



# Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)



# Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**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.



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

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. 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  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
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  
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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
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  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
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. 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

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> 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. 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 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

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 Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

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  
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. 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  
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

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Projeto, análise e otimização na área das engenharias

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Henrique Ajuz Holzmann

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

P964 Projeto, análise e otimização na área das engenharias /  
Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-696-6

DOI 10.22533/at.ed.966210601

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz  
(Organizador). II. Título.

CDD 620

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](mailto: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.

## APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria continua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril. Destaca-se ainda a apresentação das áreas da engenharia e elétrica e eletrônica, com a busca da redução de custos e automação de processos.

Da ênfase em alguns trabalhos voltados a realizar um levantamento econômico dos de processos e o estudo das áreas térmicas.

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.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE MICROCONTROLADORES NA AUTOMAÇÃO DE SHOPPING CENTER**

Rafael Jacinto dos Santos  
Guilherme Henrique Ferreira Neves  
Luiz Felipe Costa Rosa  
Washington Junio Ferreira Resende

**DOI 10.22533/at.ed.9662106011**

### **CAPÍTULO 2..... 8**

#### **ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INVERSORES DE TRÊS NÍVEIS NPC E PONTE H**

Kennedy Ricardo da Silva  
Abinadabe Silva Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.9662106012**

### **CAPÍTULO 3..... 20**

#### **VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS LED NO SETOR INDUSTRIAL**

Bruno Sousa de Castro  
Antonio Manoel Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.9662106013**

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### **PROJETO PARA ELABORAÇÃO DE UMA PEN PLOTTER**

Rafael Ferreira da Silva  
Welton Abreu Rosa  
Luciana Paro Scarin Freitas  
Jorge Luis Ribeiro dos Santos Júnior  
Luís Henrique Chouay Dall’Agnese  
Grégori da Cruz Balestra

**DOI 10.22533/at.ed.9662106014**

### **CAPÍTULO 5..... 40**

#### **DEPRECIAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS USANDO OS MÉTODOS LINHA, COLE, PERCENTAGEM CONSTANTE E CAIRES**

Adalberto Gomes de Miranda  
Jonhunny Jeyson da Costa Gandra  
Adailza Aparício de Miranda  
Steven Frederick Durrant  
José Costa de Macêdo Neto  
Adailson Aparício de Miranda

**DOI 10.22533/at.ed.9662106015**

### **CAPÍTULO 6..... 56**

#### **ANÁLISE DOS IMPACTOS GERADOS PELA FALTA DE COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS NO CUSTO DA EXECUÇÃO DE UMA CRECHE TIPO 1 PADRÃO FNDE EM**

## CARUARU-PE

Matheus Henrique Pacheco Bezerra  
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento

**DOI 10.22533/at.ed.9662106016**

## **CAPÍTULO 7..... 70**

### **ESTIMAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DIFERENTES AGENTES ARRASTADORES NA MISTURA AZEOTRÓPICA ÁGUA/1-PROPANOL POR MEIO DO XSEOS**

Erich Potrich  
Larissa Souza Amaral

**DOI 10.22533/at.ed.9662106017**

## **CAPÍTULO 8..... 78**

### **PROJETO DE ELEMENTOS FINITOS: FLEXÃO EM BARRAS COM DIFERENTES MATERIAIS**

Gabriel Brandão Santos  
Gleudson Silva Figueiredo  
Jullyane Milena Silva de Figueiredo

**DOI 10.22533/at.ed.9662106018**

## **CAPÍTULO 9..... 93**

### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPÓSITO DE MATRIZ DE GESSO REFORÇADO COM CAPIM**

Diogo Antonio Correa Gomes  
Eduardo Hélio de Novais Miranda  
Gustavo Monteiro Costa Sbampato Resende  
Henrique Andrade Alvarenga Barbosa  
Márcia Aparecida Imaculada de Oliveira  
Mariane Duarte Resende  
Thaiane Oliveira Marcelino

**DOI 10.22533/at.ed.9662106019**

## **CAPÍTULO 10..... 100**

### **PROJETO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO MECÂNICA DE UM GUINCHO DE IÇAMENTO PARA LOCOMOÇÃO DE CARGAS**

Antonio Rodrigues Freitas de Carvalho  
Diógenes Linard Aquino Freitas  
Eduardo Ataíde de Oliveira  
Jardielson José da Costa Almeida  
Lucas Filipe de Vasconcelos

**DOI 10.22533/at.ed.96621060110**

## **CAPÍTULO 11..... 113**

### **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REFRIGERADOR PORTÁTIL BASEADO NO EFEITO PELTIER**

Bruno Almeida Miranda Silva  
Vitor Alves Pimenta  
Maksym Ziberov

DOI 10.22533/at.ed.96621060111

**CAPÍTULO 12..... 124**

PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TERMO-HIDRÁULICO DE NANOFLUIDOS NA REFRIGERAÇÃO DE REATORES NUCLEARES À ÁGUA LEVE

Alexandre Melo de Oliveira  
Amir Zacarias Mesquita  
Isabela Carolina Reis

DOI 10.22533/at.ed.96621060112

**CAPÍTULO 13..... 131**

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE AR EM DIFUSORES PARA APLICAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Silmara Bispo dos Santos  
Rodrigo Sabino Pereira  
Francisco Carlos Lima de Souza  
Keteri Poliane Moraes de Oliveira  
Edson Godoy

DOI 10.22533/at.ed.96621060113

**CAPÍTULO 14..... 144**

FATORES DE EQUILÍBRIO E DOSES EM MINAS SUBTERRÂNEAS BRASILEIRAS

Talita de Oliveira Santos  
Zildete Rocha  
Paulo Cruz  
Vandir de Azevedo Gouvea  
Flávia Luiza Soares Borges  
João Batista de Siqueira  
Laura Cardoso Takahashi

DOI 10.22533/at.ed.96621060114

**CAPÍTULO 15..... 152**

PHYSICAL DISTRIBUTION AND RADIOLOGICAL CONTRAST OF CEMENTS IMPLANTED *IN VITRO* VERTEBRAE

Carlos Julio Montañó Valencia  
Sonia Seger Pereira Mercedes  
Luciana Batista Nogueira  
Tarcísio Passos Ribeiro de Campos

DOI 10.22533/at.ed.96621060115

**CAPÍTULO 16..... 160**

PROJETO DE UM PADRÃO UNIVERSAL DE BAIXO CUSTO PARA CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E INSPEÇÃO DE SOLDAGEM

Monalisa Pereira Silva  
Maksym Ziberov

DOI 10.22533/at.ed.96621060116



<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>170</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>171</b>

## PROJETO DE ELEMENTOS FINITOS: FLEXÃO EM BARRAS COM DIFERENTES MATERIAIS

Data de aceite: 04/01/2021

### **Gabriel Brandão Santos**

Universidade Federal do Pará  
Belém - PA

<http://lattes.cnpq.br/2705241471733130>

### **Gleidson Silva Figueiredo**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis – Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/5774781933461733>

### **Jullyane Milena Silva de Figueiredo**

Universidade Federal do Pará  
Belém - PA

<http://lattes.cnpq.br/4791661332315212>

**RESUMO:** Muitas indústrias produzem elementos estruturais constituídos de dois ou mais materiais diferentes, buscando assim, a capacidade destes de suportar de modo mais eficaz cargas aplicadas. Esses elementos são chamados de materiais compostos e um exemplo destes são as barras compostas. Devido à importância dessas barras, este trabalho traz uma análise do comportamento mecânico destes materiais quando são flexionados devido a momentos fletores aplicados em planos dos eixos de simetria e fora destes. Para se obter uma análise mais eficiente do comportamento dessas barras tornou-se necessário o uso do software ANSYS, que utiliza o método dos elementos finitos (MEF) para a solução de diversos problemas em engenharia. Assim, com o uso do ANSYS, foi possível simular o comportamento mecânico, tensões e deformações atuantes, da barra com

boa precisão ao longo de todo o seu comprimento quando está fora flexionada devido a momentos fletores aplicados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Elementos finitos; ANSYS; Flexão; Barras.

### FINITE ELEMENTS DESIGN: BENDING IN BARS WITH DIFFERENT MATERIALS

**ABSTRACT:** Many industries produce structural elements consisting of two or more different materials, thus seeking their ability to more effectively support applied loads. These elements are called composite materials and an example of these are the composite bars. Due to the importance of these bars, this work brings an analysis of the mechanical behavior of these materials when they are flexed due to bending moments applied in planes of the symmetry axes and outside of them. In order to obtain a more efficient analysis of the behavior of these bars, it was necessary to use the ANSYS software, which uses the finite element method (MEF) to solve various engineering problems. Thus, with the use of ANSYS, it was possible to simulate the mechanical behavior, stresses and deformations acting, of the bar with good precision along its entire length when it is flexed out due to applied bending moments.

**KEYWORDS:** Finite elements; ANSYS; Flexion; Bars.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o intenso crescimento das cidades em todo o mundo aumenta, também, como

consequência, o número de estruturas de grande porte que são empregadas em edifícios, pontes, etc. Para isso, faz-se necessário a utilização de materiais que possam garantir uma integridade estrutural eficiente, a fim de que, possam ser evitados prejuízos econômicos e vidas não sejam perdidas. Pensando nisso, muitas indústrias produzem elementos estruturais constituídos de dois ou mais materiais diferentes, aumentando assim, a capacidade destes de suportar de modo mais eficaz cargas aplicadas. Esses elementos são chamados de materiais compostos e um exemplo destes são as barras compostas. Devido à importância dessas barras, este trabalho traz uma análise do comportamento mecânico destes materiais quando são flexionados devido a momentos fletores aplicados em planos dos eixos de simetria e fora destes.

Para se obter uma análise mais eficiente do comportamento dessas barras tornou-se necessário o uso do software ANSYS, que utiliza o método dos elementos finitos (MEF) para a solução de diversos problemas em engenharia. O método dos elementos finitos é uma importante ferramenta computacional que permite realizar uma grande quantidade de operações matemáticas que se fossem feitos manualmente gastariam muito tempo e seriam muitos difíceis. De maneira geral, a ideia básica do MEF é dividir o corpo, domínio, em número finito de elementos, subdomínios, com determinadas formas geométricas, ou seja, este método divide um problema grande em outros menores que permite com que o computador possa realizar vários cálculos na solução dos problemas menores e somar tudo no final. Os subdomínios recebem o nome de elementos finitos que estão conectados entre si por um número finito de pontos nodais, nós, e, ao conjunto de todos esses itens, dá-se o nome de malha. A melhor precisão dos resultados depende, por sua vez, da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha.

Portanto, com o uso do ANSYS, foi possível simular o comportamento mecânico, tensões e deformações atuantes, da barra com boa precisão ao longo de todo o seu comprimento quando está fora flexionada devido a momentos fletores aplicados.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os elementos de viga são elementos lineares que apresentam uma das dimensões muito maior do que as outras duas (dimensões da seção transversal) e que está submetido a cargas perpendiculares ao seu eixo longitudinal. Nesses elementos, desenvolvem-se em suas seções transversais momento fletor e esforço cortante, sendo o primeiro responsável pela flexão e o segundo pelo cisalhamento da viga. O esforço cortante tem na maioria das vezes uma influência desprezível no comportamento da peça e podemos, com a finalidade acadêmica, desprezá-lo, estudando o efeito apenas da flexão isolada. Assim podemos classificar a flexão em: pura e simples.

É necessário analisar também a posição do carregamento em relação à posição da seção transversal da peça. Convencionando por  $x$  e  $y$  os eixos principais centrais de inércia

da seção transversal da viga e aplicando carregamentos das seguintes formas:

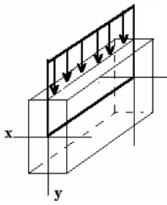


Figura 1. Carregamento no eixo y

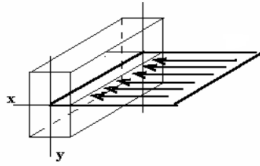


Figura 2. Carregamento no eixo x

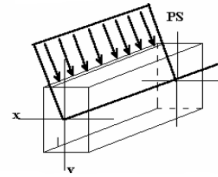


Figura 3. Carregamento fora dos eixos principais

Analisando as situações, podemos classificar a flexão em: reta, a qual ocorre quando o carregamento está atuando em um dos eixos principais centrais de inércia da seção (x ou y). E oblíqua, a qual ocorre quando o carregamento é desviado em relação aos eixos principais centrais de inércia da seção.

## 2.1 Barra sob Flexão Pura

Considerando uma barra prismática  $AB$  possuindo um plano de simetria e submetida a conjugados iguais e opostos  $M$  e  $M'$  atuando naquele plano podemos observar que, se uma seção da barra  $AB$  for cortada em um ponto qualquer  $C$ , as condições de equilíbrio da parte  $AC$  da barra requerem que os esforços internos na seção sejam equivalentes ao conjugado  $M$ . O momento  $M$  daquele conjugado é chamado de momento fletor na seção.

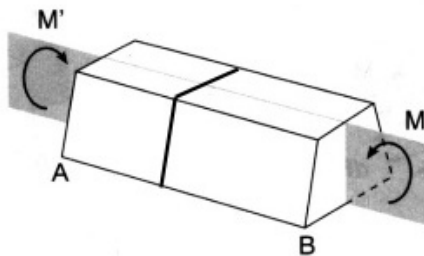


Figura 4. Barra sob conjugado  $M$  e  $M'$ .

Chamando de  $\sigma_x$  a tensão normal em um ponto da seção transversal e  $\tau_{xy}$  e  $\tau_{xz}$  as componentes da tensão de cisalhamento, expressamos que o sistema das forças internas elementares que atuam na seção é equivalente ao momento fletor  $M$ .

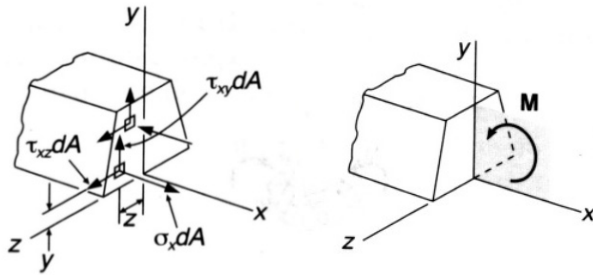


Figura 5. Representação do equivalente de forças.

Da estática sabemos que a soma das componentes de forças em qualquer direção é igual a zero. Além disso, o momento fletor é o mesmo em relação a qualquer eixo perpendicular a seu plano, e é zero em relação a qualquer eixo contido naquele plano.

$$\sum F_x = 0 \therefore \int \sigma_x dA = 0 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\sum M_y = 0 \therefore \int z \sigma_x dA = 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\sum M_z = 0 \therefore \int (-y \sigma_x dA) = 0 \quad (\text{Eq. 3})$$

## 2.2 Deformações sob Flexão Pura

Analisando um trecho de viga submetida a flexão pura (figura 6), o momento fletor é constante para qualquer seção transversal e a viga se flexiona de maneira uniforme. Assim, a linha  $AB$  na face superior da viga tem uma curvatura constante, o mesmo acontece com a linha  $A'B'$ , na face inferior da viga.

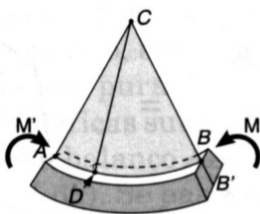


Figura 6.  
Representação da viga  
sob flexão pura.

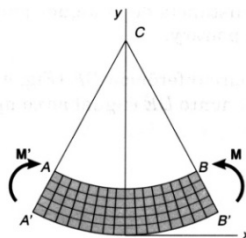
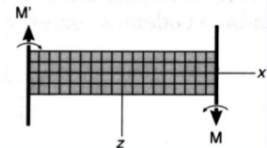


Figura 7. Seções verticais e horizontais longitudinais.



Supondo que a viga seja dividida em um grande número de cubos elementares com faces paralelas aos eixos de coordenadas. Todas as faces estão a 90° uma da outra. Assim

concluimos que na superfície  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  e  $\tau_{yz}$  são zero.

Logo, a única componente de tensão que não se anula é a componente  $\sigma_x$ . Desse modo em qualquer ponto de uma barra submetida à flexão pura, tem-se um estado uniaxial de tensões.

Para  $M > 0$ , observa-se que as linhas  $AB$  e  $A'B'$  diminuem e aumentam em comprimento respectivamente e nota-se que a deformação específica  $\epsilon_x$  e a tensão  $\sigma_x$  são negativas na parte superior da viga (compressão) e positivas na parte inferior (tração). Apenas na chamada superfície neutra  $\epsilon_x$  e  $\sigma_x$  são zero, pois essa superfície intercepta o plano de simetria, é paralelo às faces superior e inferior.

A deformação normal específica é avaliada como a razão entre a variação de comprimento e o seu comprimento original, resultando em:

$$\epsilon_x = -\frac{y}{\rho} \quad (\text{Eq. 4})$$

O sinal negativo indica que a deformação é de compressão para um ponto  $y$  positivo (acima da linha neutra).

### 2.3 Tensões e Deformações no Regime Elástico

Consideramos que o momento fletor  $M$  seja de forma que as tensões normais na viga permanecem abaixo da tensão de escoamento do material  $\sigma_E$ . Não haverá deformação permanente, e vale a lei de Hooke para tensão uniaxial. Considerando que o material seja homogêneo, e chamando de  $E$  seu módulo de elasticidade, temos na direção longitudinal  $x$ :  $\sigma_x = E\epsilon_x$ .

Portanto a distribuição de tensões normais está diretamente associada à distribuição de deformações normais  $\epsilon_x$ . Assim podemos dizer que  $\sigma_x$  varia linearmente com a distância  $y$  da linha neutra, ao longo da seção transversal. Logo:

$$\sigma_x = -E\frac{y}{\rho} \quad (\text{Eq. 5})$$

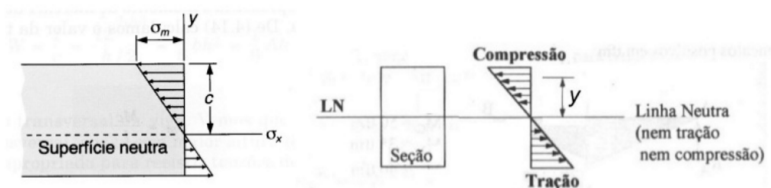


Figura 8. Distribuição das tensões normais variando com a distância  $y$ .

A partir das relações constitutivas, para um estado uniaxial em um material linear elástico e do equilíbrio estático chegamos em:



$$\sigma_x = -\frac{My}{I} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde  $M$  é o momento fletor,  $y$  é a distância do ponto de análise até a linha neutra e  $I$  o momento de inércia de área da seção transversal.

## 2.4 Flexões em Barras com Diferentes Materiais

As vigas são muitas vezes constituídas por mais que um material constituindo as chamadas vigas não homogêneas. Alguns exemplos de vigas deste tipo são vigas de madeira reforçadas a aço, viga constituída de dois materiais metálicos. A teoria da flexão de vigas sujeitas a momentos fletores pode ser facilmente adaptada ao estudo de vigas constituídas por dois ou mais materiais.

Considerando uma barra formada por dois materiais diferentes unidos. Essa barra composta se deformará conforme já mencionado, pois sua seção transversal permanece a mesma em todo o comprimento. Assim, a deformação específica normal  $\epsilon_x$  ainda varia linearmente com a distância  $y$  da linha neutra da seção.

$$\epsilon_x = -\frac{y}{\rho} \quad (\text{Eq. 7})$$

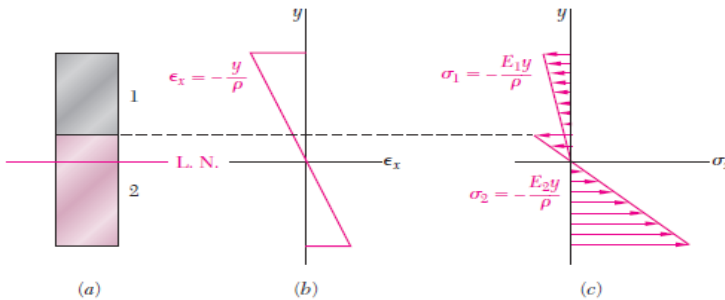


Figura 9. Distribuição de deformação específica.

No entanto, não podemos supor que a linha neutra passe pelo centróide da seção composta. Como os módulos de elasticidade  $E_1$  e  $E_2$  dos dois materiais são diferentes, as expressões obtidas para a tensão normal em cada material também serão diferentes. Considerando  $E_2 > E_1$ :

$$\sigma_1 = E_1 \epsilon_x = -\frac{E_1 y}{\rho} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\sigma_2 = E_2 \epsilon_x = -\frac{E_2 y}{\rho} \quad (\text{Eq. 9})$$

Obtemos uma curva de distribuição de tensões consistindo em dois segmentos de

reta. Conclui-se das equações acima que a forças  $dF$  que atuam no elementos de área  $dA$  da são:

$$d_{F1} = \sigma_1 dA = -\frac{E_1 y}{\rho} dA \quad (\text{Eq. 10})$$

$$d_{F2} = \sigma_2 dA = -\frac{E_2 y}{\rho} dA \quad (\text{Eq. 11})$$

Chamando de  $n$  a relação  $E_2/E_1$ , temos:

$$d_{F2} = -\frac{(nE_1)y}{\rho} dA = -\frac{E_1 y}{\rho} (ndA) \quad (\text{Eq. 12})$$

Nota-se que a mesma força  $dF_2$  atuaria em um elemento de área  $ndA$  do primeiro material, assim:

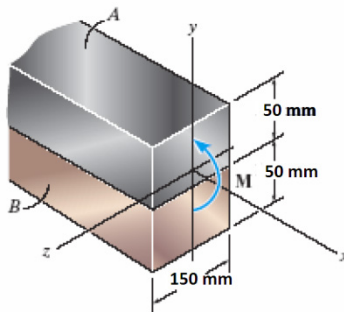
$$\sigma_1 = \sigma_x \quad e \quad \sigma_2 = n\sigma_x$$

A análise para situações como esta deve ser da seguinte forma:

Primeiro definimos um material de referência (de preferência, o de menor módulo de elasticidade) e modificamos as áreas dos outros materiais (em dimensão na direção paralela à linha neutra. A modificação é feita a partir da relação do módulo de elasticidade do material de cada parte com o do material de referência.

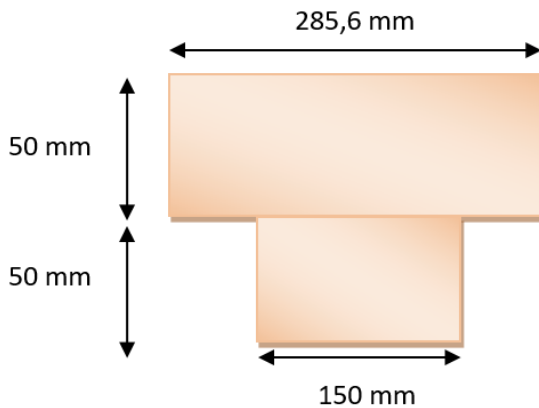
Depois obtemos o momento de inércia  $I$  da área total transformada e calculamos as tensões atuantes. E finalmente multiplicam-se as tensões calculadas para a área transformada pelas razões dos módulos de elasticidade  $n$  para as áreas com materiais diferentes do material de referência.

**Exercício Teórico:** A viga composta é feita de aço (A) e latão (B) e tem a seção transversal mostrada na figura. Se for submetida a um momento  $M = 5 \text{ kN.m}$ , determine a tensão máxima no latão e no aço.



Primeiro transformamos a barra em uma seção equivalente inteira de latão.

$$n = \frac{E_{aço}}{E_{lat}} = \frac{200 \text{ GPa}}{105 \text{ GPa}} = \mathbf{1,904}, \text{ assim: } b' = n \times b = 1,904 \times 150 \text{ mm} = \mathbf{285,6 \text{ mm}}$$



Cálculo do centróide:

$$\bar{y} = \frac{\Sigma \bar{y}A}{\Sigma A} = \frac{(150 \times 50) \times 25 + (285,6 \times 50) \times 75}{(150 \times 50) + (285,6 \times 50)} = \mathbf{57,782 \text{ mm}}$$

Cálculo do momento de inércia da seção transformada:

$$I = \Sigma(\bar{I} + Ad^2) = \Sigma\left(\frac{1}{12}bh^3 + Ad^2\right)$$

$$I = \left[\frac{1}{12}(0,150 \times 0,05^3) + (0,150 \times 0,05) \times (0,032782^2)\right] + \left[\frac{1}{12}(0,02856 \times 0,05^3) + (0,2856 \times 0,05) \times (0,017218^2)\right] = \mathbf{16,8308 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

Cálculo das tensões máximas:

$$\sigma_{\text{máx lat}} = \frac{My}{I} = \frac{5000 \times 0,057782}{16,8308 \times 10^{-6}} = \mathbf{17,165 \text{ Mpa (trativa)}}$$

$$\sigma_{\text{máx aço}} = n \frac{My}{I} = 1,904 \times \frac{5000 \times (0,1 - 0,057782)}{16,8308 \times 10^{-6}} = \mathbf{23,879 \text{ Mpa (compressiva)}}$$

## 3 | MODELO COMPUTACIONAL

### 3.1 Pré-processamento

Para o modelo proposto foram utilizados parâmetros geométricos coerentes com a seção proposta na fundamentação teórica, bem como com a compatibilidade entre os carregamentos do modelo computacional e teórico. Foi obtida assim uma viga de seção retangular (150x100mm) e comprimento 980mm, podendo ser observada na figura 10.

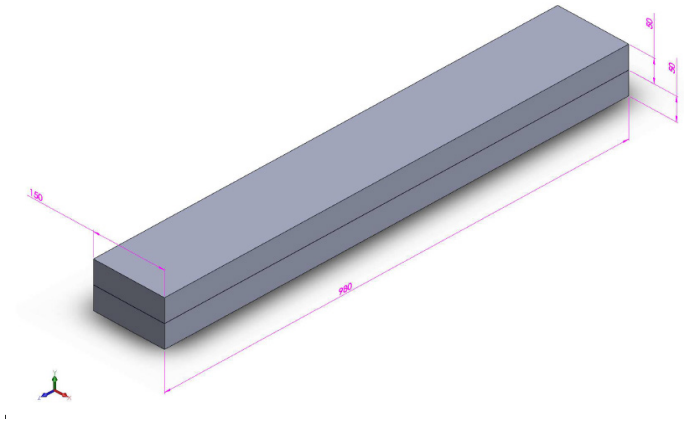


Figura 10. Modelo 3D de uma viga de seção retangular de dois materiais.

Para os materiais foram selecionados o Aço estrutural e o Latão predefinidos na biblioteca de materiais do Ansys, com as seguintes propriedades:

Materiais	Módulo de elasticidade[GPa]	Densidade[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Aço estrutural</b>	200	7850
<b>Latão</b>	105	8300

Tabela 1

Primeiramente foi gerada uma malha de elementos quadriláteros sem qualquer com tamanho de elementos 50mm, contudo prosseguiu-se a simulação para caráter de comparação com os resultados teóricos e, também, confirmação da necessidade de refinamento. Verificou-se valores incoerentes com aqueles esperrados pela teoria. Para corrigir o erro, diminuiu-se o tamanho dos elementos para 30mm, e para maior aproximação com o resultado teórico, foi reduzido ao tamanho final de 20mm. Através disso, foi possível obter novos resultados, com maior nível de confiabilidade. A malha final pode ser observada na figura 11.

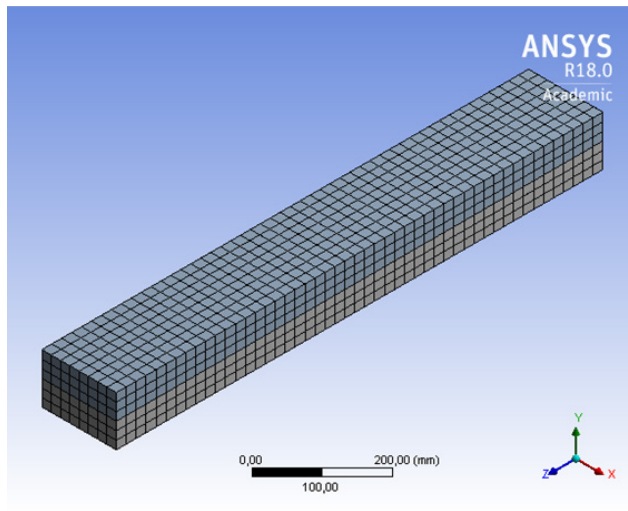


Figura 11. Malha refinada final, composta de 13028 nós e 2352 elementos.

As arestas frontal e traseira da viga foram fixadas (simulando apoios simples), e como na resolução analítica foi aplicado um carregamento tal que o momento fletor gerado fosse de 5 kN\*m. Para o cálculo do carregamento, admitiu-se uma carga P distribuída na face superior da viga. A mesma gera um momento interno cuja magnitude é dada por  $M = \frac{1}{8}P * L^2$ , para o comprimento utilizado, e em conformidade com a fundamentação teórica, temos um carregamento de, aproximadamente, 41649N/m. O sistema está disposto na figura 12.

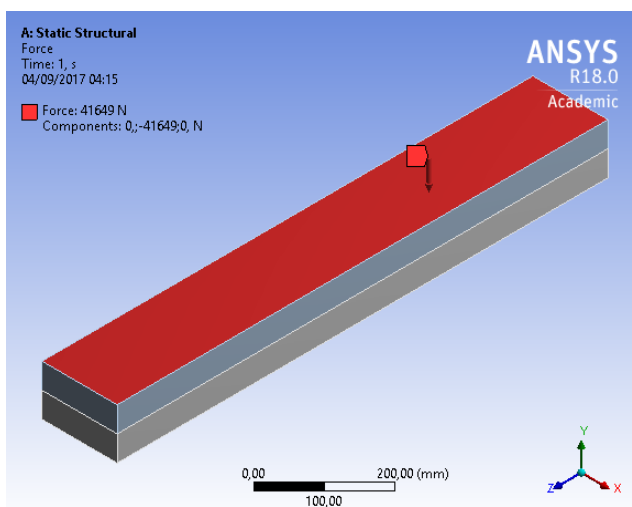


Figura 12. Esquema de aplicação da força e engaste

### 3.2 Solução e Pós-processamento

As soluções levaram em média 18 segundos para serem obtidas, apresentando os seguintes resultados em ordem de tamanho de elemento:

Tamanho de elemento	Tensão Máxima(Latão)[MPa]	Tensão Máxima(Aço)[MPa]
Default(50mm)	11,544	-20,849
30mm	15,486	-22,617
20mm	17,587	-24,481

Tabela 2

Para o resultado mais próximo do teórico obteve-se o seguinte mapa de tensões:

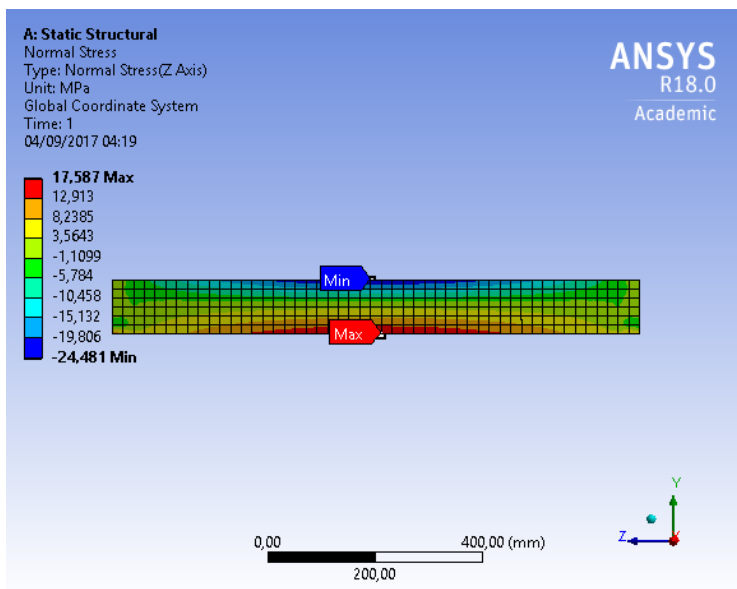


Figura 13. Mapa de tensões normais ao longo da barra na direção z

Para avaliação da deformação ocorrida na viga, é observado que a deflexão da mesma no apoio é 0 e máxima no centro, como prevê a teoria para essa configuração, e que pode ser verificada com o mapa de deformação da figura 14.



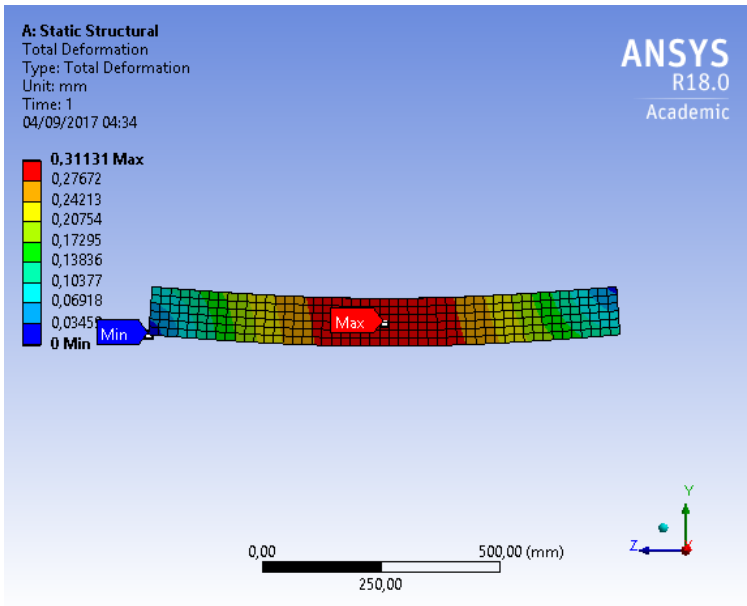


Figura 14. Mapa de deformação total

## 4 | DISCUSSÕES

### 4.1 Resultados analíticos e numéricos

Tensão máxima(Latão)[MPa]	Tensão máxima(Aço)[MPa]
17,165	23,879

Tabela 3. Resultados analíticos

Tamanho do elemento	Tensão máxima (Latão) [MPa]	Tensão máxima (Aço) [MPa]
50mm	11,544	-20,849
30mm	15,486	-22,617
20mm	17,587	-24,481

Tabela 4. Resultados numéricos

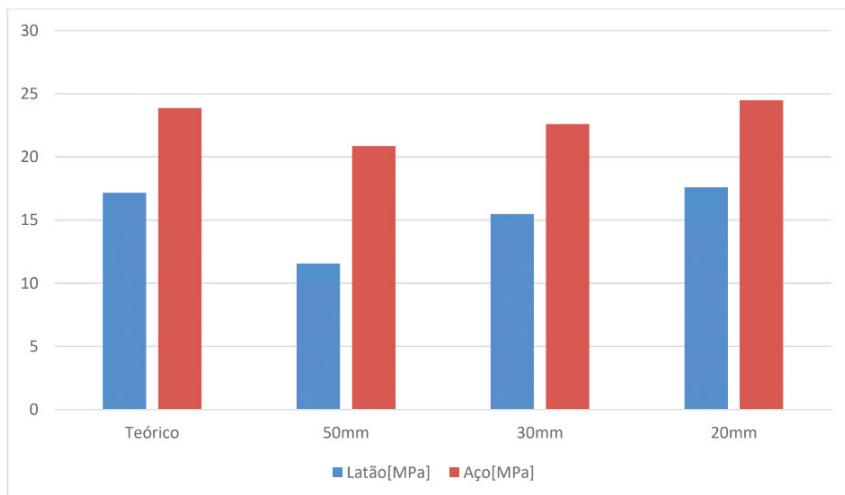


Gráfico 1. Representação das tensões analíticas e numéricas.

## 4.2 Diferenças percentuais

Para o latão as diferenças percentuais entre o modelo teórico e os resultados computacionais obtidos são:

Teórico	50mm	30mm	20mm
17,165	11,544	15,486	17,587
Diferença [%]	32,747	9,782	2,458

Tabela 5. Diferença percentual entre tensão teórica e numéricas do latão.

Para o aço as diferenças percentuais entre o modelo teórico e os resultados computacionais obtidos são:

Teórico	50mm	30mm	20mm
23,879	20,849	22,617	24,481
Diferença [%]	12,689	5,285	2,521

Tabela 6. Diferença percentual entre tensão teórica e numéricas do aço.

O motivo dessas diferenças reside no fato de que o método de elementos finitos, o qual os programas computacionais trabalham, ser uma aproximação do método teórico.

O termo “discretização” é usado justamente porque passamos de um contínuo, modelo teórico, (a função original  $u(x)$  está definida num domínio que é uma reunião infinita de pontos), para um conjunto discreto, o qual o domínio passa a ser uma reunião finita de intervalos, modelo computacional. Em cada um desses intervalos (retas), aproximamos a função original por um segmento de reta. Notadamente, quanto menor o comprimento dos subintervalos, ou seja, quanto menor a norma da partição, mais a função discretizada  $u_d$  se aproximará da original  $u(x)$ , é observável isso na figura abaixo.

Estes subintervalos descritos acima são os segmentos de reta que tendem se aproximarem de  $u(x)$  são os tamanhos dos elementos descritos no tópico modelo computacional. A menor partição utilizada foi de 20mm, este que tem uma proximidade com a teoria em torno de 2,5%.

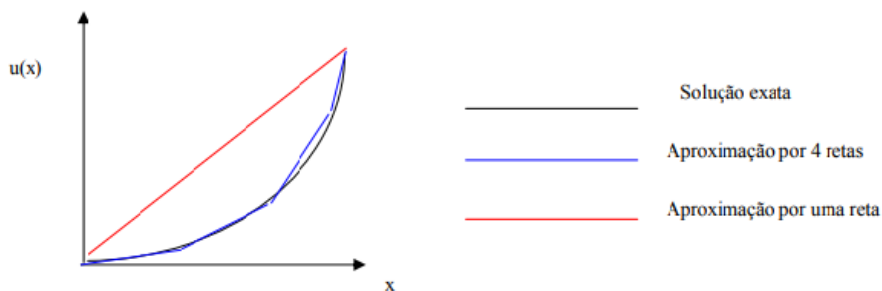


Figura 15. Aproximação por funções contínuas por partes

## 5 | CONCLUSÃO

No trabalho foi realizado o cálculo das tensões sofridas pelos diferentes materiais causada por um momento de 5 kN.m, aproximadamente, pelo método teórico e computacional, para percebermos as disparidades entre a teoria e o método de elementos finitos. E foi observável a propensão do valor teórico pelo método dos elementos finitos, no qual, quanto menor os pontos nodais menor é a diferença entre eles, ou seja, a geometria e o refino da malha é um fator determinante para a satisfatoriedade do resultado encontrado no ANSYS.

Os pontos nodais utilizados foram por ordem de refino 50mm, 30mm e 20mm, para o primeiro ponto a diferença foi grande, principalmente para o latão chegando a 32,747% que sofreu tração modificando de forma desmedida os pontos nodais corpulentos, causando esta defasagem entre os valores. No entanto, para a menor partição de 20mm a variação entre o método computacional e o princípio analítico foi em torno de 2,5% para ambos materiais, sendo este um valor aceitável para o tempo de processamento, em torno de 18 segundos.

Na hipótese de diminuir de modo desmedido as partições, o tempo do procedimento iria aumentar demasiadamente, podendo diminuir a eficiência do trabalho, por uma maior precisão, não muito diferente da obtida, por um tempo excessivamente maior que até poderia danificar o computador.

Para trabalhos futuros, seria interessante estabelecer a comparação dos resultados obtidos com outras metodologias de análise, como por exemplo cálculos analíticos e/ou em alguma viga real com dimensões e propriedades parecidas. Estas comparações serveriam como autenticação dos valores encontrados pelo software, viabilizando o estabelecimento de diferenças percentuais aceitáveis até para problemas mais complexos.

## REFERÊNCIAS

ANSYS, Inc. **Workbench - Mechanical Introduction: Chapter 4: Static Structural Analysis**. Ansys Inc, 2009.

BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ansys 78, 79, 86, 91, 92, 135

Arduino 1, 2, 3, 7, 37

Arrastador 70, 71, 72, 74, 75, 76

Automação 1, 2, 6, 7, 35

Azeotropia 70, 71, 73, 75, 76

### B

Barras 36, 78, 79, 83

Bim 56, 57, 58, 68, 69

### C

Calibração 160, 161, 162, 167, 168, 169

Cimento ósseo 152

CNC 34, 35, 39

Contraste radiológico 152

Custos 6, 28, 30, 31, 32, 57, 134, 139, 168

### D

Depreciação 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 52, 53, 54, 55

Difusores 131, 132, 134, 138, 139

Dinâmica dos fluidos 132

### E

Eficiência 8, 10, 13, 15, 18, 19, 21, 23, 75, 92, 114, 118, 119, 121, 124, 125, 131

Elementos finitos 78, 79, 90, 91

Equilíbrio 9, 10, 70, 71, 72, 73, 74, 80, 82, 104, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150

Equipamentos 2, 8, 36, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 57, 100, 101, 105, 112, 114, 122, 125, 160, 161, 162, 168

### F

Fator de equilíbrio 144, 145, 146, 147, 148, 149

Fibras vegetais 94

Flexão 78, 79, 80, 81, 82, 83, 93, 94, 97, 98, 100, 105, 109, 110, 111

Flexão estática 93, 94, 97, 98

## **G**

Guincho 100, 101

## **H**

Hidroxiapatita 152

## **I**

Iluminação 1, 2, 4, 6, 20, 21, 26, 28, 30, 31, 32, 33

Incompatibilidade 56, 57, 61, 62, 63, 68

Industrial 7, 18, 19, 20, 21, 23, 32, 33, 77, 113, 143

Inspeção de solda 160, 167

Inversor multinível 8, 10

## **L**

Led 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33

## **M**

Máquinas 34, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 100, 101, 111, 112

Métodos de avaliações 41

Mistura 70, 71, 72, 75, 147

## **O**

Obra pública 56, 57

## **P**

Peltier 113, 114, 122, 123

PenPlotter 34, 35, 38, 39

Periférico 1

Potência eólica 132, 133, 138, 139

Precisão 34, 35, 78, 79, 92, 96, 120

Projeto 2, 6, 25, 26, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 56, 57, 58, 61, 63, 64, 68, 78, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 115, 116, 118, 121, 123, 134, 147, 160, 161, 162, 163, 167, 168, 169

Prototipagem 3D 113

## **Q**

Qualidade de energia 8, 10, 13

## **S**

Sistema 1, 2, 4, 5, 6, 21, 22, 35, 37, 39, 58, 65, 66, 68, 71, 73, 80, 87, 94, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 112, 114, 115, 116, 120, 121, 133, 149, 152, 169

Sistema de transmissão 100, 102, 103, 112

Soldagem 160, 162, 164, 165, 167, 168, 169, 170

Sustentabilidade 8, 21, 94

## **T**

Transferência de calor 113, 123, 124, 125, 126, 127, 128

## **V**

Valor residual 40, 42, 43, 44, 53, 55

Viabilidade 20, 21, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 128, 131, 169

## **X**

XSEOS 70, 71, 74, 75, 76

# Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

[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) 



# Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

[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) 