

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

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
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^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto 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
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^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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
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. 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 Alfnas

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 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

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª 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

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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
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 / 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 978-65-5706-773-4
DOI 10.22533/at.ed.734212202

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

METODOLOGIA PARA TESTE E CLASSIFICAÇÃO DE SMART METERS PARA APLICAÇÕES EM REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

Luiz Henrique Leite Rosa
Renan Corrêa de Moura
Marcio Ribeiro Cruz
Carlos Frederico Meschini Almeida
Nelson Kagan
Alexandre Dominice

DOI 10.22533/at.ed.7342122021

CAPÍTULO 2..... 13

ESTUDO COMPARATIVO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS LEVES

Pedro Henrique Camargos
Ricardo Elias Caetano
Marcel Fernando da Costa Parentoni

DOI 10.22533/at.ed.7342122022

CAPÍTULO 3..... 25

COMO ATENUAR EMI EM SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Rogério Martins de Souza

DOI 10.22533/at.ed.7342122023

CAPÍTULO 4..... 39

MODELO MATEMÁTICO DE UMA TURBINA A GÁS DE 106 MW DE TIPO INDUSTRIAL COM UM ÚNICO EIXO

Manuel Arturo Rendón Maldonado
André Reinaldo Novgorodcev Júnior

DOI 10.22533/at.ed.7342122024

CAPÍTULO 5..... 54

PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE LINHAS - UMA ABORDAGEM USANDO SAMPLED VALUES

Matheus Felipe Ayello Leite
Arthur Augusto Pereira Cruz
Angelo Cesar Colombini
Márcio Zamboti Fortes
Yona Lopes

DOI 10.22533/at.ed.7342122025

CAPÍTULO 6..... 71

O USO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS DIANTE DAS RECLAMAÇÕES POR DANOS ELÉTRICOS NO BRASIL

Lívy Wana Duarte de Souza Nascimento
Lilian de Fátima Costa Santos

Roberto Akira Yamachita
Jamil Haddad
Rodolfo Esmarady Rocha dos Santos
Neiva Beatriz Ferreira Silva Vicentin
Carlos Alberto Froés Lima

DOI 10.22533/at.ed.7342122026

CAPÍTULO 7..... 83

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Álvaro Ribeiro Gomes de Oliveira
Arnaldo José Pereira Rosentino Júnior
Nivaldo Leite da Silva Júnior

DOI 10.22533/at.ed.7342122027

CAPÍTULO 8..... 97

**ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO EM MOTORES DE INDUÇÃO
TRIFÁSICOS: OPERAÇÃO E MONITORAMENTO COM AUXÍLIO DE FONTE
PROGRAMÁVEL**

Cássio Alves de Oliveira
Josemar Alves dos Santos Junior
Marcos José de Moraes Filho
Vinícius Marcos Pinheiro
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira
Luciano Coutinho Gomes

DOI 10.22533/at.ed.7342122028

CAPÍTULO 9..... 112

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA PARA PREVISÃO DE POTÊNCIA
MÁXIMA EM SUBESTAÇÕES UTILIZANDO REDES NEURAIS**

Thommas Kevin Sales Flores
Pedro Henrique Meira de Andrade
Isaac Emmanuel Azevedo de Medeiros
Juan Moises Mauricio Villanueva

DOI 10.22533/at.ed.7342122029

CAPÍTULO 10..... 126

**DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE CURTO-CIRCUITOS UTILIZANDO A TRANSFORMADA
DISCRETA FRACIONÁRIA DE FOURIER E REDE NEURAL ARTIFICIAL**

Leonardo Audalio Ferreira do Nascimento
Viviane Barrozo da Silva Duarte Ricciotti
Antônio Carlos Duarte Ricciotti
Adailton Braga Júnior
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira
Júlio César Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.73421220210

CAPÍTULO 11	138
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DA COBERTURA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVO AGRÍCOLA USANDO MARCADORES ULTRAVIOLETA	
Edson d'Avila Antônio Carlos Loureiro Lino Inácio Maria Dal Fabbro Ana Cristina da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.73421220211	
CAPÍTULO 12	149
MODELAGEM E CONTROLE DE UM HELICÓPTERO DE BANCADA COM TRÊS GRAUS DE LIBERDADE	
Matheus Sachet Rômulo Lira Milhomem	
DOI 10.22533/at.ed.73421220212	
CAPÍTULO 13	169
ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE ESTUFAS HIDROPÔNICAS INTEGRADAS À IOT PARA FINS RESIDENCIAIS	
Rogério Luis Spagnolo da Silva Renan Pinho Lucas Ramalho Paiva Jorge Augusto Igor Falla Henrique Alvarez	
DOI 10.22533/at.ed.73421220213	
CAPÍTULO 14	183
SEGMENTAÇÃO DE EXUDATOS DUROS USANDO LIMIAÇÃO ADAPTATIVA E CRESCIMENTO DE REGIÕES	
Rafael de Freitas Brito Milena Bueno Pereira Carneiro Cristiane de Fátima dos Santos Cardoso	
DOI 10.22533/at.ed.73421220214	
CAPÍTULO 15	192
MICROGRID SYSTEM DESIGN BASED ON MODEL BASED SYSTEMS ENGINEERING: THE CASE STUDY IN THE AMAZON REGION	
Miguel Angel Orellana Postigo José Reinaldo Silva	
DOI 10.22533/at.ed.73421220215	
CAPÍTULO 16	208
ESTUDO COMPLEMENTAR DO USO DE UMA FONTE RESSONANTE PARA TESTES EXPERIMENTAIS DE FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA EM NÍVEIS DE MÉDIA TENSÃO	
André Pinto Leão Maria Emília Lima Tostes João Paulo Abreu Vieira	

Ubiratan Holanda Bezerra
Marcelo Costa Santos
Ádrea Lima de Sousa
Wesley Rodrigues Heringer
Murillo Augusto Melo Cordeiro
Juan Carlos Huaquisaca Paye
Lucas de Paula Assunção Pinheiro

DOI 10.22533/at.ed.73421220216

CAPÍTULO 17.....224

**FERRAMENTAS DE PROTOTIPAÇÃO APLICADAS A SISTEMAS DE POTÊNCIA:
MATLAB VERSUS PYTHON**

Luciano de Oliveira Daniel
Sergio Luis Varricchio

DOI 10.22533/at.ed.73421220217

CAPÍTULO 18.....240

**SENSIBILIDADES DE POLOS E ZEROS EM RELAÇÃO AO COMPRIMENTO DE LINHAS
DE TRANSMISSÃO REPRESENTADAS PELO MODELO DE BERGERON**

Sergio Luis Varricchio
Cristiano de Oliveira Costa

DOI 10.22533/at.ed.73421220218

CAPÍTULO 19.....256

**UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES EM CENÁRIOS DE REDES ÓPTICAS COM
MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO ESPACIAL**

Eloisa Bento Sarmento
Mariana Gomes Costa
Gileno Bezerra Guerra Junior
Helder Alves Pereira

DOI 10.22533/at.ed.73421220219

CAPÍTULO 20.....264

**PROJETO E ANÁLISE DE UM ARRANJO LINEAR DE ANTENAS DE MICROFITA QUASE-
FRACTAL UTILIZANDO A CURVA DE MINKOWSKI NÍVEL 2 COM APLICAÇÕES EM
REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO**

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira
Pedro Carlos de Assis Júnior
Relber Antônio Galdino de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.73421220220

CAPÍTULO 21.....277

**UMA NOVA ABORDAGEM PARA O PROBLEMA DAS IMPRECIÇÕES NUMÉRICAS
RESULTANTES DA UTILIZAÇÃO DE FILTROS COM ARITMÉTICA INTEIRA**

Daniel Carrijo Polonio Araujo
Gabriel de Souza Pereira Gomes
Christos Aristóteles Harissis
Rogério Andrade Flauzino

DOI 10.22533/at.ed.73421220221

CAPÍTULO 22	298
TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE CORRENTE NULA PARA APLICAÇÕES EM CONVERSORES BOOST OPERANDO EM MODO DE CONDUÇÃO CRÍTICA	
Marcelo Nogueira Tirolli	
Alexandre Borges Marcelo	
Flávio Alessandro Serrão Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.73421220222	
CAPÍTULO 23	312
A STAIRWAY STATISTICAL NEURAL MODEL FOR DGA ANALYSIS	
Gabriel de Souza Pereira Gomes	
Daniel Carrijo Polonio Araujo	
Mateus Batista de Moraes	
Rafael Prux Fehlberg	
Murilo Marques Pinto	
Arthur Franklim Marques de Campos	
Marcos Eduardo Guerra Alves	
Rogério Andrade Flauzino	
DOI 10.22533/at.ed.73421220223	
CAPÍTULO 24	325
LATÊNCIA NA COMUNICAÇÃO PARA ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO: REQUISITOS, AVALIAÇÕES E MEIOS DE TRANSMISSÃO	
Mayara Helena Moreira Nogueira dos Santos	
Matheus Felipe Ayello	
Paulo Henrique Barbosa de Souza Pinheiro	
André da Costa Pinho	
Angelo Cesar Colombini	
Márcio Zamboti Fortes	
Yona Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.73421220224	
SOBRE OS ORGANIZADORES	343
ÍNDICE REMISSIVO	344

SEGMENTAÇÃO DE EXUDATOS DUROS USANDO LIMIAZIZAÇÃO ADAPTATIVA E CRESCIMENTO DE REGIÕES

Data de aceite: 04/02/2021

Data de submissão: 26/11/2020

Rafael de Freitas Brito

Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia – Minas Gerais

Milena Bueno Pereira Carneiro

Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia – Minas Gerais

Cristiane de Fátima dos Santos Cardoso

Instituto Federal Goiano
Urutaí – Goiás

RESUMO: Exudatos duros são depósitos lipídicos formados na retina que são um dos sinais da retinopatia diabética, doença que pode provocar perdas na visão e até cegueira. A dificuldade de segmentação manual dos exudatos e o grande número de casos de retinopatia diabética são tais que possibilitam que métodos de segmentação automática e diagnóstico assistido sejam desenvolvidos. O artigo propõe um método para segmentação de exudatos duros através da limiarização adaptativa, crescimento de regiões e técnicas de pré-processamento como segmentação do disco óptico e separação do canal verde. O método foi aplicado na base de imagens DIARETDB1 e foi usada a área sob a *Receiver Operating Characteristic* (ROC) como métrica de performance.

PALAVRAS - CHAVE: Exudatos Duros, Retinopatia Diabética, Limiarização Adaptativa, Crescimento de Regiões

HARD EXUDATE SEGMENTATION WITH ADAPTIVE THRESHOLDING AND REGION GROWING

ABSTRACT: Hard exudates are lipid deposits formed in the retina that are one of the signs of diabetic retinopathy, a disease that causes vision impairment and even blindness. The difficulty of manual hard exudates segmentation and the high number of diabetic retinopathy cases are such that methods of automatic hard exudate segmentation and assisted diabetic retinopathy diagnosis may be developed. This article proposes a method for hard exudate segmentation through adaptive thresholding, region growing and pre-processing techniques such as the optical disc segmentation and green channel separation. The method was applied to the DIARETDB1 image database and the area under the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve was used as a performance metric.

KEYWORDS: Hard exudates, Diabetic Retinopathy, Adaptive Thresholding, Region Growing.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que 285 milhões de pessoas no mundo têm problemas na visão, das quais 39 milhões são cegas. Dentre as principais causas dos problemas de visão estão: erros de refração não corrigidos, catarata, glaucoma, degeneração macular relacionada à idade, retinopatia diabética (RD), tracoma e opacidade

corneana (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2010).

A retinopatia diabética é uma das causas primárias de problemas na visão e cegueira (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2010). Por volta de 15 anos após o diagnóstico, quase todos os pacientes com diabetes tipo 1 e até dois terços dos pacientes com diabetes tipo 2 têm sinais de RD (PRAKASH; SUMANTHI, 2013).

Segundo (WILKINSON et al., 2003), o tratamento adequado da RD pode reduzir a perda severa de visão em até 90%, e, para isso, a detecção precoce e rápido tratamento são fundamentais.

Doenças como a RD podem ser verificadas através de alterações estruturais na retina, detectadas através de imagens de fundo de olho (retinografia). A segmentação manual dessas é muito difícil, uma vez que é trabalhosa e que o médico responsável pode cometer erros. Nesse contexto, métodos de processamento de imagem e até de diagnóstico automático podem reduzir a carga de trabalho dos profissionais da saúde e facilitar o diagnóstico da RD (KAUR ; MITTAL, 2015).

Uma dessas alterações detectadas na retina são os exudatos duros (*hard exudates*), que são depósitos lipídicos na retina de cor branca ou amarelada, causados pelo “colapsamento de junções endoteliais rígidas em microaneurismas ou capilares retiniais” (DUH, 2008, p. 8). São um fator signficante de risco para perda de visão moderada e usados para diagnóstico e classificação da RD (DUH, 2008, p. 15).

Vários autores têm testado métodos para segmentação de exudatos duros, em (KANDE; SUBBAIAH; SAVITHRI, 2008), por exemplo, utiliza-se transformação no espaço de cor e melhoramento de contraste local na fase de pré-processamento, para então segmentar os exudatos usando o algoritmo SWFCM (*spatially weighted fuzzy c-means clustering*).

(KAUR ; MITTAL, 2015) retira os vasos sanguíneos e o disco óptico das imagens para então utilizar crescimento de regiões para extrair os exudatos da imagem.

(SANCHÉZ et al., 2009). aplica limiarização dinâmica, bem como uma série de etapas de pré-processamento, como melhoramento de contraste e utilização do canal verde para segmentação de exudatos duros.

Já (WALTER et al., 2002), utiliza técnicas de *watershed* para segmentar o disco óptico e então morfologia matemática para segmentar os exudatos duros.

O método proposto busca inicialmente usar técnicas de pré-processamento como o uso do canal verde e segmentação do disco óptico, para então aplicar limiarização adaptativa e crescimento de regiões a fim de segmentar os exudatos.

Inicialmente apresenta-se as técnicas utilizadas para segmentação, o banco de imagens e as métricas para avaliação de performance, para então se explicar com mais detalhes o método de segmentação proposto. Posteriormente apresenta-se os resultados obtidos em cada uma das etapas, e, por fim, são feitas as conclusões.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A. LIMIAZIZAÇÃO ADAPTATIVA

Limiarização adaptativa é uma técnica de segmentação de imagens muito usada quando a imagem não tem iluminação uniforme, e, consiste em dividir a imagem em subimagens, para então se aplicar a técnica de limiarização a cada uma delas.

A limiarização é uma das técnicas mais simples de segmentação, na qual se divide a imagem em objeto e fundo de acordo com um valor de limiar. Esse limiar é calculado de acordo com o histograma da imagem, de modo que todos os pixels acima dele são considerados pixels do objeto, e, pixels abaixo são considerados pixels do fundo (GONZALEZ; WOODS, 2009, p 595-600).

B. CRESCIMENTO DE REGIÕES

“Crescimento de regiões é uma técnica que agrupa pixels ou sub-regiões em regiões maiores baseado em um critério predefinido” (GONZALEZ; WOODS, 2009, p. 613-614).

Para implementar a técnica de crescimento de regiões, inicialmente escolhe-se um pixel chamado pixel semente, e então, a esse pixel agrega-se pixels vizinhos de características (como nível de cinza) semelhantes.

O procedimento continua até que se atinja uma regra de parada, que pode ser simplesmente a falta de pixels vizinhos semelhantes, ou envolver outros critérios, como a região atingir um tamanho máximo (GONZALEZ; WOODS, 2009, p. 613-614).

C. BASE DE IMAGENS

O método de segmentação foi aplicado na base de imagens DIARETDB1, que possui 89 retinografias coloridas, das quais 84 são de pacientes com RD e 5 são de pacientes considerados saudáveis.

A base também tem um *ground truth* com a segmentação manual feita por especialistas, que serve de referência para testar a performance dos métodos de segmentação. O *ground truth* tem 4 níveis de confiabilidade, correspondendo às áreas marcadas por 1, 2, 3 ou 4 especialistas (KANDE; SUBBAIAH; SAVITHRI, 2008).

A Figura 1 mostra a imagem 5 da base e seu respectivo *ground truth*, no qual áreas mais claras correspondem a marcações com maior confiabilidade, áreas menos claras a marcações com menor confiabilidade e áreas completamente escuras a regiões sem exudatos.

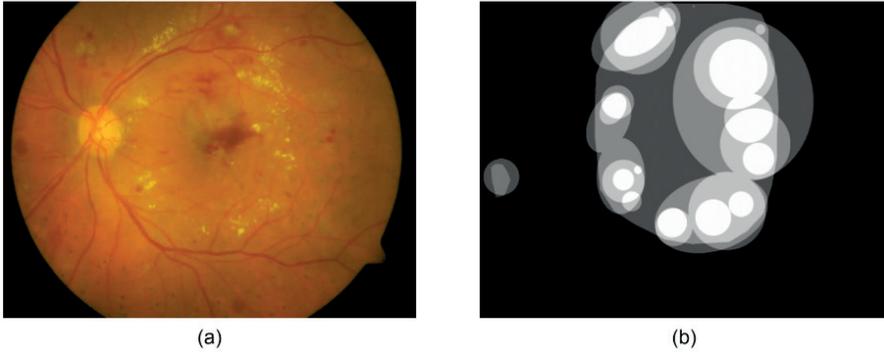


Figura 1 - Imagem 5 da base (a) e seu respectivo *ground truth* (b)

D. MÉTRICAS DE PERFORMANCE

Para medir a performance do método implementado, foram usadas métricas como a sensibilidade (ou taxa de verdadeiros positivos), a especificidade (ou taxa de verdadeiros negativos), e a taxa de falsos positivos (ou 1-especificidade). Estas métricas são definidas pelas Equações 1, 2 e 3 respectivamente (KAUPPI, 2007).

$$\text{sensibilidade} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

$$\text{especificidade} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (2)$$

$$\text{taxa de falsos negativos} = 1 - \text{especificidade} = \frac{FP}{FP + TN} \quad (3)$$

Onde:

TP – Número de verdadeiros positivos (pixels detectados pelo método presentes no *ground truth*)

TN – Número de verdadeiros negativos (pixels não detectados pelo método e ausentes no *ground truth*)

FN – Número de falsos negativos (pixels não encontrados pelo método e presentes no *ground truth*)

FP – Número de falsos positivos (pixels encontrados pelo método e ausentes no *ground truth*)

Em testes de diagnóstico, a especificidade e sensibilidade dependem de um limiar, ou do parâmetro escolhido para fazer o diagnóstico: limiares muito seletivos geram diagnósticos com alta especificidade, mas baixa sensibilidade, já limiares pouco seletivos geram diagnósticos com baixa especificidade, mas alta sensibilidade. Para ilustrar a

relação entre especificidade e sensibilidade em um método de diagnóstico, frequentemente se utiliza a *Receiver Operating Characteristic* (ROC), uma curva que relaciona a taxa de falsos positivos (1-especificidade) com a taxa de verdadeiros positivos (AKOBENG, 2007).

A área sob a curva ROC é um parâmetro muito usado para verificar a eficácia de um método: quanto mais próxima de 1, melhor o método. É comum também comparar a ROC obtida com uma função afim, que representa a ROC resultante de um diagnóstico aleatório.

3 | MÉTODO PROPOSTO

O método proposto se inicia com o pré-processamento das imagens, separando inicialmente o canal verde das retinografias, que é o canal que fornece melhor contraste entre as lesões e a região de fundo (KAUR ; MITTAL, 2015). Após a separação do canal verde, é aplicada uma máscara, substituindo a borda da imagem por seu valor médio de intensidade, para que a borda não influencie no processamento. Por fim, retira-se a região do disco óptico, para que ela também não interfira no processamento.

Após o pré-processamento, aplica-se o algoritmo de limiarização adaptativa na imagem, que resulta em uma imagem binarizada com os pixels de maior intensidade relativa (local). Por fim, esses pixels obtidos via limiarização adaptativa são usados como sementes para a técnica de crescimento de regiões, de modo que a união de todas as regiões obtidas via crescimento de regiões corresponde à área com exudatos duros.

Após a segmentação, o resultado obtido é comparado com o *ground truth* da base, e são calculadas a especificidade e a sensibilidade. Para aplicação das métricas de performance foi considerada apenas a área de máxima confiabilidade do *ground truth*.

O algoritmo é executado alterando-se os parâmetros da etapa de crescimento de regiões, de modo que para cada um dos parâmetros se obtém um valor de sensibilidade e especificidade. No fim, os valores de sensibilidade e especificidade são usados para traçar a curva ROC e calcular a área sob a ROC de cada imagem.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, na fase de pré-processamento foi selecionado o canal verde das imagens, retirado a borda das imagens e o disco óptico através da aplicação de uma máscara, substituindo essas regiões pelo valor médio de nível de cinza da imagem.

A Figura 2 ilustra a separação do canal verde da imagem 6 do banco, bem como a aplicação da máscara e a retirada do disco óptico.

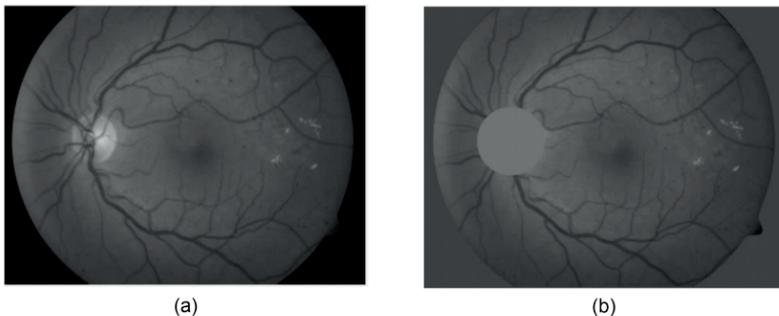


Figura 2 - Canal verde da imagem 6 antes (a) e após (b) a retirada do disco óptico e aplicação da máscara

Na fase de processamento, é possível alterar a detecção das sementes mudando o parâmetro da limiarização adaptativa. Esse parâmetro varia de 0 a 1 e controla o quão seletiva é a limiarização, sendo que 0 corresponde à limiarização mais seletiva e 1 à menos seletiva. Foram realizados testes com valores de 0.2, 0.25 e 0.30 para o parâmetro de limiarização.

Nas Figuras 5, 6 e 7 podemos ver as sementes obtidas na fase de limiarização adaptativa para a imagem 6 (Figura 3) com parâmetros de 0.2, 0.25 e 0.3, respectivamente. A Figura 8 apresenta o *ground truth* da imagem 6 para comparação

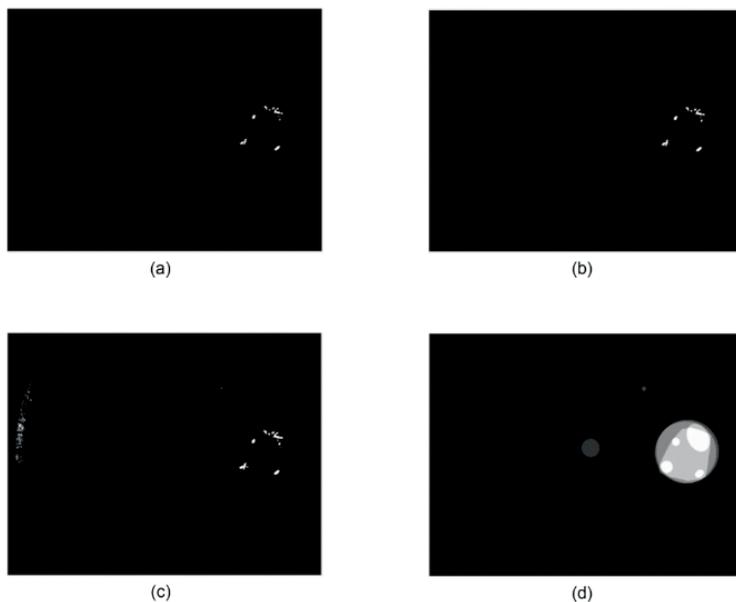


Figura 3-Sementes obtidas para seletividade 0.2 (a), 0.25 (b) e 0.3 (c), bem como ground truth da respectiva imagem (d)

É também possível alterar o crescimento de regiões, mudando o critério de inclusão de pixels (diferença máxima de nível de cinza) e o tamanho máximo da região. Alterando-se esses critérios, podemos modificar a sensibilidade e especificidade da segmentação e gerar uma curva de ROC.

Na Figura 9 podemos ver o resultado do crescimento de regiões da imagem 6 em comparação com o *ground truth* da imagem, com sensibilidade (taxa de verdadeiros positivos) de 98.18% e especificidade (1-taxa de falsos positivos) de 97.66%.



Figura 4-Crescimento de Regiões obtido para a imagem (a) e seu respectivo *ground truth*(b)

A curva da ROC para a imagem é mostrada na Figura 10, e, podemos compará-la com a curva da ROC de um diagnóstico aleatório. Para a imagem 6 foi obtida uma área sob a ROC de 0.9967.

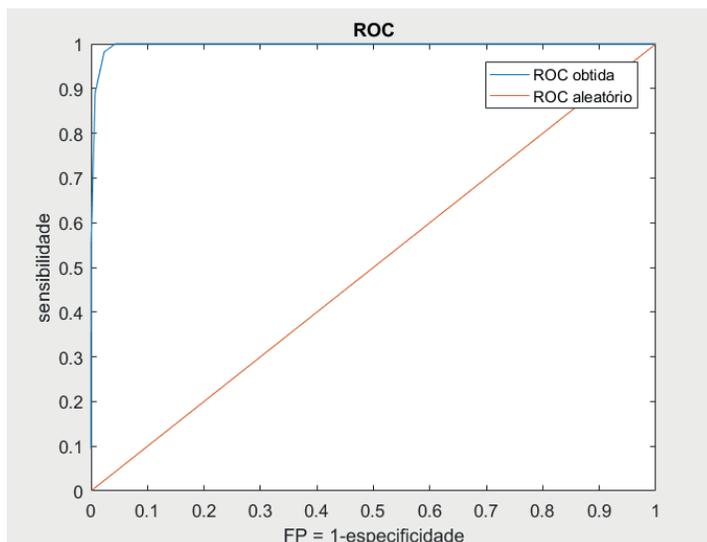


Figura 6 - Curva da ROC para a imagem 6 do banco

Calculou-se as áreas sob ROC para todas as imagens com exudatos duros da base (29 imagens) e para três valores de parâmetro da limiarização adaptativa: 0.2, 0.25 e 0.30. Para o parâmetro 0.2 obteve-se uma área sob a ROC média de 0.9253, para 0.25 obteve-se 0.9534, e, para a 0.30 obteve-se 0.9591.

Na tabela 1 é possível ver os valores de área sob a ROC obtidos para as imagens da base utilizando-se um parâmetro de limiarização de 0.25.

Imagem	Área sob a ROC	Imagem	Área sob a ROC
1	0,914754888	19	0,866378383
4	0,955019559	20	0,913508129
5	0,930474675	21	0,986517052
6	0,985620882	22	0,890357476
7	0,921515205	23	0,991348219
8	0,934859621	24	0,976481605
10	0,962802236	25	0,94464521
11	0,868936008	35	0,752991026
12	0,853790447	38	0,889970765
13	0,881620616	52	0,922107274
14	0,923382286	53	0,94458512
15	0,929153444	66	0,946411002
16	0,948344758	67	0,982545907
17	0,945569188	84	0,978743768

Tabela 1 - Áreas sob a ROC obtidas para imagens da base com parâmetro de limiarização de 0.25

5 | CONCLUSÕES

O trabalho mostra a importância das técnicas de processamento de imagens para o estudo e tratamento da retinopatia diabética, através da segmentação de lesões e até de diagnóstico automático.

Para a segmentação de exudatos duros, usou-se a técnica de limiarização adaptativa e crescimento de regiões para três parâmetros de limiarização (0.2, 0.25 e 0.3), para os quais se obteve áreas sob a ROC média acima de 0.9, o que indica que a técnica pode ser aplicada para segmentação de exudatos duros.

Posteriormente, pode-se estudar novas técnicas de pré-processamento para melhorar a eficiência da segmentação, e, uma forma de determinação dos limiares ideais para cada uma das etapas da segmentação, o que permitiria aplicações mais práticas do método proposto.

REFERÊNCIAS

AKOBENG, A. K. *et al.* Understanding diagnostic tests 3: Receiver operating characteristic curves. **Acta Paediatr.**, [s. l.], 2007.

DUH, E. J. **Diabetic Retinopathy**. [S. l.]: Humana Press, 2008.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**. 3. ed. [S. l.]: Pearson, 2009.

KANDE, G. B.; SUBBAIAH, P. V.; SAVITHRI, T. S. Segmentation of exudates and Optic disc in retinal images. **Proc. - 6th Indian Conf. Comput. Vision, Graph. Image Process**, [S. l.], p. 535-542, 2008. ICVGIP 2008.

KAUPPI, T. *et al.* DIARETDB1 diabetic retinopathy database and evaluation protocol. *In*: BRITISH MACHINE VISION CONFERENCE, 2007, University of Warwick, UK. **Proceedings of the British Machine Vision Conference 2007** [...]. [S. l.: s. n.], 2007.

KAUR, J.; MITTAL, D. Segmentation and Measurement of Exudates in Fundus Images of the Retina for Detection of Retinal Disease. **J. Biomed. Eng. Med. imaging**, [s. l.], v. 2, p. 27–38, fevereiro 2015.

PRAKASH, J.; SUMANTHI, K. Detection and Classification of Microaneurysms for Diabetic Retinopathy. **International Journal of Engineering Research and Applications**, [s. l.], v. 4, p. 31-36, 19 mar. 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Global data on visual impairments**. [S. l.], 2010. Disponível em: <https://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.

SANCHÉZ, C. I. *et al.* Retinal image analysis based on mixture models to detect hard exudates. **Med. Image Anal.**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 650–658, 2009.

WALTER, T. *et al.* A contribution of image processing to the diagnosis of diabetic retinopathy--detection of exudates in color fundus images of the human retina. **IEEE Trans. Med. Imaging**, [s. l.], v. 21, n. 10, p. 1236–1243, 2002.

WILKINSON, C. P. *et al.* Proposed International Clinical Diabetic Retinopathy and Diabetic Macular Edema Disease Severity Scales. **Ophthalmology**, [s. l.], v. 110, n. 9, p. 1677-1682, setembro 2003.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AMI 1, 2, 3, 4, 5, 7, 12, 124

Aneel 6, 52, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 84, 96, 127, 136, 209, 221

Aterramento 25, 27, 28, 29, 32, 34, 37, 38, 72, 77, 209

Automação 1, 7, 25, 26, 32, 33, 37, 61, 138, 149, 164, 168, 169, 325, 330, 333, 341

C

Classificação 1, 12, 126, 128, 131, 134, 135, 136, 184, 209

Compatibilidade Eletromagnética 25

Complexo Hospitalar 83, 84

Consumo de Energia 4, 83, 84, 138, 161, 172, 181, 259, 260

Curto-Circuito 65, 100, 126, 128, 131, 132, 133, 134, 135, 234

D

Danos Elétricos 71, 72, 73, 76, 80, 82

Defensivos agrícolas 138, 139, 140, 146, 147

Densidade de potência 13, 15, 16, 17, 19

Descargas atmosféricas 27, 71, 76, 328

Detecção de fraudes 1, 10, 11

Distribuição de Energia Elétrica 72, 81, 96, 112, 113, 125, 127, 210, 221, 222

DPS 71, 72, 77, 78, 79, 80, 81

E

Ensaio 97, 98, 99, 103, 104, 108, 109, 111, 219, 324

Estudo comparativo 13, 15, 275

I

IEC 61850 54, 55, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 207, 330, 331, 332, 333, 339, 340, 341, 342

Inteligência Artificial 112, 114

Interferência Eletromagnética 25, 26, 37, 327, 328

L

Linhas de transmissão 54, 56, 62, 64, 65, 112, 113, 227, 240, 327

M

Medição 1, 3, 4, 7, 8, 11, 54, 58, 59, 60, 64, 79, 80, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 95, 96, 106, 138,

140, 141, 142, 217, 218, 219, 220, 221, 271, 272, 331, 338

Medidores Inteligentes 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Mensuração da área de cobertura 138, 139, 140

Modelagem de sistemas de potência 39, 228

Motor de indução 13, 14, 19, 97, 98, 100, 101, 102, 104

Motor de indução trifásico 97, 98, 100, 101, 104

N

Normas Técnicas 81, 97, 99, 110, 111

P

Previsão de Demanda 112, 113, 114, 115, 119, 124, 125

Previsão de Séries Temporais 112

Projetos de Engenharia 25

Proteção de linhas de transmissão 54

Proteção Diferencial 54, 55, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69

Q

Qualidade de energia 1, 11, 76, 96, 126, 127, 128, 217

R

Redes Neurais Artificiais 112, 115, 126, 128, 136

Rendimento 15, 16, 19, 20, 95, 97, 98, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 301

Ressarcimento 71, 72, 81, 82

S

Sampled Values 54, 55, 61, 70, 331

Smart Grid 1, 2, 3, 4, 6, 11, 12, 192, 193, 195, 207, 341

Subestação 29, 83, 84, 95, 96, 112, 115, 116, 124, 331

T

Tecnologias de aplicação 138, 139, 140

Termoeletricidade 39

Transformador 83, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 132, 212, 213, 221, 313, 337

Turbina a gás 39

Turbogerador 39

V

Veículo elétrico leve 13

Viabilidade Técnica 13, 14, 16