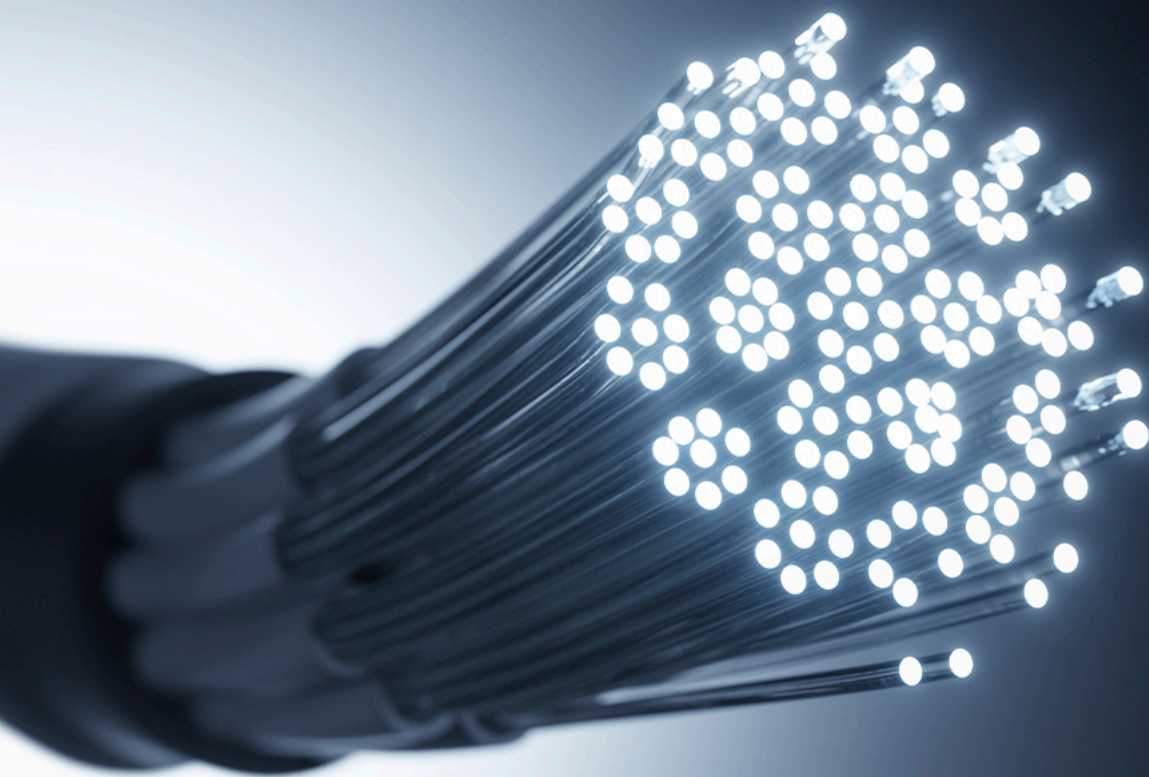


COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA

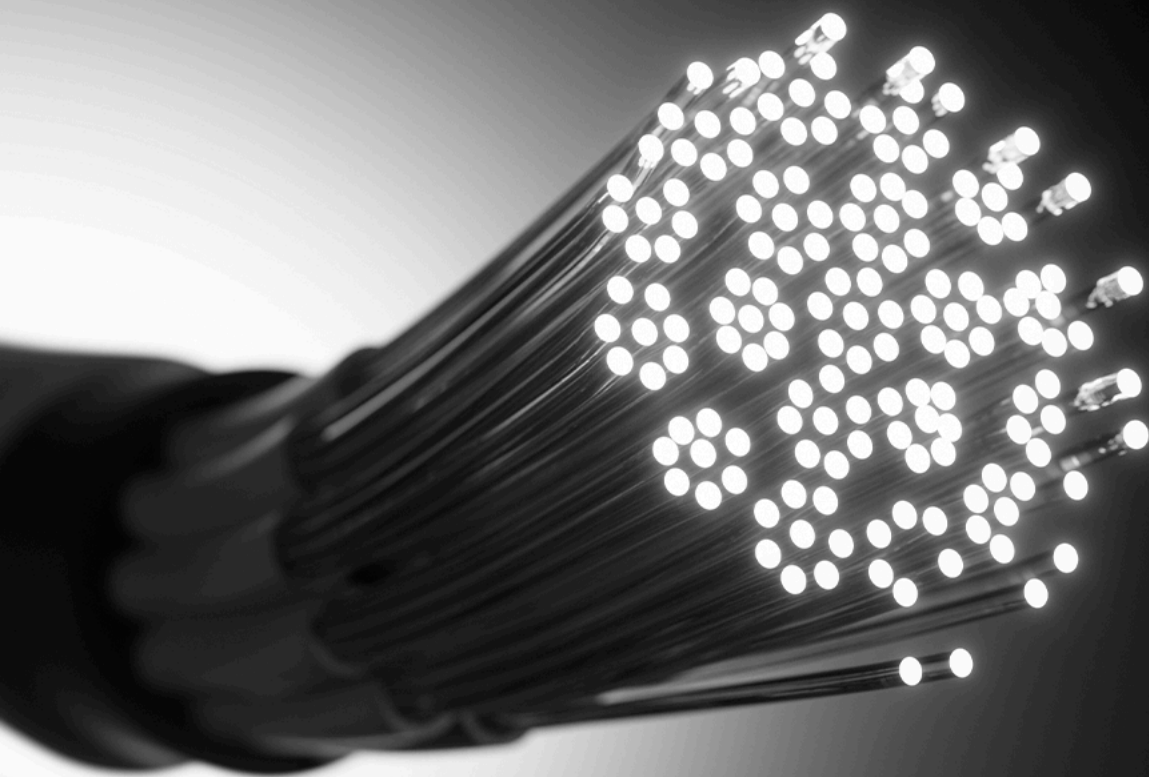


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C691	<p>Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5983-260-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.606212207</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 621.3</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Elétrica é um dos ramos mais abrangentes da Engenharia, pois envolve praticamente tudo o que fazemos em nosso dia a dia. Engloba desde sistemas de potência, geração de energia, conversão eletromecânica de energia, eletrônica, telecomunicações, até engenharia biomédica, sistemas digitais e computadores, controle, automação e robótica. É considerada uma área transdisciplinar e versátil, a qual passa por constantes desafios, conforme cresce a demanda por sistemas mais econômicos e eficientes.

Nesse contexto, o e-book “*Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Elétrica*” apresenta uma seleção de 12 artigos que discutem trabalhos e pesquisas desenvolvidos por professores e acadêmicos de várias regiões do Brasil, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos nesta área tão promissora.

Este volume aborda temas envolvendo inteligência computacional, para projeto de controladores e manutenção preditiva de máquinas elétricas; fluxo de carga em sistemas elétricos de potência; sistemas fotovoltaicos; fontes de energia alternativas renováveis; segurança de instalações elétricas; tratamento térmico de resíduos, entre outras. Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

A todos, uma ótima leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A MANUTENÇÃO PREDITIVA NA ANÁLISE DE AVARIAS EM ROLAMENTOS, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Fábio Muniz Mazzoni

André da Silva Barcelos

Antonio J. Marques Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122071>

CAPÍTULO 2..... 15

MÉTODOS MATEMÁTICOS DE MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO: LÓGICA FUZZY

Joelson Lopes da Paixão

Alzenira da Rosa Abaide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122072>

CAPÍTULO 3..... 39

UM ESTUDO SOBRE A ANÁLISE E PROJETO DE CONTROLADORES FUZZY

Géferson Rodrigo Sabino Silva

Wallysonn Alves de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122073>

CAPÍTULO 4..... 47

FLUXO DE CARGA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA – UM ESTUDO DE CASO USANDO A LINGUAGEM AMPL

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Diogo Marujo

Gloria Patricia Lopez Sepulveda

Alexander Molina Cabrera

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122074>

CAPÍTULO 5..... 62

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS SUBMETIDOS A PIRÓLISE

Victória Oliveira Diaz de Lima

Matheus de Paula Gonçalves

Débora Hungaro Micheletti

Fernanda Bach Gasparin

Amanda de Araújo Drago

Aline Bavaresco dos Santos

Adriana Ferla de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122075>

CAPÍTULO 6..... 73

ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA NO CAMPUS UFRPE - UACSA

Reinel Beltrán Aguedo

Paula de Tarsia Borba de França

Ania Lussón Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122076>

CAPÍTULO 7..... 86


INTEGRAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS DE ENERGIA COM RESTABELECIMENTO OTIMIZADO PARA O AGRONEGÓCIO

Eloi Rufato Junior

Bruno Dias Camargo

Elison de Souza Moreira

Felipe de Souza Kalume

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122077>

CAPÍTULO 8..... 116

MEDIDOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Bruno Tiago Carneiro Moraes

Felipe Cléber Silveira


Averton da Silva Portigo

Dalíel Soares de Souza

Rafael José Fonseca Barbosa

Franciani Diniz Branco

Marcus Vinícius O. Braga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122078>

CAPÍTULO 9..... 120

FILTRO DE MICROFITA DE BANDA LARGA COM GEOMETRIA ELÍTICA

Paulo Fernandes da Silva Júnior

Ewaldo Eder Carvalho Santana

Paulo Henrique Bezerra de Carvalho

Danilo Diniz Meireles

Francarll Oliveira Moreno

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Pedro Carlos de Assis Júnior

Raimundo Carlos Silvério Freire

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122079>

CAPÍTULO 10..... 135

TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA


Eveline Trindade

Maristela Furman

Aline Bavaresco dos Santos

Dilcemara Cristina Zenatti

Adriana Ferla de Oliveira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220710>

CAPÍTULO 11 143

SEGURANÇA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM EMPRESAS TERCEIRIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Anderson Francisco Kaiser

Marcos Hister Pereira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220711>

CAPÍTULO 12..... 158

REDUCTION OF THE ECOLOGICAL IMPACT OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS WHEN USING SILICONE LIQUID IN THE PROVINCE OF ICA - 2013

Primitivo Bacilio Hernández Hernández


Omar Michael Hernández García

Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220712>

SOBRE A ORGANIZADORA..... 170

ÍNDICE REMISSIVO..... 171

CAPÍTULO 3

UM ESTUDO SOBRE A ANÁLISE E PROJETO DE CONTROLADORES FUZZY

Data de aceite: 01/07/2021

Data da submissão: 04/04/2021

Géferson Rodrigo Sabino Silva

Instituto Federal do Tocantins – Campus
Palmas
Palmas – Tocantins
<http://lattes.cnpq.br/9907461694249507>

Wallysonn Alves de Souza

Instituto Federal do Tocantins – Campus
Palmas
Palmas - Tocantins
<http://lattes.cnpq.br/9044733114581611>

RESUMO: Acontecimentos cotidianos são observados e nem todos os resultados e respostas são definidos em “sim” ou “não”, “ligado” ou “desligado”. Para as situações com variáveis incertas e dados imprecisos a lógica fuzzy, pelo método de Mamdani, é aplicada para que se conheça esses valores em resultados numéricos e se interprete as variações nas respostas e os comportamentos na dinâmica dos dados integrados ao sistema. Neste trabalho, o objeto de análise é o IMC (Índice de Massa Corporal) apresentando a aplicação do método do centroide na defuzzificação e manipulação dos valores de saída.

PALAVRAS – CHAVE: controladores fuzzy, fuzzy, lógica fuzzy, Mamdani.

A STUDY ABOUT THE ANALYSIS AND DESIGN OF FUZZY CONTROLLERS

ABSTRACT: Daily events are observed and not all results and responses are defined as “yes” or “no”, “on” or “off”. For situations with uncertain variables and inaccurate data, the fuzzy logic, using the Mamdani’s method, is applied to know these values in numerical results and to interpret variations in responses and behaviors in the dynamics of the data integrated into the system. In this work, the object of analysis is the BMI (Body Mass Index) presenting the application of the centroid method in the defuzzification and manipulation of the output values.

KEYWORDS: fuzzy controllers, fuzzy, fuzzy logic, Mamdani.

1 | INTRODUÇÃO

Cotidianamente, ocorrem situações em que os resultados não são perfeitamente definíveis em dois estados, como “sim” ou “não”, “ligado” ou “desligado”, entre outras opções, como a intensidade da temperatura, tonalidade de cores etc. Para esses dados incertos e imprecisos, há dificuldade, ou até mesmo impossibilidade, na obtenção de todas as informações e equacionamentos dessa realidade do mundo, e tal condição, levou à proposição de lógicas alternativas que seriam mais propícias à representação do mundo particular em estudo.

Cientistas propuseram modelos de lógica e uma delas foi a lógica “fuzzy”, de

Zadeh, apresentada em 1965. Apresentou-se a lógica fuzzy como uma alternativa para a manipulação de dados imprecisos. Grande parte da problemática desse conhecimento sobre informações do pensamento, sensações ou percepções do mundo físico, está na representação matemática sem perder a precisão. A lógica fuzzy traz em sua teoria a possibilidade de expressar as enunciações do pensamento, isto é, as manifestações da linguagem natural, de forma matemática, sem diminuir a devida potência expressiva. Utilizando a lógica fuzzy conseguimos realizar operações com palavras, no qual, os conjuntos fuzzy realizam a função de expressar seus valores, de modo que a precisão ou imprecisão na saída será expressa por um número indicativo da possibilidade (e não da probabilidade), de que tal afirmação mostra-se correta, a depender do anseio do pesquisador (VAZ, 2006).

A linearização da planta em determinado ponto de operação de interesse é a técnica mais comum para se projetar um sistema de controle para plantas não-lineares. Geralmente, neste método, o modelo de projeto é um sistema linear invariante no tempo (SLIT) e na maioria dos casos o projeto dos controladores é relativamente simples. Porém, modelo de projeto como este descreve corretamente a dinâmica do sistema somente em uma certa vizinhança em torno do ponto de operação no qual houve a linearização do sistema. No entanto, este modelo de projeto torna-se, em geral, inadequado para os casos nos quais o sistema pode operar em regiões distantes do ponto de operação, o que leva a adotar um modelo de projeto mais sofisticado que permita considerar a dinâmica da planta em regiões distantes do ponto de operação mencionado de forma adicional (TEIXEIRA; PIETROBOM; ASSUNÇÃO, 2000).

A lógica fuzzy entende instruções linguísticas e gera estratégias de controle baseadas, em comunicação verbal, inicialmente (SAYERS; ANDERSON; BELL, 1998). Os conjuntos fuzzy são representados por meio de funções de pertinências, e pelo termo “variáveis linguísticas” é como tais instruções são conhecidas. As variáveis linguísticas têm por função o fornecimento de uma forma sistemática para as descrições aproximadas dos fenômenos complexos ou mal definidos utilizando um tipo de descrição linguística similar ao empregado pelos seres humanos (PINTO, 2010). As sentenças linguísticas, fundamentalmente, constituem-se no desempenho de um sistema de inferência fuzzy, a partir da obtenção das regras. Tomando o exemplo de um controlador fuzzy outra vez, o bom desempenho do sistema ocorre na definição da estratégia de controle por meio de regras consistentes (RAHMAN; MACHADO, 2006).

Com isso, este trabalho objetivou o estudo das principais técnicas de sistema de controle para sistemas não lineares, descritos por modelos fuzzy Mamdani. Este método possui a propriedade de aproximar funções contínuas via Sistema Baseado em Regras Fuzzy.

2 | METODOLOGIA

A arquitetura de um Sistema Baseado em Regras Fuzzy é composta de três módulos interconectados, conforme a Figura 1. Na indicação da figura, o módulo de Fuzzificação transforma dados de entrada em fuzzy. Sequencialmente, o módulo de Inferência é organizado para traduzir o conhecimento do fenômeno/sistema armazenado em uma base de regras fuzzy em uma função matemática. E, se um conjunto fuzzy for a saída produzida pelo módulo de Inferência, o módulo de Defuzzificação realiza a conversão da saída fuzzy para valor de saída adequado (WATANABE, 2016).

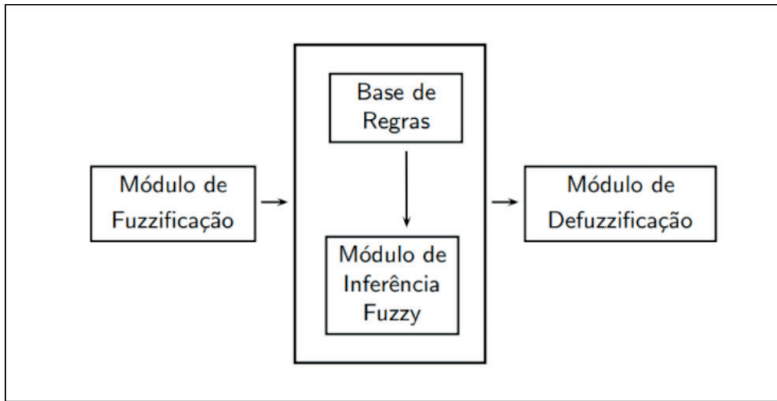


Figura 1 – Arquitetura do sistema baseado em regras fuzzy

Fonte: BARROS; BASSANEZI, 2006.

A descrição acima permite conhecer o estudo, objeto desta pesquisa, que foi focado em casos reais com a determinação das premissas, modelagem do método, fuzzificação das variáveis de entrada, funções de pertinência, inferência e defuzzificação. Com o suporte do livro “Controle e Modelagem Fuzzy”, de Marcelo Godoy Simões e Ian S. Shaw (2007), e o manuseio do *software* MATLAB o trabalho seguiu para simulações. O material escolhido para o experimento foi o cálculo de IMC (Índice de Massa Corporal), de Tiago Kohagura (2007), cujo intuito foi de analisar as entradas do sistema e as regras (combinações/ condições), como mostrados nas figuras a seguir.

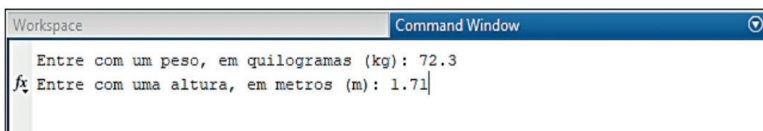


Figura 2 - Informações de entrada (peso e altura)

Fonte: Autor, 2020.

```

1 - clear all; clc;
2 - peso = input('Entre com um peso, em quilogramas (kg): ');
3 - altura = input('Entre com uma altura, em metros (m): ');
4
5 - %% **** PARTE 1 - Definição dos conjuntos fuzzy ****
6 - SistFuzzy= newfis('FuzzyIMC');
7 - %Input 1 = Peso
8 - SistFuzzy= addvar(SistFuzzy,'input','Peso',[0 120]);
9 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'input',1,'Leve','trimf',[40 50 60]);
10 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'input',1,'Medio','trimf',[50 70 80]);
11 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'input',1,'Pesado','trimf',[70 90 110]);
12 - %Input 2 = Altura
13 - SistFuzzy= addvar(SistFuzzy,'input','Altura',[0 2.1]);
14 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'input',2,'Baixo','trimf',[1.4 1.5 1.7]);
15 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'input',2,'Mediano','trimf',[1.6 1.7 1.9]);
16 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'input',2,'Alto','trimf',[1.8 1.9 2]);
17 - %Output = IMC
18 - SistFuzzy= addvar(SistFuzzy,'output','IMC',[-30 30]);
19 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'output',1,'Muito Gordo','trimf',[-25 -20 -10]);
20 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'output',1,'Gordo','trimf',[-20 -15 0]);
21 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'output',1,'Normal','trimf',[-5 0 5]);
22 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'output',1,'Magro','trimf',[0 10 15]);
23 - SistFuzzy= addmf(SistFuzzy,'output',1,'Muito Magro','trimf',[10 15 25]);
24 - figure(1)
25 - subplot(3,1,1),plotmf(SistFuzzy,'input',1);
26 - subplot(3,1,2),plotmf(SistFuzzy,'input',2);
27 - subplot(3,1,3),plotmf(SistFuzzy,'output',1);

```

Figura 3 - Sistemas de regras (combinações/condições)

Fonte: Autor, 2020.

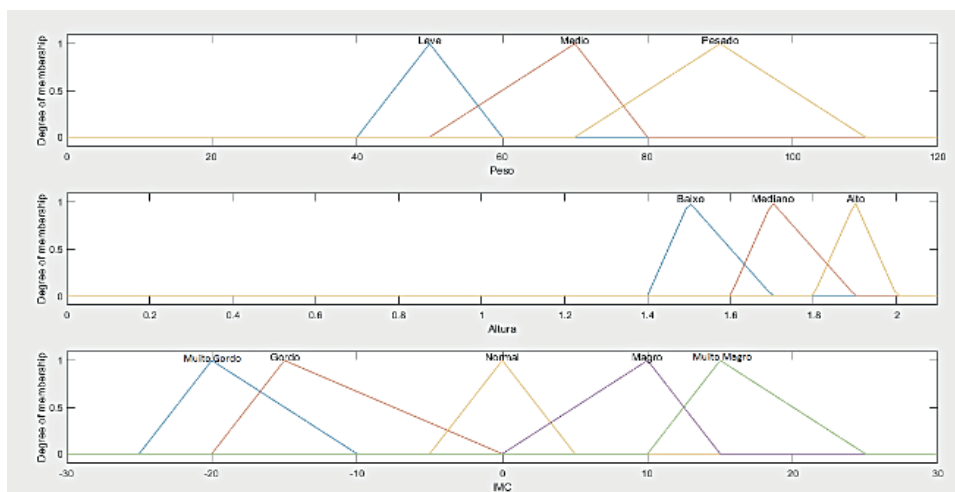


Figura 4 - Exibições das funções de inferências fuzzy

Fonte: Autor, 2020.

O método de defuzzificação utilizado para a obtenção dos resultados foi o Centroide ou Centro de Massa (Figura 5), em que, numericamente, o valor obtido representa o centro de gravidade da distribuição de possibilidade de saída do sistema fuzzy, podendo ser desenvolvido da seguinte maneira:

- determinar a abscissa do ponto centroide para cada saída ativada na inferência;
- calcular a área entre o grau de pertinência e o eixo x para cada saída ativada;
- calcular a média ponderada dos pontos centroides pelas respectivas áreas.

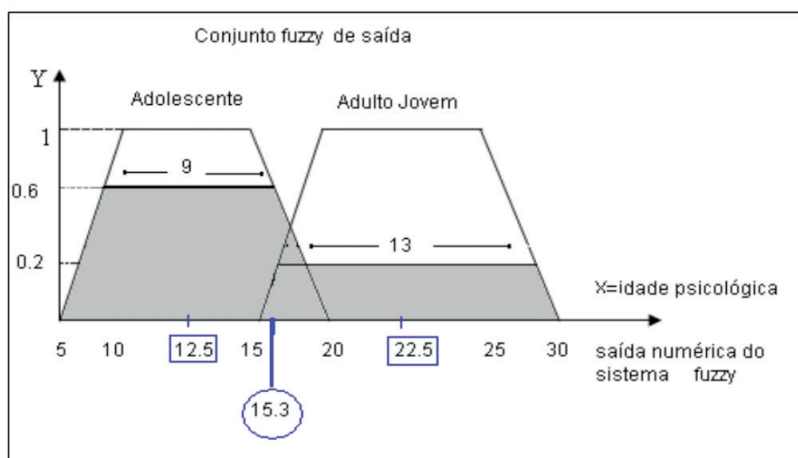


Figura 5 - Defuzzificação utilizando o método do centro de massa

Fonte: Silvia Nassar (Disponível em: <https://bit.ly/2ILQDUx>).

Exemplificando o cálculo do centro de massa, a Figura 6 mostra a obtenção do valor numérico, reforçando a definição apresentada anteriormente.

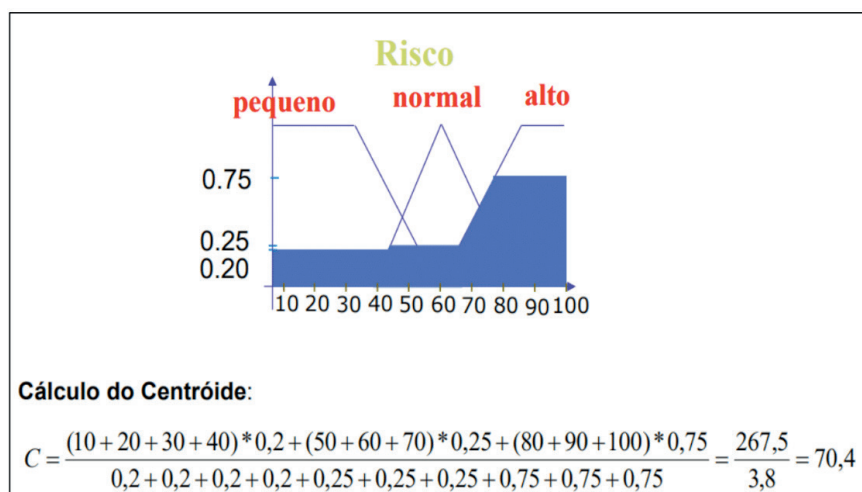


Figura 6 - Cálculo do centro de massa

Fonte: Joseana Araújo (Disponível em: <https://bit.ly/3fBFVP7>).

Da simulação computacional, analisou-se o código dessas funções fuzzy e propôs-se modificá-las para que uma nova interação com o usuário ocorresse, não mais operando com valores numéricos nas funções de inferência - padrão das saídas fuzzy -, mas exibindo um resultado em texto que facilitasse a leitura do usuário (Figura 7).

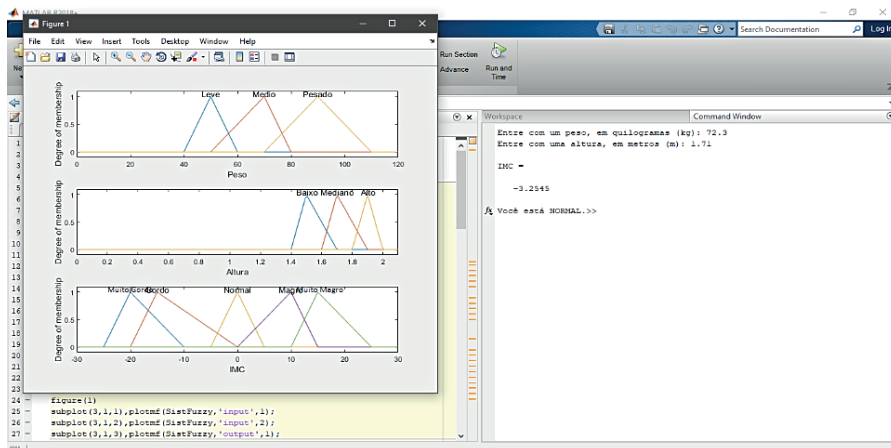


Figura 7 - Informações de saída do IMC

Fonte: Autor, 2020.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação da lógica fuzzy é apresentada como uma metodologia adequada no tratamento de dados, principalmente, quando estes são imprecisos, como é recorrente nos casos de gestores de negócios quanto às informações correspondentes aos seus empreendimentos. Dessa forma, a lógica fuzzy apresenta vantagens em seus fundamentos e propriedades, como o alcance de resultados rápidos e aproximados, e o tratamento de incertezas características (VITALINO; LEITE, 2012).

Os controladores fuzzy comandam as tarefas por meio de termos de linguagem usual. Desta forma, é verificado que variáveis linguísticas desempenham papel fundamental neste processo. Os termos que são traduzidos por conjuntos fuzzy, são utilizados para transcrever a base de conhecimentos através de uma coleção de regras fuzzy, denominada base de regras fuzzy (CORCOLL-SPINA, 2010). A partir desta base de regras obtém-se a relação fuzzy, a qual produzirá a saída para cada entrada por meio das funções de inferência (Figura 4).

Uma propriedade deste procedimento de implementação computacional do método de Mamdani é que os resultados são retornados em valores numéricos que podem ser verificados nas funções de inferência (Figura 6), mediante a aplicação matemática do método de defuzzificação escolhido, centroide/centro de massa. Neste caso, do IMC, retorna-se, finalmente, ao indivíduo sua classificação em “Muito Gordo”, “Gordo”, “Normal”, “Magro” e “Muito Magro”, como uma tradução do valor numérico retornado.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem de controladores fuzzy tem importantes aplicações, pois se organiza para tratar de trabalhos com elementos de incertezas, como ponderação de variáveis ambientais, climáticas, análise imobiliária, valoração de empresas, projeção de negócios e investimentos financeiros etc. A lógica fuzzy e suas aplicações conduziram diversos e inúmeros estudos, tornando conhecida a possibilidade de fornecerem uma alternativa promissora para modelagem de determinadas situações complexas, seja pelas técnicas matemáticas ou pelo sistema a ser modelado (VAZ, 2006).

O estudo desenvolveu-se em um sistema de baixa complexidade, a fim de simplificar a compreensão do problema, das variáveis, a análise matemática, a implementação computacional e a interpretação dos resultados, com base no método de tradução da expressão matemática, a defuzzificação. Considerando o resultado deste trabalho positivo, propõe-se ainda, um estudo mais aprofundado sobre a modelagem de controladores fuzzy, no intuito de elevar a complexidade do sistema e aplicá-los nos diversos sistemas não lineares e variantes no tempo, como processos do setor administrativo, agronegócio, indústria, mercado financeiro etc., que são os sistemas reais.

REFERÊNCIAS

BARROS, L.; BASSANEZI, R. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. 2. ed. Campinas: IMECC, 2006.

CORCOLL-SPINA, Catharina de Oliveira. **Lógica Fuzzy: reflexões que contribuem para a questão da subjetividade na construção do conhecimento matemático**. 2010. 165 p. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-21012011-104236/pt-br.php>. Acesso em: 30 mar. 2020.

KOHAGURA, Tiago. **Lógica fuzzy e suas aplicações**. 2007. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

PINTO, Raphael Lemos. **Aplicação de um Sistema Especialista Fuzzy para Redução de Manobras de Dispositivos Shunts Chaveados Automaticamente por um Compensador Estático**. 2010. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/RaphaelLemosPinto.pdf. Acesso em: 30 set. 2020.

RAHMAN, José Mounir Bezerra; MACHADO, Maria Augusta Soares. Os registradores de dados de voo e a lógica difusa: O uso de uma nova ferramenta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 2006, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2006. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/spolm/anais/2006>. Acesso em: 18 out. 2020.

SAYERS, T.; ANDERSON, J.; BELL, M. (1998). **Traffic Control System Optimizations: A Multiobjective Approach**. 3rd IMA International Conference on Mathematics in Transport Planning and Control. Cardiff.

SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007. 200 p.

TEIXEIRA, Marcelo Carvalho Minhoto; PIETROBOM, Hilton Cleber; ASSUNÇÃO, Edvaldo. Novos resultados sobre a estabilidade e controle de sistemas não-lineares utilizando modelos fuzzy e LMI. **SBA Controle & Automação**, Campinas, v. 11, n. 01, p. 37-48, Jan./Fev./Mar./Abr. 2000. Disponível em: <https://www.sba.org.br/revista/vol11/v11a245.pdf>. Acesso em 12 dez. 2020.

VAZ, Alessandro Márcio. **Estudo das funções de pertinência para conjuntos fuzzy utilizados em Controladores Semafóricos Fuzzy**. 2006. 158 p. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/6379>. Acesso em: 21 nov. 2020.

VITALINO, Rafael Chagas; LEITE, Ricardo Ávila Guterres Pinheiro. **Modelo Fuzzy para Valoração de Pequenas Empresas**. 2010. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografiadownload.php?arquivo=monopoli10004890.pdf&fcodigo=703>. Acesso em: 20 mai. 2020.

WATANABE, Ricardo Augusto. **Um estudo sobre um método de defuzzificação para eventos fuzzy em sistemas baseados em regras**. 2016. 84 p. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) - Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/307050>. Acesso em: 14 out. 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agronegócio 11, 45, 86, 87, 112

AMPL 10, 47, 48, 49, 52, 53, 55, 58, 59, 61

Arduino Uno 116, 117, 118

B

Biocombustíveis Sólidos 62

Biomassa 24, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 88, 89, 90, 91, 95, 100, 101, 103, 107, 108, 113, 135, 136, 137, 141, 142

C

Canteiro de Obras 143, 144, 145, 150, 151, 152, 154, 156

Carbonização 62, 64, 68, 69, 71

Construção Civil 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 154, 156

Consumo 11, 24, 63, 78, 83, 96, 98, 100, 101, 103, 108, 109, 112, 116, 117, 118

Controladores Fuzzy 10, 39, 44, 45

Cooperativa 143, 145, 148, 149, 151, 153, 156

Coproduto 135, 141

Corrente 1, 5, 12, 75, 80, 91, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 116, 117, 146

D

Dielectric Fluid 159

E

Energia 9, 11, 2, 5, 8, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 48, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 122, 123, 135, 136, 138, 141, 142, 150, 151

Energia Elétrica 11, 2, 24, 25, 31, 33, 34, 35, 37, 61, 73, 74, 76, 80, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 98, 100, 102, 104, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 116, 118, 141, 150

Environmental Management System 159

Excentricidade 120, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132

F

Filtros Planares 120, 122, 124

Fluxo de Carga 9, 10, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 61

Fontes Renováveis 24, 63, 87, 89, 114

Fuzzy 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

G

Geometria Elíptica 120, 124, 125, 131

I

Identificação de falhas em rolamentos 1

Inteligência Artificial 10, 1, 3, 12, 13, 15, 16

L

Lógica Fuzzy 10, 15, 16, 17, 20, 23, 36, 37, 39, 40, 44, 45

M

Mamdani 18, 19, 20, 39, 40, 44

Medidor 11, 116, 117, 118, 119

Motor de indução trifásico 1

O

Otimização Matemática 47, 48, 49, 53, 61

P

Pirólise 10, 62, 68, 135, 136

R

Reconfiguração Automática 87, 89, 94, 114

Redes Inteligentes 86, 87, 88, 91

Resíduos Agroindustriais 62, 63

S

SIF 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 28, 31, 32, 33, 34, 35

Sistemas Elétricos de Potência 9, 10, 47

Sistemas Fotovoltaicos 9, 23, 73, 77

Solver Knitro 47

Sombreamento 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Sustentabilidade 27, 63, 73, 84, 86

T

Tensão 51, 74, 87, 91, 92, 94, 95, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 113, 116, 117, 150

Terceirizados 143, 144, 145, 146, 151, 156, 157

Torrefação 62, 64, 68, 69, 70, 71, 135, 136, 137, 138, 141

Transformadas no domínio tempo-frequência 1

Transformer 159

V

Viabilidade 66, 73, 74, 77, 82, 84, 85, 86, 88, 93, 108, 110, 114

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)