maria Lopes Romeiro

Rafael Furlanetto Casamaximo

Iury Pereira de Souza

Paulo Laerte Natti

Eliandro Rodrigues Cirilo


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

### **CAPÍTULO 5..... 53**

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

Jefferson Alves Ferreira


Giovani Vitório Costa  
Harley Francisco Viana  
Renata Gomes Lanna da Silva

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

**CAPÍTULO 6..... 70**

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


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

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

**CAPÍTULO 7..... 84**

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


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

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

**CAPÍTULO 8..... 103**

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


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

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

**CAPÍTULO 9..... 119**

**APPLICATION OF A MULTIOBJECTIVE 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>

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>143</b>
FLAMBAGEM E VIBRAÇÃO DE ANÉIS E TUBULAÇÕES ESBELTAS EM UMA FUNDAÇÃO ELÁSTICA	
Mariana Barros dos Santos Dias Paulo Batista Gonçalves	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811</a>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>155</b>
CALIDAD ÁGIL: PATRONES DE DISEÑO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO DIRIGIDO POR PRUEBAS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812</a>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>168</b>
CONTROLE NEURAL DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE	
José Antonio Riul Paulo Henrique de Miranda Montenegro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813</a>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>181</b>
SUBOPTIMAL CONTROL ON NONLINEAR SATELLITE SIMULATIONS USING SDRE AND H-INFINITY	
Alessandro Gerlinger Romero Luiz Carlos Gadelha de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814</a>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>193</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815</a>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>198</b>
DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES DE ORIENTAÇÃO E CAPACITAÇÃO EM SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO - RECYCLING IS BETTER	
Líbero Passador Neto Dimitre Moreira Ort	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816</a>	

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>206</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIGITAL (2D) PARA CONSCIENTIZAÇÃO DE CRIANÇAS CONTRA O BULLYING	
Rafael Guedes da Silva	
Anderson Fabian Melo Nakanome	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817</a>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>215</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA PROPORÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE AMOSTRA POR MEIO DO PACOTE SHINY	
Pablo Fellipe de Souza Almeida	
Cristina Henriques Nogueira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818</a>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>226</b>
DESIGN PATTERNS FOR SOFTWARE EVOLUTION REQUIREMENTS	
Anna Grimán Padua	
Manuel Capel Tuñón	
Eladio Garví	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819</a>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>240</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820</a>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>252</b>
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS	
Fernanda Calado Mendonça	
Bernardo Horowitz	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821</a>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>268</b>
ESTIMATION OF STELLAR PARAMETERS FOR J-PLUS SURVEY WITH MACHINE LEARNING	
Carlos Andres Galarza Arevalo	
Simone Daflon	
Vinicius Moris Placco	
Carlos Allende-Prieto	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822</a>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>279</b>
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>

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



# CAPÍTULO 1

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

*Data de aceite: 02/08/2021*

### Renzo Fernandes Bastos

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC),  
Universidade de São Paulo (USP)  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8987334721712208>

### Daniel Masarin

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC),  
Universidade de São Paulo (USP)  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/2402643388697943>

### Ernesto Massaroppi Junior

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC),  
Universidade de São Paulo (USP)  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0218225006677453>

**ABSTRACT:** The elasto-plastic behavior of the aluminum alloy 7050-T7451 subjected to cyclic loading was investigated and modeled. The objective of this work is to improve the constitutive model of Chaboche with a special emphasis in the compression. In the proposed model, the part under tension of the stress-strain curve in the stable hysteresis cycle is modeled separately from the compressed one, where it is considered that they have different Modulus of Elasticity. The work includes both simulation and experimental data, and they are compared to each other. The values were collected experimentally by the application of symmetric cyclic strain-driven loading in the strain range between 0.75% and 2.25%. The experimental results were used to

calculate the parameters of the constitutive model in a MATLAB® software. The responses obtained with the proposed model have greater adherence to the experimental results than those obtained with the Chaboche model.

**KEYWORDS:** Elasto-plastic Strain, Constitutive Model, Stable Hysteresis Cycle.

### MODELO CONSTITUTIVO ELASTO-PLÁSTICO BASEADO NO ENCRUAMENTO CINEMÁTICO DE CHABOCHE PARA A LIGA DE ALUMÍNIO 7050-T7451

**RESUMO:** Foi investigado e modelado o comportamento elasto-plástico da liga de alumínio 7050-T7451 sujeita a carregamentos cíclicos. O objetivo deste trabalho é aprimorar o modelo constitutivo de Chaboche dando ênfase à compressão. No modelo proposto, a parte tracionada da curva tensão-deformação no ciclo de histerese estável é modelada separadamente da sujeita à compressão, considerando que há diferença entre seus Módulos de Elasticidade. O trabalho inclui simulação e dados experimentais e são comparados entre si. Os valores foram coletados experimentalmente pela aplicação de carregamentos cíclicos simétricos controlados por deformação na faixa entre 0,75% e 2,25%. Os resultados experimentais foram utilizados para calcular os parâmetros do modelo constitutivo no software MATLAB®. As respostas obtidas com o modelo proposto têm maior aderência aos resultados experimentais se comparado às obtidas com o modelo de Chaboche.

**PALAVRAS-CHAVE:** Deformação elasto-plástica, Modelo constitutivo, Ciclo de histerese estável.

## 1 | INTRODUCTION

The aluminum alloy 7050-T7451 contains several advantageous properties such as high strength, good toughness, low density and good corrosion resistance and this makes it widely used in the aerospace industries and in various components of modern aircraft (Hao *et al.*; Xu *et al.*). These and many other applications cause their structural components to be frequently subjected to complex cyclical loads (Zhu *et al.*).

During the last decades, cyclic constitutive models have been widely developed for metallic materials and are being used successfully in academic researches and industrial applications (Zhou *et al.*). In cyclical loading, the cyclic hardening or softening of materials plays a very important role in the safety assessments and life prediction related to the fatigue of these structural components and this topic has attracted a lot of attention (Chaboche *et al.*). It is important to understand the variables responsible for the cyclic mechanical response of the material. Be able to accurately describe this behavior have great importance in life prediction and project optimization. Laboratório de Mecânica Aplicada e Computacional

Thus, the objective of this study is to modeling the elasto-plastic behavior of the aluminum alloy 7050-T7451 through an adaptation of the non-linear constitutive model of Chaboche kinematic hardening. The proposed model is compared with the data collected experimentally and this error is compared with the error between the Chaboche model and the experimental data. This study is done using the experimental data together with simulation in MATLAB®.

## 2 | CHABOCHE CONSTITUTIVE THEORIES

Chaboche nonlinear model is based on research by Frederick and Armstrong, which consists of a superposition of several non-linear models defined by eq. (1):

$$d\alpha_{ij} = \frac{2}{3} C d\varepsilon_{ij}^p - \gamma \alpha_{ij} d\bar{\varepsilon}_p \quad (1)$$

Where  $C$  and  $\gamma$  are parameters of the material,  $d\varepsilon_{ij}^p$  is the plastic strain increment,  $d\bar{\varepsilon}_p$  is the equivalent plastic strain increment, while  $\alpha_{ij}$  is the total translation of the center of the initial yield surface, known as back stress (Fig. 1).

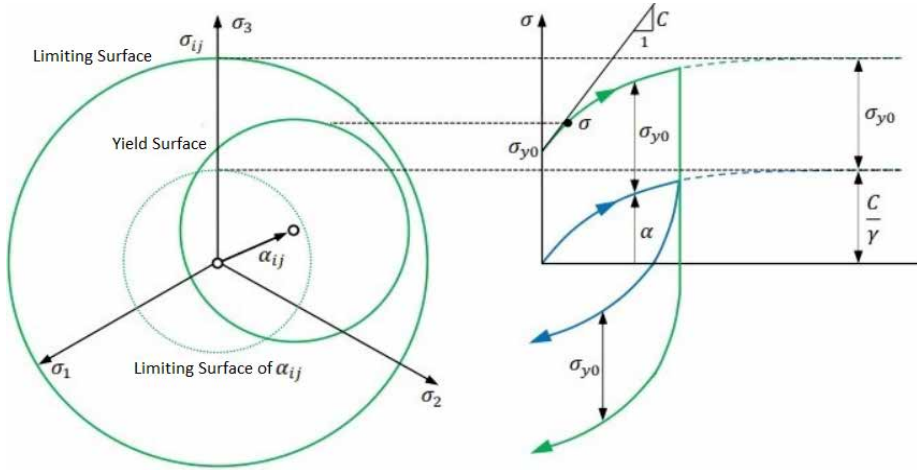


Figure 1. Graphical representation of Frederick-Armstrong's nonlinear kinematic hardening model adapted from Souza Neto *et al.*

Where  $\sigma_{y0}$  is the yield stress. The Chaboche model is used for this paper and its back stress is given by:

$$\alpha_{ij} = \sum_{i=1}^n d\alpha_{ij}^{(i)} \quad (2)$$

$$d\alpha_{ij}^{(i)} = \frac{2}{3} C_i d\varepsilon_{ij}^p - \gamma_i \alpha_{ij}^{(i)} d\varepsilon_p \quad (3)$$

Where  $n$  is the number of superposition models.  $C_i$  and  $\gamma_i$  are parameters of the material. For a stable hysteresis cycle of a strain-driven loading, the solution of the back stress in the uniaxial loading is given by:

$$\alpha_i = \frac{C_i}{\gamma_i} \left( 1 - 2e^{-\gamma_i(\varepsilon_x^p - (\varepsilon_L^p))} \right) \quad (4)$$

Where  $\varepsilon_x^p$  is the plastic strain when applied the loading and  $\varepsilon_L^p$  is the limit of plastic strain of the hysteresis loop. The graphical representation of the superposition of 3 independent back-stresses is given in the Fig. 2.

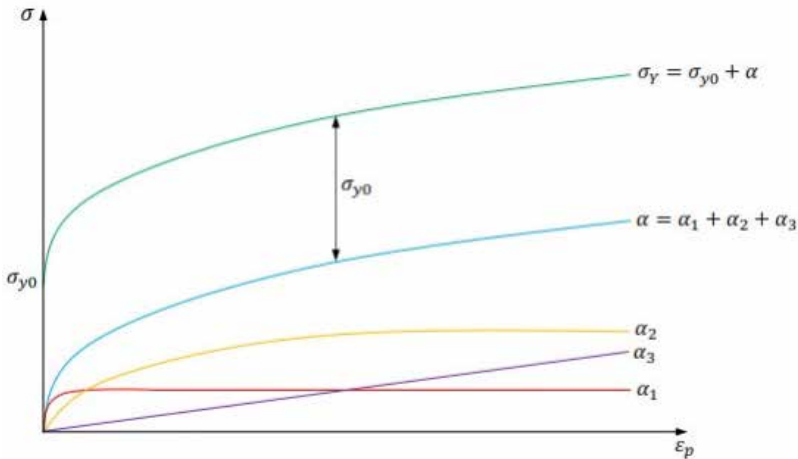


Figure 2. Representation of Chaboche nonlinear kinematic hardening model adapted from Hashiguchi.

## 3 | MATERIALS AND METHODS

### 3.1 Experimental details

The experimental tests were performed on an MTS® LANDMARK servo-hydraulic machine model 370.10 with 100 kN of maximum load capacity and served by an MTS® FlexTestGT controller. Strain was measured using an MTS® extensometer model 632.26F-20.

Three specimens were used for each maximum strain value in the range. Figure 3 contains the dimensions of specimen.

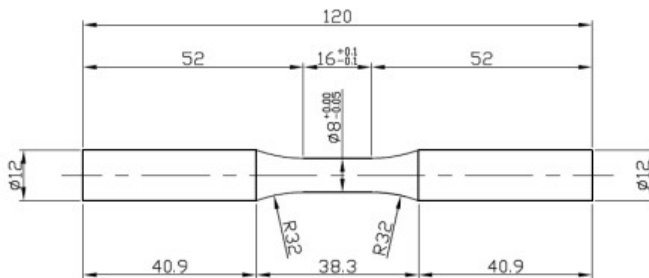


Figure 3. Dimensions of specimen (mm).

After the preparation of the specimens, they were subjected to strain-driven cyclic mechanical tests, following the information in Tab. 1. As recommended by MIL-HDBK-5H (Handbook), the strain control was performed by means of triangular wave in the frequencies between 0.111 Hz and 0.333 Hz, in order to maintain constant the strain rate at 0.3 1/min.

Specimen	$R_\varepsilon$ (-)	Strain (%)	$\Delta\varepsilon$ (%)	Frequency (Hz)
C1, C2 and C3	-1	-0.75 to 0.75	1.5	0.333
C13, C14 and C15	-1	-1.25 to 1.25	2.5	0.200
C31, C32 and C33	-1	-1.75 to 1.75	3.5	0.143
C49, C50 and C51	-1	-2.25 to 2.25	4.5	0.111

Table 1. Strain amplitudes and frequency for each specimen.

Where  $R_\varepsilon$  is the ratio between the minimum and maximum strain and  $\Delta\varepsilon$  is the strain variation. The number of specimens as well as the number of strain variations is based on the ASTM E739-10 standard (E739-10), which classifies the data as permissible for design.

### 3.2 Proposed constitutive model

First, some considerations were made:

- The material is considered isotropic: The aluminum alloy is an anisotropic material (Schubbe), but if the specimens are made in the same direction as the lamination of the plate and the loads are applied in the same direction, this assumption can be made (Lima, Massaroppi Junior and Bose Filho);
- There is a distinction between tensioned ( $d\varepsilon_x^p \geq 0$ ) and compressed ( $d\varepsilon_x^p < 0$ ) parts. These two parts will be modeled separately, considering the respective Modulus of Elasticity;
- The true stress and true strain are used, and these are based on the hypothesis of constant volume during deformation;
- As the distance between the extensometer knives is 8 mm, this is the initial size ( $l_0$ ) considered;
- Although there are three specimens for each strain amplitude, only one result is used, as these are very similar;
- The analyzed results are taken from the stable hysteresis loops.

With that, the model can be defined. The Chaboche model for the stable hysteresis loop, with  $n = 3$ , can be defined as:

$$\sigma_x = \sigma_0 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i, d\varepsilon_x^p \geq 0 \quad (5)$$

$$\sigma_x = -\sigma_0 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i, d\varepsilon_x^p < 0 \quad (6)$$

$$\alpha_i = \frac{c_i}{\gamma_i} \left( 1 - 2e^{-\gamma_i(\varepsilon_x^p - \varepsilon_L^p)} \right), d\varepsilon_x^p \geq 0 \text{ for } i=1 \text{ and } 2 \quad (7)$$

$$\alpha_i = -\frac{C_i}{\gamma_i} \left( 1 - 2e^{\left[ \gamma_i (\varepsilon_x^p - (\varepsilon_L^p)) \right]} \right), d\varepsilon_x^p < 0 \text{ for } i=1 \text{ and } 2 \quad (8)$$

$$\alpha_3 = C_3 \varepsilon_x^p, d\varepsilon_x^p \geq 0 \text{ for } i=3 \quad (9)$$

$$\alpha_3 = C_3 \varepsilon_x^p, d\varepsilon_x^p < 0 \text{ for } i=3 \quad (10)$$

In Chaboche constitutive model, the Modulus of Elasticity of the tensioned part is the same as the compressed one and the modification proposed by this work is to separate these parts. Separating these parts, the calculation of the plastic strain is different for each one.

Chaboche only considers the Modulus of Elasticity ( $E$ ) in the tension to calculate the entire plastic strain. In this research it was found that there is a difference between the Modulus of Elasticity in tension ( $E_t$ ) and the Modulus of Elasticity in compression ( $E_c$ ).

Dividing the hysteresis loop into two parts, the function  $\varepsilon_x^p$  is given by:

$$\varepsilon_{xt}^p = \varepsilon_{xt} - \ln \left( 1 + \frac{\sigma_{xt}}{E_t} \right) \quad (11)$$

$$\varepsilon_{xc}^p = \varepsilon_{xc} - \ln \left( 1 + \frac{\sigma_{xc}}{E_c} \right) \quad (12)$$

Where the sub-indexes  $c$  and  $t$  represent the compressed and tensioned parts respectively. With this, one can separate the Chaboche model into tension and compression, with  $n = 3$ , which are:

- Tension 
$$\sigma_{xt} = \sigma_{0t} + \sum_{i=1}^3 \alpha_{it} \quad (13)$$

$$\alpha_{it} = \frac{C_{it}}{\gamma_{it}} \left( 1 - 2e^{\left[ -\gamma_{it} (\varepsilon_{xt}^p - (\varepsilon_{Lt}^p)) \right]} \right) \text{ for } i=1 \text{ and } 2 \quad (14)$$

$$\alpha_{3t} = C_{3t} \varepsilon_{xt}^p \quad (15)$$

- Compression 
$$\sigma_{xc} = \sigma_{0c} + \sum_{i=1}^3 \alpha_{ic} \quad (16)$$

$$\alpha_{ic} = -\frac{C_{ic}}{\gamma_{ic}} \left( 1 - 2e^{\left[ \gamma_{ic} (\varepsilon_{xc}^p - (\varepsilon_{Lc}^p)) \right]} \right) \text{ for } i=1 \text{ and } 2 \quad (17)$$

$$\alpha_{3c} = C_{3c} \varepsilon_{xc}^p \quad (18)$$

With the values obtained experimentally and using these equations, the parameters  $C_i$  and  $\gamma_i$  are calculated through an algorithm in the MATLAB® software.

## 4 I RESULTS

The data collected experimentally are force ( $F$ ), but for the model it is necessary to find the related tensions ( $\sigma$ ). The initial radius of the specimen cross section is  $r_0=4\text{mm}$  and the initial length  $l_0=8\text{mm}$ . For that and considering deformation at constant volume, the instant length of the specimen ( $l$ ), the true stresses ( $\sigma$ ) and true strains ( $\varepsilon$ ) are given by the relationships:

$$S = \frac{F}{\pi r_0^2} \quad (19)$$

$$e = \frac{l}{l_0} \quad (20)$$

$$\sigma = \frac{F}{\pi r_0^2} \frac{l}{l_0} \quad (21)$$

$$\sigma = S(1 + e) \quad (22)$$

$$\varepsilon = \ln(1 + e) \quad (23)$$

Where  $S$ ,  $F$  and  $e$  are the engineering stress, applied force and engineering strain respectively.

With the parameters found, the true stress curves as a function of the true strain are presented. In the left column of the Fig. 4 to Fig. 7 is shown the comparison between the proposed model and the experimental results and the one on the right between Chaboche and the experimental.

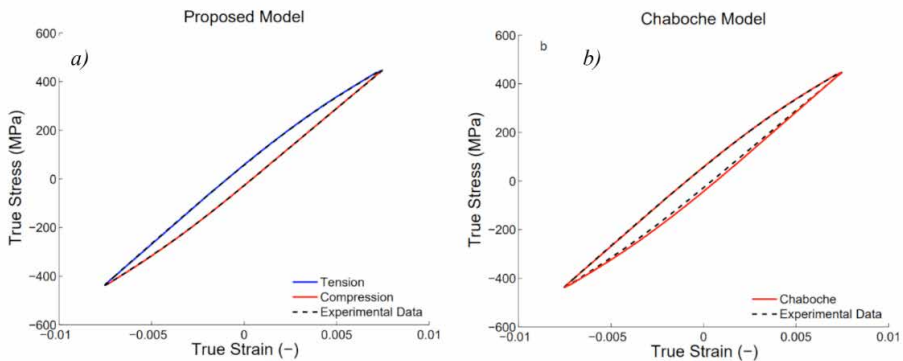


Figure 4. True stress-strain curve. Comparison between: a) proposed model and b) Chaboche model both with experimental results for  $\Delta\varepsilon= 1.5\%$  of the cyclic loading on Aluminum Alloy 7050-T7451.

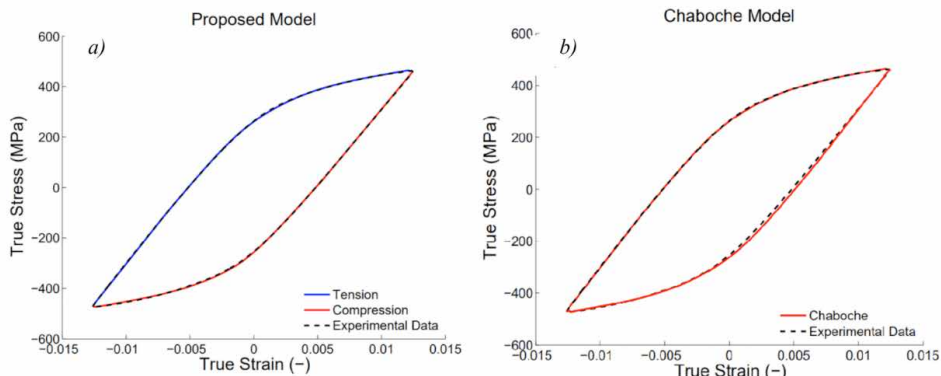


Figure 5. True stress-strain curve. Comparison between: a) proposed model and b) Chaboche model both with experimental results for  $\Delta\varepsilon = 2.5\%$  of the cyclic loading on Aluminum Alloy 7050-T7451.

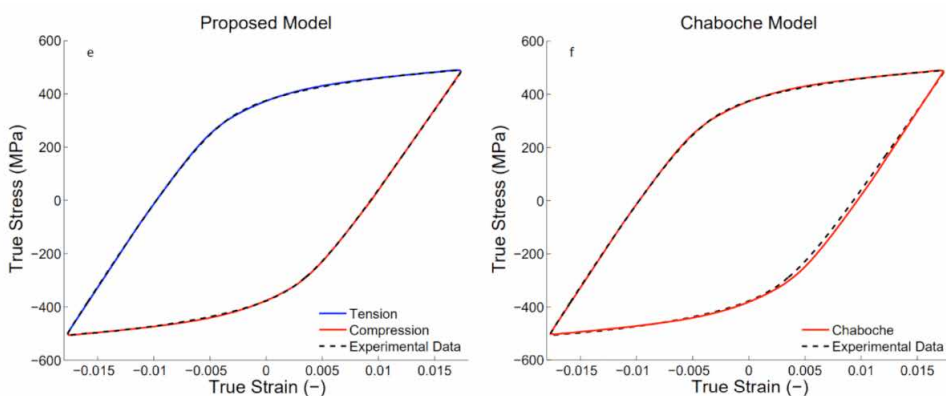


Figure 6. True stress-strain curve. Comparison between: a) proposed model and b) Chaboche model both with experimental results for  $\Delta\varepsilon = 3.5\%$  of the cyclic loading on Aluminum Alloy 7050-T7451.

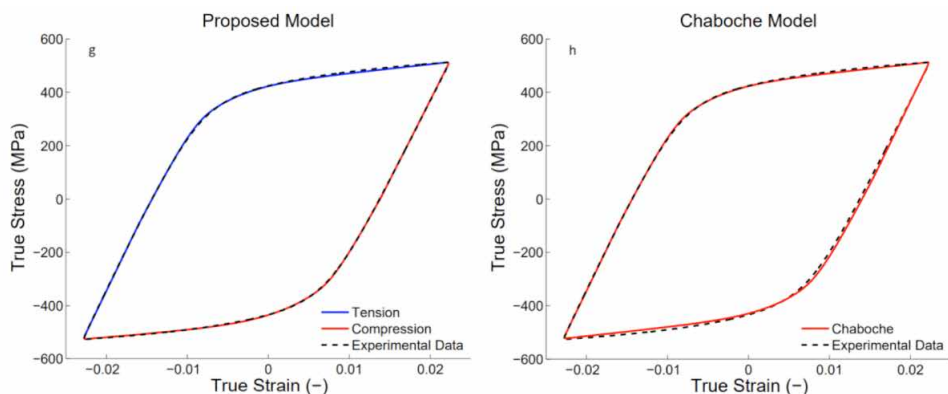


Figure 7. True stress-strain curve. Comparison between: a) proposed model and b) Chaboche model both with experimental results for  $\Delta\varepsilon = 4.5\%$  of the cyclic loading on Aluminum Alloy 7050-T7451.

Figure 4, Fig. 5, Fig. 6 and Fig. 7 shows that there is a difference in the parts under compression, in which it appears that the proposed model has more adherence to



the experimental results than the Chaboche model. In order to know which model is more compatible with the experimental results, the error is calculated by means of the maximum difference between the stress found in the respective model and the experimental stress for the same strain in the entire cycle. The results are given in the Tab. 2:

CP	$\Delta\varepsilon$ (%)	$\Delta\sigma_{chab}$ (MPa)	$\Delta\sigma_t$ (MPa)	$\Delta\sigma_c$ (MPa)	$E_t$ (GPa)	$E_c$ (GPa)
C1	1.5	16.324	4.2340	4.1740	66.491	63.374
C13	2.5	15.2846	11.5778	13.5928	63.985	60.581
C31	3.5	20.3824	8.1301	5.4907	64.344	60.291
C49	4.5	15.8373	12.4194	11.8516	63.038	59.762

Table 2. Maximum differences between the tensions found in the models and the experimental results.

Where  $\Delta\sigma_{chab}$  is the maximum difference of the experimental stress and the calculated by the Chaboche model in the entire stable hysteresis cycle.  $\Delta\sigma_t$  is the difference in parts under tension, while  $\Delta\sigma_c$  is the difference between the compressive stress of the proposed model and the experimental compressive stress. Note that the proposed model has the error always smaller than the Chaboche model.

## 5 | CONCLUSIONS

Based on the results obtained with the proposed model, it can be conclude that:

- Separating the hysteresis loop that are under tension and under compression improves the prediction of the material cyclic behavior;
- The ratio between  $\Delta\sigma_{chab}$  to  $\Delta\sigma_c$  or  $\Delta\sigma_t$  tensions varied by almost 400% in some cases;

The proposed model proved to be a valid tool, since the results found are closer to the collected data if compared to the Chaboche model.

## REFERENCES

Armstrong, Peter J., and C. O. Frederick. **A mathematical representation of the multiaxial Bauschinger effect**. Vol. 731. Berkeley: Central Electricity Generating Board [and] Berkeley Nuclear Laboratories, Research & Development Department, 1966.

Chaboche, J-L., P. Kanouté, and Farida Azzouz. **Cyclic inelastic constitutive equations and their impact on the fatigue life predictions**. International journal of plasticity 35 (2012): 44-66.

de Souza Neto, Eduardo A., Djordje Peric, and David RJ Owen. **Computational methods for plasticity: theory and applications**. John Wiley & Sons, 2011.

Handbook, Military. **MIL-HDBK-5H: metallic materials and elements for aerospace vehicle structures**. US Department of Defense (1998): 3-244.

Hao, Zongcheng, et al. **Study on tensile and fracture properties of 7050-T7451 aluminum alloy based on material forming texture characteristics**. *Materials Research Express* 6.3 (2018): 036502.

Hashiguchi, Koichi. **Viscoplastic Constitutive Equations**. *Elastoplasticity Theory*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. 307-316.

Lima, R. M.; Massaroppi Junior, E.; Bose Filho, W. W. **Study of 7050-T7451 aluminum alloy elastic-plastic behavior and the determination of its constitutive properties using FEM**. In: *Pan American Congress of Applied Mechanics*, 13., 2013, Houston. *Proceedings...* New York: American Society of Mechanical Engineers, 2013.

Schubbe, Joel J. **Fatigue crack propagation in 7050-T7451 plate alloy**. *Engineering Fracture Mechanics* 76.8 (2009): 1037-1048.

Standard, A. S. T. M. E739-10, **Standard Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (SN) and Strain-Life ( $\epsilon$ -N) Fatigue Data**. *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA 3 (2012): 721-727.

Xu, Nianwei, et al. **Study on micro-structure and dynamic mechanical properties of machined surface layer by aluminum alloy 7050-T7451**. *Materials Research Express* 5.11 (2018): 116510.

Zhou, Jianqiang, et al. **Experimental analysis and constitutive modelling of cyclic behaviour of 316L steels including hardening/softening and strain range memory effect in LCF regime**. *International Journal of Plasticity* 107 (2018): 54-78.

Zhu, Yilin, et al. **Thermo-mechanically coupled cyclic elasto-viscoplastic constitutive model of metals: theory and application**. *International Journal of Plasticity* 79 (2016): 111-152.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

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

Análise avançada 53, 54, 55, 68

Análise computacional 84, 103

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

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

### B

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

### C

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

Computational fluid dynamics 329, 330, 350

Constitutive model 1, 2, 5, 6, 10

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

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

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

### D

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

Descarte adequado 198

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

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

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

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

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

### E

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

Educacional 14, 82, 206, 208, 209

Elemento hexaédrico 70, 72, 75, 77

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

299, 303, 306, 309, 321

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

Estabilidade estrutural 143

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

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

## **F**

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

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

Fundação elástica 143

## **G**

Geometria irregular 38

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

## **I**

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

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

Industrial process 131

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

Inovação 86, 104, 105, 193, 366

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

## **J**

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

## **L**

Layout 221, 222, 359, 360, 362

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

## **M**

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

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

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

## O

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

## P

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

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

Programação 72, 211, 215, 224, 361

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

Projeto socioambiental 198

## R

Realidade aumentada 193, 194, 195, 196, 197

Rede neural 168, 169, 171, 175

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

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

Robótica 168

RPG 11, 12, 15, 16, 18

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

## S

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

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

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

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

Stable hysteresis cycle 1, 3, 9

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

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

Sustentabilidade 198, 199

## T

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

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

266, 295

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

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

Transitórios eletromagnéticos 23, 24, 31


## **W**

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

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:





ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

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

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

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