

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

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 Cremo

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. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do 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
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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 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 Miraniide 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/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
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
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
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/UFGA
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia 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
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
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. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
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

Engenharia elétrica: desenvolvimento e inovação tecnológica 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: desenvolvimento e inovação tecnológica 2 / Organizadores João Dallamuta, 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 978-65-5983-133-3

DOI 10.22533/at.ed.333211706

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

CDD 621.3

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.

APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Também se trata de uma área de conhecimento com uma grande amplitude de sub áreas e especializações, algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SINCRONIZAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA HIDRÁULICA A PARTIR DA TÉCNICA DE PLL COM ACOPLAMENTO ÓTICO

Joelson Lopes da Paixão
Mauro Fonseca Rodrigues
José Oizimas Junior

DOI 10.22533/at.ed.3332117061

CAPÍTULO 2..... 15

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE NEWTON-RAPHSON E DE SOMA DE CORRENTES PARA SOLUÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Hugo Andrés Ruiz Flórez
Cristiane Lionço Zeferino
Leandro Antonio Pasa
Gloria Patricia Lopez Sepulveda
Eduarda Abatti Dahlem

DOI 10.22533/at.ed.3332117062

CAPÍTULO 3..... 29

AUTOMATED LOAD-BALANCING PROCESS ANALYSIS IN LOW-VOLTAGE GRID USING PETRI NETS

José Ruben Sicchar Vilchez
José Reinaldo Silva
Carlos Tavares da Costa Júnior

DOI 10.22533/at.ed.3332117063

CAPÍTULO 4..... 41

ANÁLISE ESTÁTICA E DINÂMICA DA INFLUÊNCIA DO GENERALIZED UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Ednei Luiz Miotto
Bruno Rafael Gamino
Elenilson de Vargas Fortes
Percival Bueno de Araujo
Luís Fabiano Barone Martins

DOI 10.22533/at.ed.3332117064

CAPÍTULO 5..... 55

SOLUÇÕES INOVADORAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINIGERAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM

André Ross Borniatti
Pedro Daniel Bach Montani
Luís Eduardo Rocha Nepomuceno
Daniel Pinheiro Bernardon
Luciane Neves Canha
Lucas Thadeu Orihuela da Luz

Giuliano Bolognesi Archilli
Isabel Figuera Hartmann
Marcia Henke
Táisson Soares Graebner
Tiago Bandeira Marchesan

DOI 10.22533/at.ed.3332117065

CAPÍTULO 6..... 69

LABORATÓRIO SMART GRID: AMBIENTE CIBER-FÍSICO PARA TESTES SISTÊMICOS DE FUNCIONALIDADES DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

Luiz Henrique Leite Rosa
Marcio Ribeiro Cruz
Carlos Frederico Meschini Almeida
Nelson Kagan
Alexandre Dominice

DOI 10.22533/at.ed.3332117066

CAPÍTULO 7..... 82

GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO CAMPUS SALVADOR: IMPLEMENTANDO AÇÕES PARA REDUZIR O CONSUMO COM A CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA

Carollina Silva de Santana
Armando Hirohumi Tanimoto

DOI 10.22533/at.ed.3332117067

CAPÍTULO 8..... 91

TRANSIENT ANALYSIS OF CLASSICAL AND MODIFIED LUMPED PARAMETER TRANSMISSION LINE MODEL IN POWER SYSTEMS

Jaimis Sajid León Colqui
Sérgio Kurokawa
Anderson Ricardo Justo de Araújo
José Pissolato Filho

DOI 10.22533/at.ed.3332117068

CAPÍTULO 9..... 109

ALGORITMO EVOLUCIONÁRIO ADAPTATIVO APLICADO NA ESTIMAÇÃO DE ESTADO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA EM WAMS

Lucas Luiz Lunarti
Maury Meirelles Gouvêa Júnior

DOI 10.22533/at.ed.3332117069

CAPÍTULO 10..... 117

DESENVOLVIMENTO DE MODELO E PROTÓTIPO PARA OTIMIZAÇÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS

Vinicius Pedroza Delsin
Antonio Newton Licciardi Junior

DOI 10.22533/at.ed.33321170610

CAPÍTULO 11	132
SÍNTESE DE UM CONTROLADOR MPC PARA O CONDICIONAMENTO DE AR DO EDIFÍCIO MODERNO	
Míriam Tvrzská de Gouvêa	
Catarina Gomes dos Santos	
Alessandro Ferreira da Silva	
José Pucci Caly	
Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa	
DOI 10.22533/at.ed.33321170611	
CAPÍTULO 12	145
SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO INDOOR BASEADO EM MODELO DE HAMMERSTEIN UTILIZANDO TRILATERAÇÃO	
Almir Souza e Silva Neto	
Paulo Henrique Gonçalves Melo	
Fernando Antônio Tocantins Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.33321170612	
CAPÍTULO 13	159
ESTUDO EXPERIMENTAL DA ARGILA KIMBERLITO DO BRASIL NA APLICAÇÃO DE ANTENAS RESSOADORAS DIELÉTRICAS NA FAIXA DE MICRO-ONDAS	
Diêgo da Mota Colares	
Roterdan Fernandes Abreu	
João Paulo Costa do Nascimento	
Juscelino Chaves Sales	
Antonio Sergio Bezerra Sombra	
DOI 10.22533/at.ed.33321170613	
CAPÍTULO 14	167
LEVANTAMENTO DE NÃO CONFORMIDADES TÉRMICAS (NCT) ATRAVÉS DE ANÁLISES TERMOGRÁFICAS NA SUBESTAÇÃO FORTALEZA II DA COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO	
Fagner Leite Sales	
DOI 10.22533/at.ed.33321170614	
CAPÍTULO 15	173
EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE TUCUMÃ POR SOLVENTE UTILIZANDO ETANOL E METANOL	
Yanael Lima de Medeiros	
Mariana Silva Dorta de Melo	
Amanda Santana Peiter	
DOI 10.22533/at.ed.33321170615	
SOBRE OS ORGANIZADORES	179
ÍNDICE REMISSIVO	180

SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO INDOOR BASEADO EM MODELO DE HAMMERSTEIN UTILIZANDO TRILATERAÇÃO

Data de aceite: 01/06/2021

Data de submissão: 08/03/2021

Almir Souza e Silva Neto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Engenharia Elétrica
São Luís – MA

Paulo Henrique Gonçalves Melo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Engenharia Elétrica
São Luís – MA

Fernando Antônio Tocantins Nunes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Engenharia Elétrica
São Luís – MA

RESUMO: Neste trabalho, é proposta uma estratégia de rastreamento de parâmetros baseados no indicador de intensidade de sinal recebido (RSSI) para o sistema de localização indoor. Um modelo de propagação não linear baseado em *Hammerstein* é utilizado para o cálculo da distância, e o algoritmo de triangulação é adotado para a estimativa da posição. Com base em dados práticos adquiridos por um dispositivo Wi-Fi, leituras de RSSI de três dispositivos Wi-Fi são utilizadas para identificar um modelo matemático de propagação baseado no modelo não linear de *Hammerstein*. O algoritmo de mínimos quadrados recursivos

(RLS) é usado para estimar os parâmetros do modelo *Hammerstein* proposto. No contexto de aplicações onde as posições são limitadas a um corredor, um sistema de localização indoor é desenvolvido e testado quanto a sua eficiência em determinar a posição real e obter os parâmetros reais na região monitorada. Os resultados do experimento mostraram um bom comportamento, da estratégia de rastreamento proposta, na presença de interferências e perturbações, uma vez que as leituras de RSSI da região monitorada são bastante oscilatórias em ambientes *indoor*.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de *Hammerstein*, Sistema de localização indoor, Trilateração.

ABSTRACT: In this work, a strategy of tracing parameters based on the received signal strength indicator (RSSI) for the indoor location system is proposed. A non-linear propagation model based on Hammerstein is used to calculate the distance, and the triangulation algorithm is adopted for position estimation. Based on practical data acquired by a Wi-Fi device, RSSI readings from three Wi-Fi devices are used to identify a mathematical model of propagation based on the non-linear model of Hammerstein. The recursive least squares algorithm (RLS) is used to estimate the parameters of the proposed Hammerstein model. In the context of applications where positions are limited to a corridor, an indoor location system is developed and tested for its efficiency in determining the actual position and obtaining the actual parameters in the monitored region. The results of the experiment showed a good behavior of the proposed tracking strategy

in the presence of interferences and perturbations, since the RSSI readings of the monitored region are quite oscillatory in indoor environments.

KEYWORDS: Hammerstein Model , Indoor location system, Trilateration.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, os sistemas de localização indoor estão presentes nas áreas comercial, de segurança pública e em aplicações militares. Na área comercial, podem ser usados para enviar propagandas aos consumidores, a medida em que se aproximem de uma determinada parte ou setor de uma loja. Em residências, hospitais e clínicas podem ser usados para localização de equipamentos, médicos, ou enfermeiros, em uma situação emergencial, ou ainda, para rastrear pessoas com necessidades especiais (PAHLAVAN; LATVA-AHO; YLIANTTILA, 2000).

Este artigo, um sistema de localização, foi baseado em tecnologia Wi-Fi composto por um dispositivo receptor e por três pontos de acesso, *Acess Point* (AP). Neste sistema, o dispositivo receptor se localiza a partir das leituras de indicadores de potência do sinal recebido, RSSI, advindas dos sinais emitidos pelos pontos de acesso, e a partir de um modelo matemático da propagação de sinais de radiofrequência, obtidos previamente e empiricamente a partir das leituras de RSSI realizadas pelo dispositivo receptor por meio dos sinais de rádio emitidos pelos três pontos de acesso nos pontos do ambiente em que se deseja localizar. O modelo matemático empregado é o modelo de *Hammerstein*, devido a propriedade de não linearidade da propagação das ondas de rádio. O modelo é obtido a partir dos dados de entrada e saída, RSSI e distâncias entre o dispositivo receptor e os *Acess Points*, respectivamente. O sistema desenvolvido apresenta-se como uma solução de localização indoor eficiente, precisa, flexível e de baixo custo, podendo ser empregada em diversos locais além do utilizado neste trabalho.

2 | SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO

Os sistemas de localização indoor estão presentes em diversos ambientes internos como hospitais, supermercados, escolas, túneis subterrâneos, estações de metrô, lojas, indústrias, sendo empregados em aplicações nas áreas comercial, segurança pública e militares, tais como envio de propagandas para os consumidores, localização de equipamentos na indústria e de médicos e enfermeiros em uma situação emergencial em hospitais, rastreamento de pessoas com necessidades como portadores de deficiências visuais, idosos e crianças (FRATTASI, 2017; GOSWAMI, 2013; KUSHKI; PLATANIOTIS; VENETSANOPOULOS, 2012; SAMAMA, 2008).

3 | TRILATERAÇÃO

Trilateração é um método geométrico que determina a posição de um ponto, a priori desconhecida, a partir das distâncias entre esse ponto e outros três pontos de referências, conforme mostrado na Figura 1, cujas posições sejam conhecidas. No caso 2D, a posição do objeto é determinada pela intersecção de pelo menos três circunferências cujas coordenadas dos centros são as coordenadas dos pontos de referência e os raios são as distâncias entre esses pontos e o objeto alvo (KARIMI, 2015).

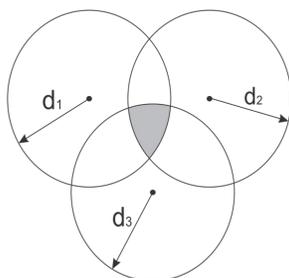


Figura 1 – Intersecção de três circunferências.

Fonte: Kushki, Plataniotis e Venetsanopoulos (2012).

4 | INDICADOR DE INTENSIDADE DE SINAL RECEBIDO (RSSI)

O indicador de intensidade de sinal recebido (RSSI) é um indicador da potência com que o sinal transmitido pelo emissor chega a um determinado receptor. Segundo (KARIMI, 2015),

Existem basicamente duas classes de técnicas que são usadas para encontrar a localização dos alvos usando a intensidade do sinal recebido. A primeira é estimar a distância entre o emissor e receptor a partir da comparação entre a potência do sinal recebido com a do sinal enviado, e uma vez que as distâncias sejam determinadas, a técnica de trilateração pode ser aplicada para se determinar a localização do objeto alvo (DAHLGREN; MAHMOOD, 2014). A segunda técnica envolve a análise de cenários, em que a localização é determinada por meio da correspondência de medições de RSSI em tempo real com o banco de dados armazenado durante a fase de treinamento (BENSKY, 2008). A figura 2 mostra a intensidade vs a distância.

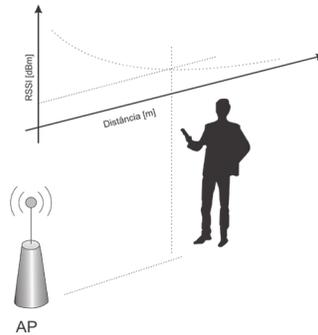


Figura 2 – Intensidade de Potência do Sinal v.s. Distância.

Fonte: Frattasi (2017).

Para se obter as distâncias baseadas em medidas de RSSI, utilizam-se as equações (DAHLGREN; MAHMOOD, 2014).

$$\text{RSSI} = 10n \log_{10} d + A \quad (1)$$

$$d = 10^{(A - \text{RSSI}) / 10 \times n} \quad (2)$$

onde A é a energia absoluta em dBm, que é o valor médio de RSSI medido na distância de um metro na linha de visão até o nó, d é a distância em metros entre transmissor e receptor, n é a constante de propagação que depende do ambiente.

Ao estimar A como a média de várias leituras, juntamente com a leitura do RSSI a distâncias predeterminadas d, a constante de propagação n pode ser calculada (DAHLGREN; MAHMOOD, 2014).

Os sistemas de localização baseados em Wi-Fi e na combinação de RSSI e trilateração utilizam RSSI para estimar a distância entre o AP e o dispositivo móvel, uma vez que a intensidade do sinal varia exponencialmente dependendo da distância entre transmissor e receptor e do ruído aleatório, ao utilizar-se trilateração, três ou mais pontos de acesso são alocados no ambiente. (BENSKY, 2008; KARIMI, 2015).

Neste tipo de abordagem, o algoritmo de localização pode ser empregado no próprio dispositivo móvel a partir dos sinais de radiofrequência transmitidos pelos pontos de acesso ou o dispositivo móvel, transmite sinais de radiofrequência que são recebidos por sensores distribuídos e o servidor estima a localização do dispositivo móvel (ELBAHHAR; RIVENQ, 2012).

5 I MODELO DE HAMMERSTEIN

O modelo de Hammerstein é primeiramente sugerido por Narendra e Gallman em 1966 e vários modelos são testados para melhorar o modelo. Geralmente, o modelo não-linear polinomial sem memória (MPN) para a parte não-linear e o modelo FIR ou o modelo IIR para a parte linear são preferidos em modelos de Hammerstein. O principal benefício dessas estruturas é introduzir menos parâmetros a serem estimados. Além disso, a representação polinomial tem mais flexibilidade e um uso mais simples (LJUNG, 1999).

O modelo de Hammerstein é uma composição de um modelo dinâmico linear em cascata com uma função estática não-linear, conforme mostrado na Figura 3, sendo que a não linearidade estática precede o modelo dinâmico linear (LJUNG, 1994).

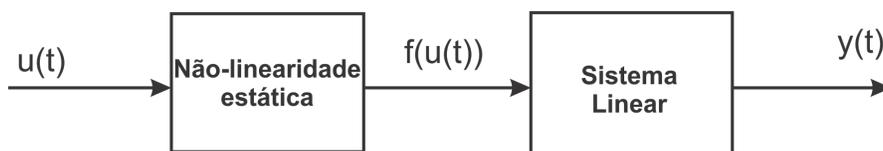


Figura 3 – Modelo de Hammerstein

Fonte: Ljung (1999).

6 I DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO

Neste trabalho, é proposto um sistema de localização para ambientes internos baseado em modelo de Hammerstein e a técnica de trilateração. O modelo baseia-se na variação das leituras de RSSI em função da distância percorrida entre três pontos de acesso e um dispositivo móvel, e é capaz de representar o comportamento não-linear da propagação das ondas de rádio e determinar a distância entre os dispositivos. A técnica de trilateração é então empregada e o dispositivo determina sua própria localização. O algoritmo de Mínimos Quadrados Recursivo é utilizado para a estimação dos parâmetros do modelo de Hammerstein, a partir das leituras de RSSI realizadas em posições distintas e conhecidas. Desta forma, a localização do objeto alvo é determinada em uma formulação, que combina estimativas de distâncias e técnica de trilateração.

No sistema de localização proposto, o dispositivo móvel se auto localiza a partir das leituras que faz das redes de Wi-Fi geradas pelos outros dispositivos móveis com localização conhecida e que participaram do processo de aquisição de dados. Desta forma, uma das vantagens do sistema de localização proposto é a privacidade do usuário, uma vez que não há troca de informações entre os AP's e o dispositivo alvo do sistema de localização. Outra vantagem, é que como não há conexão entre os dispositivos, a quantidade de dispositivos que podem se localizar é ilimitada, devendo apenas ter o modelo de propagação desenvolvido instalados no software do dispositivo.

O sistema de localização proposto consiste em 3 pontos de acesso instalados em um corredor situado em um edifício e em um dispositivo capaz de realizar leituras de RSSI das redes próximas. As etapas necessárias para o desenvolvimento do sistema proposto são mostradas na Figuras 4.

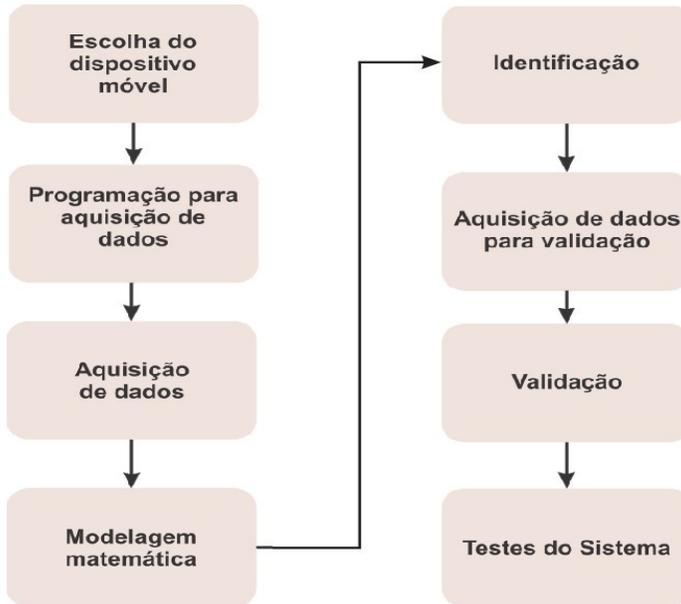


Figura 4 – Etapas do Desenvolvimento do Sistema de Localização

Fonte: Autor.

Leituras de RSSI são realizadas em uma etapa anterior a localização, denominada de aquisição de dados, para o projeto do modelo de propagação aplicado a área de interesse. Para modelagem do sistema de propagação é necessário a aquisição de dados do local em que se deseja localizar. Neste trabalho, o comportamento da propagação das ondas de radiofrequência emitidas pelos AP's é mapeada por meio da coleta de amostras de sinais de RSSI obtidas a partir de um quarto dispositivo NodeMcu ESP32. Esses dados juntamente com a informação quanto as posições em que as amostras são coletadas e utilizadas como dados de entrada e saída, respectivamente, para obtenção do modelo de Hammerstein por meio do algoritmo de mínimos quadrados recursivos. A aquisição de amostras de RSSI é realizada a partir de posições conhecidas da área de interesse, conforme mostra a Figura 5.

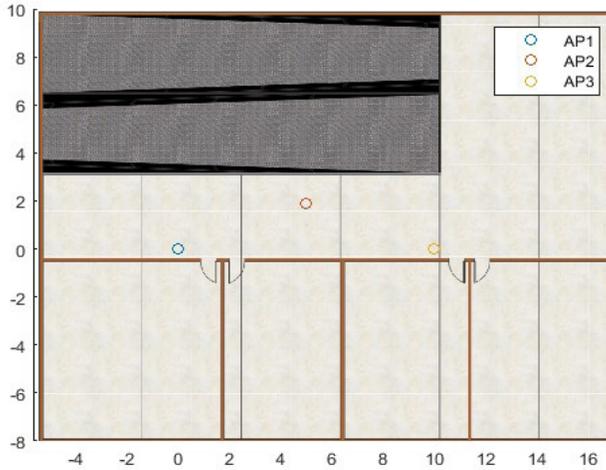


Figura 5 – Pontos de Medição

Fonte: Autor.

Devido a dinâmica não linear da propagação das ondas de rádio em função da distância e devido as dificuldades em se encontrar um modelo físico que descreva todos os fenômenos presentes na propagação das ondas de rádio, ainda mais quando se trata de ambientes indoor, e que o fator de perda de propagação, η , é variante na área de interesse, neste trabalho, é escolhido o modelo matemático não linear de Hammerstein, devido a sua simplicidade e eficiência, uma vez que é composto por uma parte não linear, denominada de não linearidade estática em cascata com um modelo linear. No presente trabalho, a não-linearidade estática do modelo é representada por um polinômio sem memória e o modelo linear é representado pelo filtro FIR, e o modelo de Hammerstein é dado conforme as equações 3 e 4.

$$F(u) = \alpha_1 u + \alpha_2 u^2 + \dots + \alpha_m u^m \quad (3)$$

$$y(k) = b_1 F(u(k-1)) + \dots + b_m F(u(k-m)) \quad (4)$$

Após a escolha do modelo para representar a propagação das ondas de rádio na área de interesse, segue-se a estimação e validação do modelo, bem como, os testes quanto a precisão e eficiência da estratégia considerada dos 3 pontos de acesso, AP1, AP2 e AP3. A validação dos modelos de Hammerstein é obtida a partir da comparação entre a posição real do dispositivo móvel e a posição estimada pelo modelo mostradas nas Figuras 6, 7 e 8.

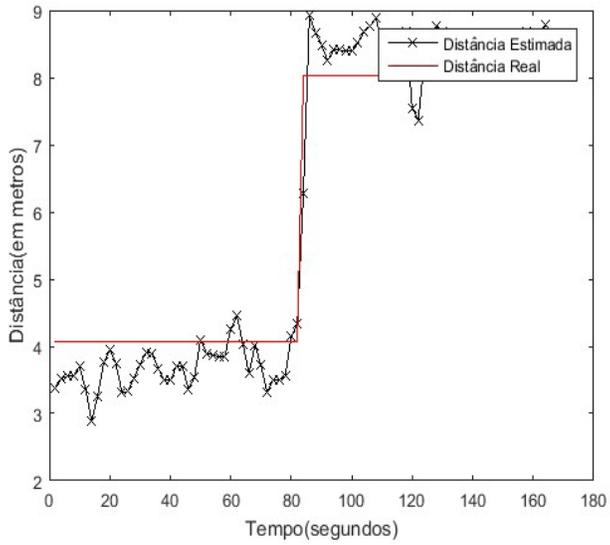


Figura 6 – Comparação entre a distância estimada pelo Modelo de AP1 e a real

Fonte: Autor.

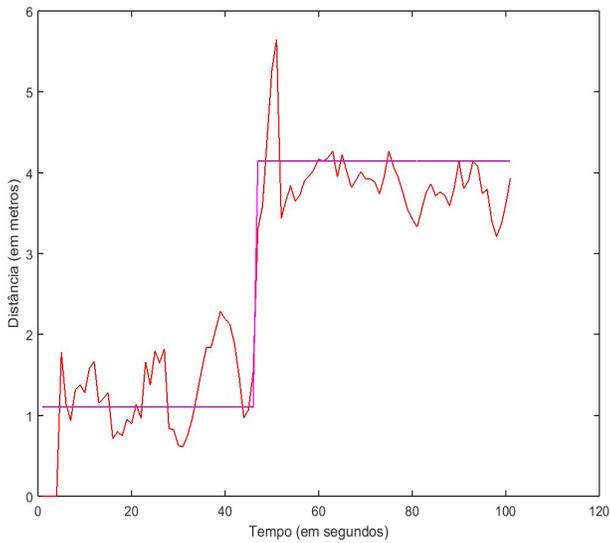


Figura 7 – Comparação entre a distância estimada pelo Modelo de AP2 e a real

Fonte: Autor.

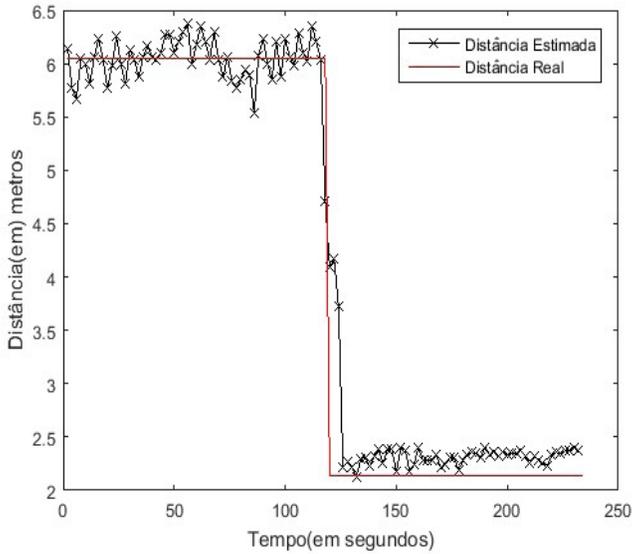


Figura 8 – Comparação entre a distância estimada pelo Modelo de AP3 e a real
 Fonte: Autor.

A partir das Figuras 6, 7 e 8, os modelos de propagação são validados, uma vez que foram capazes de estimar as distâncias reais.

O modelo obtido para AP1 é dado nas equações 5 e 6.

$$F(u) = \alpha_1 + \alpha_2 u^1 \dots + \alpha_6 u^6 \quad (5)$$

onde,

$\alpha_1 = -1444.59$, $\alpha_2 = -97.95$, $\alpha_3 = -2.59$, $\alpha_4 = -0.033$, $\alpha_5 = -0.000208$, $\alpha_6 = -0.000000503$.

$$y(k) = 0.5882 * F(u(k - 1)) + 0.5882 * F(u(k - 2)) - 0.05277 * F(u(k - 3)) + 0.05277 * F(u(k - 4)) + 0.05277 F(u(k - 5)) \quad (6)$$

O modelo obtido para AP2 é dado nas equações 7 e 8.

$$F(u) = \alpha_1 + \alpha_2 u^1 + \dots + \alpha_7 u^6 \quad (7)$$

onde,

$\alpha_1 = 152.990801181410e - 006$, $\alpha_2 = 66.2123251928018e - 003$, $\alpha_3 = 11.9205006383281e + 000$, $\alpha_5 = 61.5213156099039e + 003$, $\alpha_6 = 1.76364972802158e + 006$, $\alpha_7 = 21.0331265618800e + 006$.

$$y(k) = 0.2405 * F(u(k - 1)) + 0.208 * F(u(k - 2)) + 0.208 * F(u(k - 3)) + 0.141 * F(u(k - 1)) + 0.141 F(u(k - m)) \quad (8)$$

O modelo obtido para AP3 é dado nas equações 9 e 10.

$$F(u) = \alpha_1 u + \alpha_2 u^2 + \dots + \alpha_m u^m \quad (9)$$

onde,

$$\alpha_1 = -1.81650855396232e - 006, \alpha_2 = -669.853827663586e - 006, \alpha_3 = -97.5862782840168e - 003, \alpha_4 = -7.01751431758820e + 000, \alpha_5 = -249.279965552858e + 000, \alpha_6 = -3.50165177935238e + 003.$$

$$y(k) = 0.394 * F(u(k - 1)) + 0.146 * F(u(k - 2)) - 0.053 * F(u(k - 3)) + 0.146 * F(u(k - 1)) + 0.394 F(u(k - m)) \quad (10)$$

Uma vez que os modelos de propagação foram identificados, segue-se a aplicação do algoritmo de trilateração para a determinação da posição do dispositivo receptor móvel. Nas Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 são mostradas as estimativas das posições através da combinação das estimativas das distâncias entre os AP's e o dispositivo móvel e o algoritmo de trilateração. É possível observar que a metodologia aplicada apresenta-se eficiente e precisa, onde os símbolos losango, ponto central das circunferências, e o "x" vermelho são respectivamente a posição estimada do dispositivo móvel, a posição dos AP's e a posição real. As circunferências possuem o raio igual a distância estimada entre os AP's e o dispositivo móvel.

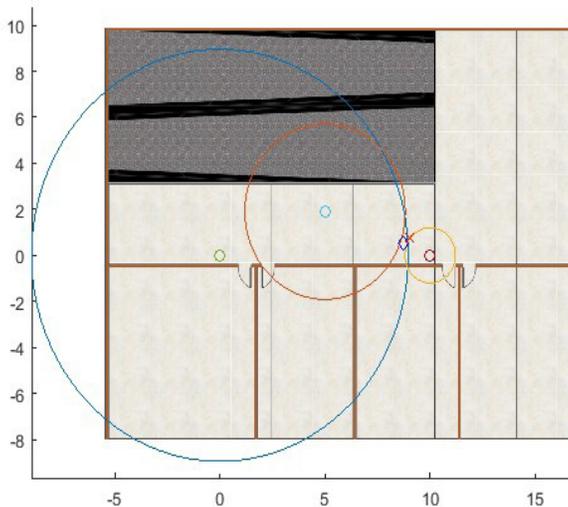


Figura 9 – Objeto móvel a 9m da posição de origem.

Fonte: Autor.

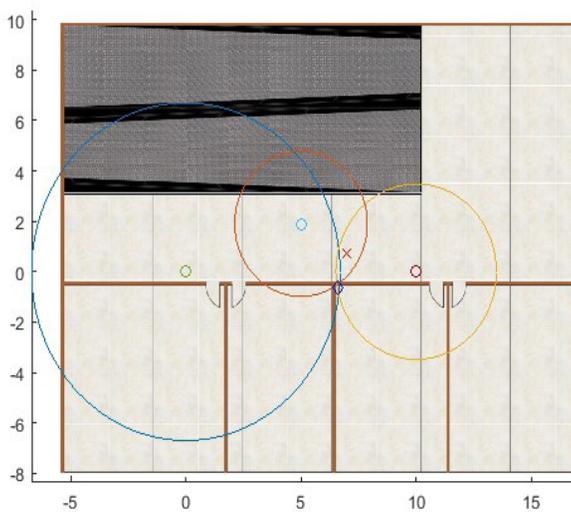


Figura 10 – Objeto móvel a 7m da posição de origem

Fonte: Autor.

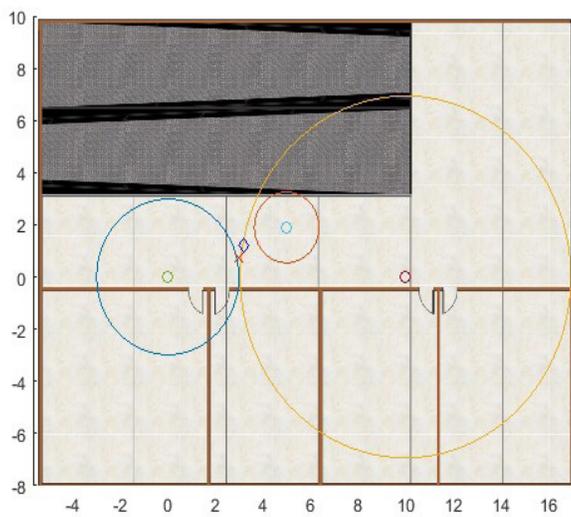


Figura 11 – Objeto móvel a 3m da posição de origem

Fonte: Autor.

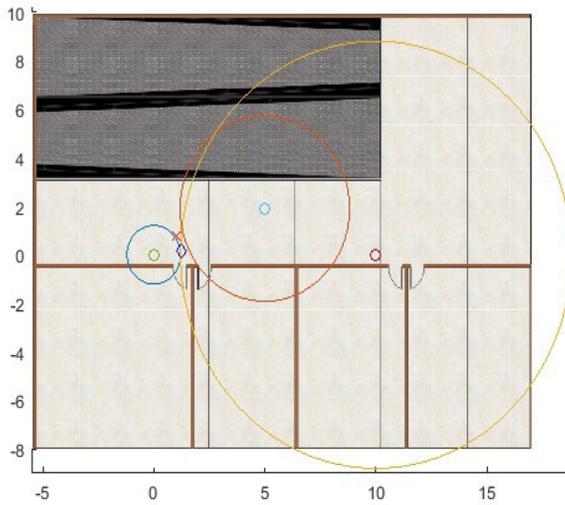


Figura 12 – Objeto móvel a 1m da posição de origem

Fonte: Autor.

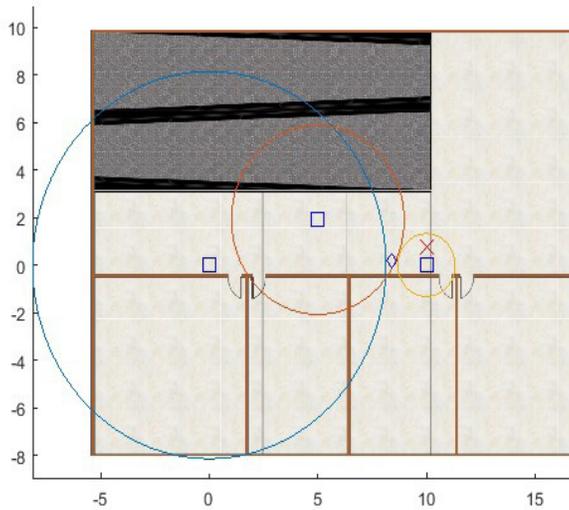


Figura 13 – Objeto móvel a 10m da posição de origem

Fonte: Autor.

A tabela 01 mostra os dados da precisão do modelo desenvolvido.

Distância em m d			Posição Real (m)		Posição Estimada (m)		Erro absoluto (m)	
AP1	AP2	AP3	X	Y	X	Y	X	Y
8,96	8,14	1,20	9,00	0,75	8,74	0,53	-0,26	-0,22
6,70	2,88	3,48	7,00	0,75	6,62	-0,62	-0,37	-1,37
1,20	3,81	8,80	1,00	0,75	1,25	1,71	0,25	-0,57
2,98	1,35	6,95	3,00	0,75	3,20	1,23	0,20	0,47

Tabela 01 – Precisão do Sistema Desenvolvido

Fonte: Autor.

71 CONCLUSÕES

A capacidade das ondas eletromagnéticas de se propagarem é diferenciada de acordo com cada ambiente de propagação, sendo que em sinais de rádio irradiados por um transmissor é uma função do espaço, frequência e tempo. Diferentemente do espaço livre, em ambientes indoor, a propagação das ondas de rádio são afetadas por obstruções tais como, parede, janela, móveis ou pessoas podem afetar o sinal de propagação de três formas distintas, por reflexão, difração ou dispersão.

Devido a esses fenômenos, vários são os modelos físicos desenvolvidos para sistemas de localização indoor devido à dificuldade de se representar a propagação nestes ambientes. Modelos gerais de sistemas para localização indoor são difíceis de serem alcançados devido as características inerentes de cada ambiente.

A maioria dos modelos de perda de trajetória utilizam a adaptação da fórmula de Log Normal para modelar matematicamente a relação entre o RSSI e a posição do dispositivo móvel. Porém, este modelo não reflete duas características de RSSI em ambientes reais. Primeiro, esse modelo assume contornos isotrópicos de RSSI - uma suposição frequentemente violada devido à distribuição assimétrica de objetos bloqueadores, como paredes e móveis. Em segundo lugar, este modelo é invariante à orientação do receptor, sendo os valores de RSSI são altamente dependentes da orientação do dispositivo.

REFERÊNCIAS

BENSKY, A. *Wireless Positioning Technologies and Applications (Technology and Applications)*. [S.l.]: ARTECH HOUSE, INC., 2008.

DAHLGREN, E.; MAHMOOD, H. *Evaluation of indoor positioning based on Bluetooth Smart technology*. 2. ed. [S.l.]: Göteborg, 2014.

ELBAHHAR, F. B.; RIVENQ, A. *New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems*. [S.l.]: InTech, 2012.

FRATTASI, F. D. R. S. *Mobile Positioning and Tracking: From Conventional to Cooperative Techniques*. 2. ed. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2017.

GOSWAMI, S. **Indoor Location Technologies**. 1. ed. [S.I.]: Springer-Verlag New York, 2013.

KARIMI, H. A. **Indoor wayfinding and navigation**. [S.I.]: CRC Press, 2015. Citado 9 vezes nas páginas 22, 23, 24, 27, 31, 37, 40, 41 e 42.

LJUNG, L. **System Identification: Theory for User. 1**. ed. [S.I.]: Prentice Hall, 1994.

LJUNG, L. **System Identification: Theory for User. 2**. ed. [S.I.]: Prentice Hall, 1999.

PAHLAVAN, X. K.; LATVA-AHO, M.; YLIANTTILA, M. **Comparison of indoor geolocation methods in DSSS and OFDM wireless LAN systems**. [S.I.]: Proceedings of the 52nd Vehicular Technology Conference (IEEE-VTS Fall VTC '00), vol. 6, pp. 3015–3020, Boston, Mass, USA, 2000.

SAMAMA, N. **Global Positioning: Technologies and Performance**. 2. ed. [S.I.]: New York: Wiley-Interscience, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo evolucionário adaptativo 109, 112, 113
Antenas 159, 160, 161, 164
Ar condicionado 87, 88, 132, 133, 134, 135, 136, 139, 141, 143
Automação avançada da distribuição 69

B

Balanceamento de carga nas fases 29
Biocombustível 173, 178

C

Ciber-físico 69, 73, 80
Consumo de energia elétrica 40, 56, 59, 62, 82, 85, 117, 133
Controladores suplementares 41, 47, 51, 52
Controle preditivo 132

D

DRA 159, 160, 161, 163, 165

E

Eficiência energética 55, 56, 57, 59, 61, 65, 67, 68, 82, 90, 117, 119, 130, 133, 143
Emulador de redes 69, 70, 71, 72, 79, 81
Estabilidade a pequenas perturbações 41, 42, 48
Estabilizadores de sistema de potência 41, 42
Estimação de estados 109, 110, 111, 115

F

Fluxo de potência 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 26, 27, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 54, 72, 73, 113

G

Generalize unified power flow controller 41, 42
Gestão da energia 68, 82, 84, 88, 90
Gestão de energia elétrica 56

H

Hardware-in-the-loop 69, 72

M

Manutenção 2, 41, 118, 126, 128, 167, 168, 169, 170, 171, 172

Método de Newton-Raphson 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 26

Método de soma de correntes 15, 19

Método PLL 1

Micro-ondas 159, 160, 162, 165

Modelo de Hammerstein 145, 149

O

Óleo vegetal 173

Otimização 41, 42, 59, 61, 84, 117, 119, 121, 127, 130, 133, 137, 138

Otimização por enxame de partículas 41

P

PID-IMC 132, 133, 139

Placa fotovoltaica 117, 119, 120, 121, 122, 126, 128

PMU 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116

R

Recursos públicos 56

Redes de petri hierárquicas temporizadas 29

S

Simulações de sincronismo 1

Sincronização de geração distribuída 1

Sistema de localização indoor 145

Sistema elétrico 1, 2, 3, 14, 27, 41, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 167, 170, 172

Sistemas de distribuição de energia elétrica 15

Sistemas elétricos 2, 14, 16, 41, 70, 72, 109, 111, 115

Smart grids 29, 69, 81

Sohxlet 173

Sustentabilidade 59, 82, 83, 85, 90, 117, 130

T

Termografia 167, 169, 172

Termovisor 167

Transformadas de Clarke e Park 1, 3

Trilateração 145, 147, 148, 149, 154

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

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

 **Atena**
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

2

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

 **Atena**
Editora
Ano 2021