



# 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 Internazionele 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. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal 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 Andreza 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 Cremo  
**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 Montaña 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 DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO MECÂNICA DE UM GUINCHO DE IÇAMENTO PARA LOCOMOÇÃO DE CARGAS

*Data de aceite: 04/01/2021*

*Data de submissão: 06/10/2020*

### **Antonio Rodrigues Freitas de Carvalho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Pernambuco  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/6346830941733825>

### **Diógenes Linard Aquino Freitas**

Universidade Federal da Paraíba  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/7417068118384455>

### **Eduardo Ataíde de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Pernambuco  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/9431676326240421>

### **Jardielson José da Costa Almeida**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Pernambuco  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/2904097848738906>

### **Lucas Filipe de Vasconcelos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Pernambuco  
Caruaru – PE  
<http://lattes.cnpq.br/6454991819023153>

**RESUMO:** O transporte de cargas é uma atividade frequente e que exige certo esforço no meio da produção, seja para se ter a otimização do layout vigente ou para o alojamento de novos

maquinários no espaço de trabalho. Para isso é requerido aparatos mecânicos que venham a facilitar a locomoção desses equipamentos de médio e grande porte, ou seja, sistemas mecânicos capazes de mover equipamentos robustos. Nesse sentido, essa produção tem por finalidade desenvolver um sistema de transmissão para um guincho, semelhante ao de uma ponte rolante, que será instalado no laboratório de práticas mecânicas do IFPE Campus Caruaru. O projeto aborda desde a seleção do motor de indução que opera de modo satisfatório para os níveis de projeto, passando por etapas de redução por meio de elementos de máquinas flexíveis – correia e corrente – e pela caixa de engrenagens redutoras. Além disso, foi realizado o dimensionamento do tipo de cabo de aço e a seleção do material da alma do mesmo, esse processo foi realizado seguindo a NBR 4309, suas recomendações e cálculos necessários. Todas as etapas da metodologia são projetadas a fim de que as especificações do projeto sejam respeitadas e válidas a níveis de segurança como carga média para içamento dos maquinários, tempo de elevação e dimensões. O dimensionamento desses equipamentos também engloba: seleção de material dos componentes, tais como nos eixos e nas engrenagens e a análise de tempo de vida/ciclos de elementos de máquinas com nível de trabalho nominal. Engrenagens, de uma forma particular, serão projetadas baseadas na metodologia da American Gear Manufacturers Association (AGMA) que leva em consideração prioritária a resistência à flexão e ao desgaste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de Transmissão,

## DESIGN OF MECHANICAL TRANSMISSION SYSTEM OF A LIFTING WINCH FOR TRANSPORTATION OF EQUIPMENTS

**ABSTRACT:** Transportation of loads it's a very common activity and demands a certain effort in the environment of production, may it be for the layout optimization or only for the lodge of a new machine in the workspace. For this task, is required tools that make it easy the transportation of those equipment's of medium and high size, this means, mechanical systems there are capable of move toughness equipment's. In this sense, this production aims the development of a transmission system for a winch, like those of an overhead crane, that will be installed in Mechanical Practices Lab at the IFPE Caruaru. The project starts since the selection of the induction motor, whom work according to the levels of project fixed, passing through the reduction phases by means of flexible mechanical elements – belts and roller chains – and through the reduction gears. Besides that, it's was made the design of the wire rope, the selection of his material, following the NBR 4309 recommendations and calculations. Every phase of the methodology was design aiming that the specifications of project be respected and valid on the level of safety, like average load for rising of equipment, time of rising and dimensions. The design of these mechanical elements also includes the selection of material of shafts and gears, and the analysis of the lifetime and cycles by operating at normal conditions of power. Gears, in a way, was design according to the methodology of American Gear Manufactures Association (AGMA) and considers primarily the bending fatigue failure and pitting failure.

**KEYWORDS:** Transmission System, Design, Winch.

### 1 | INTRODUÇÃO

Os sistemas de transmissão de potência – mais conhecidos por redutores ou ampliadores de velocidade – são amplamente utilizados em equipamentos mecânicos devido à necessidade de adequação de torque e velocidade fornecidos por um motor, em relação ao demandado para a realização de trabalho (BIANCHI, 2009). Sistemas de transmissão mecânica têm um grande campo de aplicação no âmbito da mobilidade: como setor automotivo, naval e de mecanismos industriais.

Conjuntos de transmissão são extremamente vantajosos porque são capazes de prover à carga um torque tantas vezes maior que as do motor quanto for a relação de redução (SANTOS JÚNIOR, 2002).

Nesse sentido, o correto dimensionamento dos elementos de máquinas para solicitação mecânica de um sistema como esse não somente permite um aumento do tempo de vida dos componentes, como também assegura ao projetista níveis de segurança para o equipamento. De acordo com Niemann (2002), as transmissões por corrente são utilizadas para relações de multiplicação de até seis em eixos paralelos com um rendimento da ordem de 98%.

As correias, segundo Melconian (2006), possuem por característica principal

a grande capacidade de multiplicação, de absorver impactos e sua perda associada, geralmente atrelada ao escorregamento e deslizamento, que representa apenas 5% de potência.

Os sistemas de transmissão mecânicos encontram nas engrenagens seu principal elemento de máquina. Pelo fato de permitirem ajustar as características da fonte de rotação de acordo com a necessidade do sistema acionado, aumentando o momento, diminuindo a velocidade de rotação e vice-versa, com o mínimo de perdas de potência (FARIA, 2009). A transmissão por engrenagens apresenta um elevado rendimento em comparação com outros sistemas de transmissão mecânica.

## 2 | APRESENTAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de transmissão desse estudo é composto por um tambor de cabo de aço, a caixa de engrenagens redutoras, corrente e correia. Todas as etapas do sistema de transmissão estão anotadas com sub-índices numéricos, sendo assim as grandezas tais como velocidade e forças associadas a esses estágios estão expressas da forma: 1 – motor elétrico, 2 – polia do eixo AB, 3 – entrada do redutor, 4 – saída do redutor.

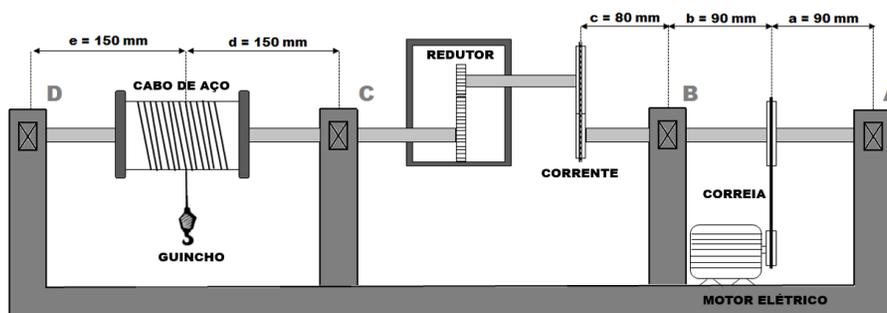


Figura 1 – Componentes mecânicos do sistema de transmissão

Fonte: Própria (2019)

As especificações de projeto para esse sistema foram definidas com base nas dimensões do laboratório de práticas mecânicas do IFPE *campus* Caruaru. Segue, portanto as cotas e especificações de projeto: elevar cargas de até 713 kg (7 kN) com uma velocidade de 0,3 m/s até uma altura de 6 metros do solo. Motor elétrico de 4 polos (1800 rpm). As cotas *a*, *b*, *c*, *d* e *e* são distâncias tomadas dos apoios dos mancais na base de apoio do sistema de transmissão e são, respectivamente: 90 mm, 90 mm, 80 mm, 150 mm e 150 mm.

### 3 | PROJETO DOS COMPONENTES

Partindo-se da velocidade angular do eixo do tambor, tem-se ideia da redução global que o sistema necessita, é feita uma ponderação do quanto será o fator de redução em cada um dos três elementos (correia, corrente e engrenagens). O organograma ilustra o processo de desenvolvimento do projeto.

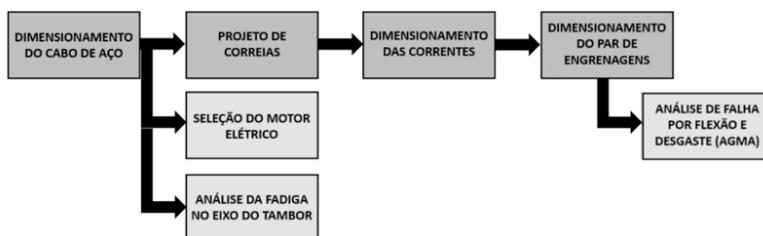


Figura 2 – Organograma do projeto do sistema de transmissão

Fonte: Própria (2019)

#### 3.1 Dimensionamento do cabo de aço e tambor

O estudo do componente cabo de aço consiste em encontrar as cargas de trabalho a partir de um fator de segurança recomendado, segundo a *NBR 4309*, esse coeficiente em pontes rolantes varia de 6 a 8. O coeficiente de segurança é a razão da Carga de Ruptura Mínima *CMR* e a Carga de Trabalho *CT*, como explicita a equação (1):

$$n = \frac{CMR}{CT} \quad (1)$$

A carga de trabalho leva em consideração forças de atrito e inércia,  $W$  é a carga a ser elevada em  $N$ ,  $m$  o número de cabos de aço para a operação ( $m = 1$ ),  $\omega$  é o peso por metro do cabo de aço e  $l$  é o comprimento suspenso do cabo (altura de elevação) que será de 6 metros. Da tabela 17-24 do Shigley (2008), tem-se que para içamento padrão, o cabo utilizado é o  $6 \times 19$  que apresenta um  $\omega = 36,18 \times 10^{-3} N/m$ ,  $a$  é referente a aceleração que será de  $0,015 m/s^2$  e  $g = 9,81 m/s^2$ .

Pelo fato do diâmetro do cabo ser um fator limitante, visto que não foi selecionado previamente, toma-se, portanto, uma média entre os valores do intervalo dado dos tamanhos padronizados da tabela 17-24 (Shigley, 2008). Obtendo  $d = 38mm$ . Aplicando esses valores na equação (2), tem-se:

$$CT = \left( \frac{W}{m} + \omega l \right) \left( 1 + \frac{a}{g} \right) \quad (2)$$

$$CT \approx 7325 \text{ N}$$

Tomando o coeficiente de segurança máximo, 8, se tem: **CMR = 58,6 kN**

O manual técnico de Cabos de Aço (CIMAF, 2012) fornece os valores de CMR em tf, sendo assim **CMR = 5,977 tf** de um **6x19** alma de aço, o diâmetro da bitola do cabo (**d = 9,5 mm**). Com isso, sabe-se que o diâmetro ( $D_{\text{tambor}}$ ) para o tambor se situa numa faixa de 30 a 45 vezes o diâmetro do cabo, pondo uma margem de segurança, o diâmetro do tambor escolhido será da ordem de 37 vezes o diâmetro do cabo.  $D_{\text{tambor}} = 351,5 \text{ mm}$ .

Tendo em mãos o diâmetro do tambor e a velocidade de elevação da carga, determina-se a rotação do eixo pela expressão (3):

$$V = \omega \times r$$

Resultando assim,  $\omega_4 = 16,3 \text{ rad/s}$ . A potência desenvolvida no eixo é tida pela expressão (4):

$$H_4 = (r_{\text{tambor}} \times CT) \times \omega_4 \quad (4)$$

Resultando em **2,975 cv**, porém, ao considerar perdas nos estágios de transmissão, da correia, corrente e engrenagens de 5, 3 e 0%, respectivamente. Tem-se que a potência do motor deverá ser de:

$$H_{\text{motor}} = \frac{H_4}{(1 \times 0,97 \times 0,95)} = \frac{2,9755}{0,9215} \cong 3,5 \text{ cv}$$

Por questões de disponibilidade comercial e superdimensionamento de segurança para a aplicação, será selecionado um motor de potência 4,0 cv. Com rotação nominal de 1800 rpm, 220/380 V e 4 pólos.

### 3.2 Dimensionamento do eixo do tambor pelo critério de falha

Para realizar a análise de fadiga, é necessário determinar o torque médio ( $T_m$ ) e o momento alternado ( $M_a$ ). As equações de equilíbrio por meio do diagrama de corpo livre (figura 3) fornecem que as reações nos mancais C e D: com as reações de ambos os pontos em z sendo nulas,  $C_y = -3459,645 \text{ N}$  e  $D_y = 3519,645 \text{ N}$ .

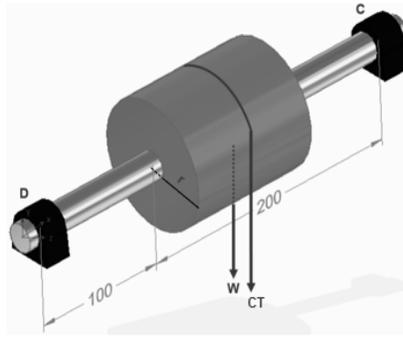


Figura 3 – Diagrama do corpo livre do eixo CD

Fonte: Própria (2019)

O diagrama de Momento Fletor nos fornece o maior momento aplicado no eixo e resulta em  $M_a = 527,94 \text{ N.m}$  e  $T_m$  é obtido pelo produto  $r \times CT$ ,  $T_m = 1230,25 \text{ N.m}$ . Para um eixo rotacionando com flexão e torção constantes a tensão de flexão é completamente reversa e a torção estável, logo  $M_m = T_a = 0$ . Pelo critério de falha de DE-Goodman, tomando um fator de segurança  $n = 2$ . Se terá por (5):

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

$$d_{CD} = 53,85 \text{ mm}$$

Alguns fatores e grandezas estão apresentadas na tabela 1:

Limite de resistência ( $S_{ut}$ ) p/ SAE 1035-HR:	500 MPa	Limite de Endurança ( $S_e$ ):	149,625 MPa
Fator de superfície ( $k_a$ ):	0,665	Fator concentrador de tensão flexional ( $K_f$ ):	1,49
Fator de tamanho ( $k_b$ ):	0,9	Fator concentrador de tensão torcional ( $K_{fs}$ ):	1,13

Tabela 1 – Fatores e tensões para análise de fadiga do eixo CD

Fonte: Própria (2019)

### 3.3 Etapas de redução do sistema

É tomado como fator limitante de projeto que as taxas de redução devam ser menores que 10, para não super-requerer aspectos mecânicos dos equipamentos. A figura 4 mostra

esquemáticamente a redução por estágios relacionado a cada elemento de máquina:

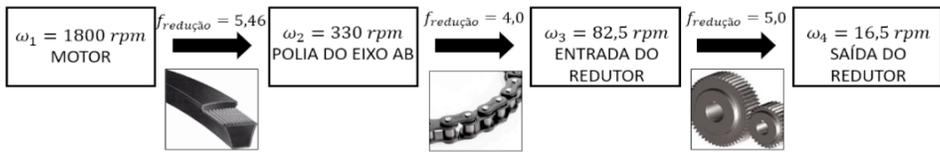


Figura 4 – Redução por estágios no sistema

Fonte: Própria (2019)

### 3.4 Dimensionamento e análise de vida das correias

Na correia, há uma perda de 5% na transmissão da potência nominal do motor, assim, a potência desenvolvida na saída do motor 4,0 cv (aproximadamente 3 kW):  $H'_{nom} = 0,95 \times H_{nom} = 2,85 \text{ kW}$ .

A tabela 17-12 do Shigley (2008) relaciona as potências para diferentes velocidades e diferentes diâmetros mínimos, com base nessa, o diâmetro da polia motora:  $d_{p_1} = 155 \text{ mm}$ . Com a redução estabelecida de 5,46, tem-se:  $d_{p_2} = 5,46 \times 155 = 846,30 \text{ mm}$ .

A velocidade periférica é tida a partir do diâmetro da polia motora, pela expressão (6), onde  $n$  é a rotação de saída do motor em rps:

$$V_{per} = \pi d_{p_1} n \quad (6)$$

A velocidade periférica de 14,6 m/s situa-se numa faixa de operação boa. Interpolando valores de velocidade periférica dado o diâmetro primitivo da roldana e o tipo de correia (tipo B) na tabela 17-12 do Shigley (2008), tem-se que a potência tabelada ( $H_{tab}$ ) é de 2,89 kW.

Da tabela 17-10, define-se o comprimento da circunferência interna e da tabela 17-11 do Shigley (2008), o comprimento a ser adicionado. São, respectivamente:  $L_c = 4500 \text{ mm}$  e  $L_{ad} = 45 \text{ mm}$ .

Da equação (7), define-se a distância entre centros C:

$$C = 0,25 \left\{ \left[ L_p - \frac{\pi}{2} (d_{p_2} + d_{p_1}) \right] + \sqrt{\left[ L_p - \frac{\pi}{2} (d_{p_2} + d_{p_1}) \right]^2 - 2(d_{p_2} - d_{p_1})^2} \right\} \quad (7)$$

Resultando  $C = 1445 \text{ mm}$ . Esse dimensionamento respeita a desigualdade  $d_{p_2} < C < 3(d_{p_2} + d_{p_1})$ , portanto será mantida no projeto.

### 3.5 Dimensionamento das correntes

Levando em consideração a capacidade de carga da corrente fazendo e considerando a perda de 3% de potência na seção, tem-se que a potência é então de 3,88 cv Uma

correção é feita a partir do fator de serviço ( $k_s$ ). Para condições moderadas de operação e motor elétrico, tem-se que o fator de serviço é 1,3, sendo assim, por (8):

$$H_{proj} = k_s H$$

A potência de projeto é de 5,04 cv. A tabela 17-20 do Shigley (2008) nos fornece a capacidade em cavalo-vapor para várias velocidades da roda dentada. Foi necessário fazer uma interpolação para uma velocidade de 330 rev/min (velocidade da polia do eixo AB).

	Número de corrente ANSI (p/ roda dentada de 17 dentes)													
rev/min	25	35	40	41	50	60	80	100	120	140	160	180	200	240
300	0,23	0,78	1,85	1,02	3,61	6,2	14,5	27,7	46,8	72,4	105	145	198	310
330	0,251	0,849	2,015	1,11	3,928	6,749	15,76	30,16	50,94	78,82	114,3	157,9	209,8	324,7
400	0,3	1,01	2,4	1,32	4,67	8,03	18,7	35,9	60,6	93,8	136	188	249	359

Tabela 2 - Capacidade em cavalos para corrente de filetes de fila única

Fonte: Shigley (2008). Adaptado pelos autores

Onde cada cor indica o tipo de lubrificação: tipo A (azul) – por gotejamento ou manual; B (verde) – por disco ou por banho; tipo C (amarelo) – por corrente de óleo; tipo C' (vermelho) – por corrente de óleo com esfolamento. O fator de correção do número de dentes ( $k$ ) para uma corrente de filetes únicos dentada de 14 dentes é 0,78. Por (9):

$$H_{corr} = k H_{proj} \quad (9)$$

A potência corrigida é de 3,93 cv. Segue abaixo os resultados na tabela 3:

	25	35	40	41	50	60	80	100	120	140	160	180	200	240
Simples	0,19578	0,66222	1,5717	0,8658	3,06384	5,2642	12,2928	23,5248	39,7332	61,4796	89,154	123,162	163,644	253,266
Dupla	0,332826	1,125774	2,67189	1,47186	5,208528	8,949174	20,89776	39,99216	67,54644	104,5153	151,5618	209,3754	278,1948	430,5522
Tripla	0,48945	1,65555	3,92925	2,1645	7,6596	13,16055	30,732	58,812	99,333	153,699	222,885	307,905	409,11	633,165
Quadru	0,646074	2,185326	5,18661	2,85714	10,11067	17,37193	40,56624	77,63184	131,1196	202,8827	294,2082	406,4346	540,0252	835,7778

Tabela 3 - Relação dos tipos de correia para diferentes configurações

Fonte: Própria (2019)

Como a capacidade da corrente de  $n^\circ$  60, na configuração simples, foi a mais próxima e ligeiramente maior do que a  $H_{projetado}$ , ela será a aplicada no sistema.

Ainda pode-se determinar alguns parâmetros da corrente para calcularmos limites de potência e fazer sua verificação. O limite de potência baseada na fadiga da placa de ligação é dado pela equação (10):

$$H_{lim,pl} = 0,004 \times N_1^{1,08} \times n_1^{0,9} \times p^{(3-0,07p)} \quad (10)$$

Onde:  $N_1$  é o número de dentes da roda dentada menor (14),  $n_1$  é a velocidade angular (330 rev/min), e  $p$  é o passo (0,75 in). Assim,  $H_{lim,pl} = 5,5 \text{ cv}$ . Fazendo o uso da equação (11), para o limite de potência baseado no rolete e na bucha e da equação (12), para o limite de potência baseado no desgaste excessivo.

$$H_{lim,RB} = \frac{1000 \times Kr \times N_1^{1,5} \times p^{0,8}}{n_1^{1,5}} \quad (11)$$

$$H_{lim,DC} = \left( \frac{N_1 \times n_1 \times p}{110,84} \right) \times (4,413 - 2,073 \times p - 0,0274 \times N_2) - \left( \frac{\ln n_2}{1000} \right) \times (1,59 \times \log p + 1,873) \quad (12)$$

118 cv e 41,4 cv, respectivamente. Como a potência projetada não ultrapassa esses níveis, essa corrente será utilizada no sistema. Com isso, os aspectos geométricos e dimensionais da corrente seguem apresentados na tabela 5.

Diâmetro do pinhão ( $D_p$ ):	3,37 in
Diâmetro da coroa ( $D_c$ ):	13,37 in
Número de passos (L):	96 passos

Tabela 5 - Especificações da corrente

Fonte: Própria (2019)

### 3.6 Dimensionamento das engrenagens redutoras

Para o dimensionamento do par de engrenagens, tem-se que o fator de redução a título de projeto é 5, logo, por (13). Os sub-índices 3 e 4 são relativos ao pinhão e coroa, respectivamente.

$$r_4 = 5 \times r_3 \quad (13)$$

Iniciando com uma análise de interferência para engrenagens cilíndricas de dentes retos, tem-se que o número mínimo de dentes no pinhão é dado por (14):

$$N_3 = \frac{2k}{(1 + 2m_G) \sin^2 \phi} \left( m_G + \sqrt{m_G^2 + (1 + 2m_G) \sin^2 \phi} \right) \quad (14)$$

Para uma razão de engrenamento igual a 5 e tomando o ângulo de pressão como 20° e que  $k=1$ , o menor número de dentes do pinhão para que não ocorra interferência é 16. Para a coroa, o maior número de dentes da engrenagem dada pela equação (15):

$$N_4 = \frac{N_3^2 \sin^2 \phi - 4}{4 - 2N_3 \sin^2 \phi} \quad (15)$$

A expressão nos dá como resultado 100 dentes, logo, dado o intervalo obtido, foi projetado um pinhão com 18 dentes, e uma coroa com 90. Tomando como fator de projeto um módulo (m) de 6mm, tem-se, através dos devidos cálculos:

	PINHÃO	COROA
Diâmetro primitivo (mm)	108	540
Número de dentes	18	90
Adendo (in)	0,2364 / 6,0 mm	
Dedendo (in)	0,2955 / 7,5 mm	
Profundidade total (mm)	13,5	
Diâmetro externo (mm)	120	552
Diâmetro interno (mm)	96	528
Módulo (mm)	6	
Distância entre eixos (mm)	324	

Tabela 6 – Dimensões do par engrenado

Fonte: Própria (2019)

### 3.7 Análise de falha de flexão e desgaste das engrenagens

Uma vez projetado os aspectos dimensionais, a análise das forças é imprescindível para o projeto contra falha de desgaste e flexão. Calculando a carga transmitida no pinhão por (16):

$$W_t = F_{34}^t = \frac{60000H_3}{\pi d_3 n_3} \quad (16)$$

Sendo H a potência que chega no redutor, passando pelos estágios de redução de correia e corrente, tem-se que:  $H_3 = H_{motor} \times \text{Perdas} = 4 \times 0,97 \times 0,92 = 3,57 \text{ cv} = 2625,731 \text{ W}$

Com  $d_3 = 108 \text{ mm}$  e a celeridade  $n_3 = \omega_3 = 82,5 \text{ rev/min}$ . Portanto: a carga transmitida é de  $5,628 \text{ kN}$  Sabendo que o ângulo de contato  $\phi$  é  $20^\circ$ , pode-se determinar a componente radial e o módulo da força. A figura 5 abaixo mostra um diagrama de corpo livre das forças aplicadas no par de engrenamento.

$$F_{34}^r = 2,048 \text{ kN}; F_{34} = 5,989 \text{ kN}$$

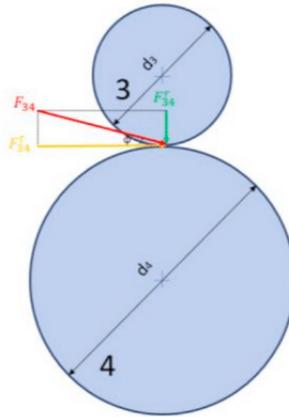


Figura 5 – Diagrama de corpo livre das forças aplicadas na engrenagem  
 Fonte: Própria (2019)

Realizando a análise da velocidade na linha primitiva, e sabendo que  $d$  é dado em polegadas e  $n$  em rpm, temos por (17):

$$V = \frac{\pi d_3 n_3}{12} \quad (17)$$

A análise de falha de desgaste e flexão da metodologia da AGMA é feita em unidades inglesas, portanto, a carga transmitida será  $W=1265,25 \text{ lbf}$ . As equações de tensão da AGMA, considerando todos os fatores, são duas a flexional (18):

$$\sigma_f = W^t K_o K_v K_s \frac{P_d K_m K_B}{F J} \quad (18)$$

E a de resistência ao crateramento (19):

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_m C_f}{d_p F I}} \quad (19)$$

As equações do coeficiente de segurança AGMA  $S_F$  para flexão e desgaste  $S_H$  são expostas a seguir por (20) e (21), respectivamente:

$$S_F = \frac{S_t}{\sigma_{f,adm}} \frac{Y_N}{K_T K_R} \quad (20)$$

$$S_H = \frac{S_c}{\sigma_{c,adm}} \frac{Z_N C_H}{K_T K_R} \quad (21)$$

O pinhão é de aço grau 1 com dureza de superfície e do dente de 240 HB (módulo de elasticidade 30 Mpsi), a coroa é de aço grau 1 e possui dureza de superfície e do dente

de 200 HB (módulo de elasticidade 2300 Mpsi). O pinhão irá rotacionar por  $10^8$  ciclos e a coroa por  $2 \times 10^7$  ciclos. Largura da face do par engrenado 2,97in, possuem dentes não coroados e por consideração de projeto os mancais estão imediatamente adjacentes ao redutor e as engrenagens do redutor estão confinadas.

O redutor também é comercialmente disponível, por fim, toma-se uma confiabilidade de 99%. Aplicando as devidas relações, tem-se todos os resultados tabelados abaixo (7):

Fatores e coeficientes de projeto					
Ko	1,00	St,3	31,352 kpsi	Cf	1,00
Kv	1,130	St,4	28,26 kpsi	dp3	4,252 in
KS,3	1,135	Sc,3	106,28 kpsi	I	0,134
KS,4	1,144	Sc,4	93,5 ksi	KT	1,00
Pd	4,23 dentes/in	CH,3	1,00	KR	1,00
F	2,97 in	CH,4	1,01	ZN,3	0,948
Km	1,129	J3	0,320	ZN,4	0,984
KB,3	1,00	J4	0,420	YN,3	0,977
KB,4	1,00	Cp	2300 $\sqrt{\text{psi}}$	YN,4	1,005

Tabela 7 - Fatores e coeficientes do projeto

Fonte: Própria (2019)

Calculando a falha por flexão no pinhão e na coroa por (18):

$$(\sigma_{f,adm})_3 = 8157,82 \text{ psi}; (\sigma_{f,adm})_4 = 6267 \text{ psi}$$

E conseqüentemente o coeficiente de segurança por (20):

$$(S_F)_3 = 3,75; (S_F)_4 = 4,53$$

Calculando a falha por desgaste no pinhão e na coroa por (19):

$$(\sigma_{c,adm})_3 = 75724 \text{ psi}; (\sigma_{c,adm})_4 = 76037 \text{ psi}$$

E, da mesma forma, obtendo os coeficientes de segurança por (21):

$$(S_H)_3 = 1,33; (S_H)_4 = 1,178$$

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizar esse trabalho permite não somente aplicar os conceitos de seleção de materiais e dimensionamentos de elementos de máquinas como também integrar nossa

visão no que diz respeito ao funcionamento de conjuntos mecânicos. Tomar a liberdade de projetar, fazer considerações a respeito de aspectos construtivos e aplicar metodologias de grande importância no âmbito de projetos mecânicos.

É um trabalho multidisciplinar no âmbito da engenharia mecânica e nos permite deixar uma contribuição para o nosso campus, não só na pesquisa e produção acadêmica, como também para o laboratório de práticas mecânicas que possui um norte para a futura instalação do sistema de içamento.

## REFERÊNCIAS

BIANCHI, Kleber Eduardo. **Desenvolvimento de um sistema de transmissão mecânica baseado em engrenagens cônicas e faciais**. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17877> > Acesso em 28 de julho de 2019;

COLLINS, J. A., **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas – Uma Perspectiva de Prevenção de Falha**, LTC, Rio de Janeiro, 2006;

FARIA, Iolanda Balcky. **Seleção de um redutor de engrenagens para um agitador e planejamento das ações de manutenção**. Disponível em: <[https://run.unl.pt/bitstream/10362/2511/1/Faria\\_2009.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/2511/1/Faria_2009.pdf)> Acesso em 29 de julho de 2019;

**Manual técnico de cabos de Aço**, Cimat, agosto de 2012;

MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**. 17ª ed., Erica, 2006.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002, vol. 2;

NORTON, R., **Projeto de máquinas**, Bookman, Porto Alegre, 2004;

NBR 4309, **Equipamentos de movimentação de carga – Cabos de Aço** – Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte;

SANTOS JUNIOR, A. A. dos. **Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos**. Campinas, 2002. Disponível em: < <http://www.fem.unicamp.br/~lafer/em618/pdf/Apostila%20Engrenagens%2> >. Acesso em: 29 julho. 2019;

SHIGLEY, J. E., **Elementos de Máquinas**, Vol. 8, 8ed., LTC, Rio de Janeiro, 2008.

## 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) 