

# 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

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

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

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

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

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

### **Linguística, Letras e Artes**

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

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

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 22</b> .....   | <b>298</b> |
| <b>TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE CORRENTE NULA PARA APLICAÇÕES EM CONVERSORES BOOST OPERANDO EM MODO DE CONDUÇÃO CRÍTICA</b> |            |
| Marcelo Nogueira Tirolli   |            |
| Alexandre Borges Marcelo   |            |
| Flávio Alessandro Serrão Gonçalves   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.73421220222</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 23</b> .....   | <b>312</b> |
| <b>A STAIRWAY STATISTICAL NEURAL MODEL FOR DGA ANALYSIS</b>  |            |
| 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   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.73421220223</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 24</b> .....   | <b>325</b> |
| <b>LATÊNCIA NA COMUNICAÇÃO PARA ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO: REQUISITOS, AVALIAÇÕES E MEIOS DE TRANSMISSÃO</b>            |            |
| 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   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.73421220224</b>  |            |
| <b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....  | <b>343</b> |
| <b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....  | <b>344</b> |



# CAPÍTULO 11

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DA COBERTURA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVO AGRÍCOLA USANDO MARCADORES ULTRAVIOLETA

Data de aceite: 04/02/2021

### Edson d'Avila

IFSP - Instituto Federal de São Paulo, São Paulo – SP,

### Antônio Carlos Loureiro Lino

Centro de engenharia Automação, Instituto Agrônomico de Campinas, Jundiá, São Paulo, Brasil;

### Inácio Maria Dal Fabbro

3UNICAMP – Faculdade de Engenharia Agrícola;

### Ana Cristina da Silva

IFSP - Instituto Federal de São Paulo, São Paulo – SP;

**RESUMO:** As variações na qualidade dos produtos agrícolas ocorrem tanto pela variedade de cultivares, nutrição e por problemas climáticos e biológicos. Para se obter a melhor qualidade possível do produto agrícola, o produtor investe, entre outros, em defensivos agrícolas. Os defensivos agrícolas são aliados no controle biológico, mas com significativa participação nos custos de produção. Deve-se aplicar a menor quantidade possível de defensivos para reduzir custos. Neste cenário é essencial inovar nas tecnologias de aplicação. A tecnologia de aplicação deve proporcionar uma correta deposição do defensivo agrícola no ponto que se deseja atingir da forma mais econômica e sustentável. Logo deve-se buscar a maior área de

cobertura do defensivo sobre o alvo. O presente trabalho trouxe uma inovação tecnológica na mensuração da área de cobertura do defensivo agrícola com um sistema de baixo consumo de energia da fonte emissora de UV. O sistema retornou a porcentagem da área do alvo que foi coberta com o defensivo em um tempo muito pequeno, próximo de um controle em tempo real. Com o auxílio de marcadores fosforescentes, que respondem bem ao ultravioleta, o sistema é capaz de capturar a imagem de uma amostra do alvo, processar e retornar o cálculo da porcentagem de cobertura. Com programa *ImageJ*, de arquitetura aberta e de domínio público, a análise e processamento de imagens digitais tornou-se muito rápida e eficaz. Em menos de 1 segundo o sistema faz o cálculo da porcentagem da superfície do alvo que foi coberto com o defensivo agrícola. Com um sistema de medição portátil, o operador do sistema de pulverização poderá fazer os ajustes necessários no equipamento de aplicação do defensivo agrícola a fim de garantir uma aplicação eficiente e eficaz. A partir de uma amostra de folhas de uva, imagens digitais foram capturadas com iluminação ultravioleta, emitida por um Chip Led UV de 400 nm de comprimento de onda e 20 W de potência. Para captura das imagens digitais, utilizou-se uma câmera Canon EOS T5 montada com lente EF 50mm f/1.2L USM. A câmera foi posicionada a uma distância de 0,45 m da cena. Uma rotina computacional (*macro instruction*) para o *ImageJ* foi desenvolvida para processar e retornar a área de cobertura do pigmento fosforescente. O *ImageJ* retornou valores percentuais da cobertura rapidamente. A metodologia desenvolvida se mostrou capaz

de calcular a porcentagem de cobertura de aplicação de defensivos agrícolas. A fonte de radiação UV com um chip Led demonstrou-se robusta, eliminou a inconveniência da lâmpada de bulbo de vidro. A facilidade de alimentação de energia elétrica a partir de bateria ou a USB do notebook também é um diferencial para o chip Led. Pesquisas com filtro UV embora proteja a lente óptica da câmera contra riscos, poeira e gordura dos dedos, não alterou os resultados das imagens capturadas. Pesquisas futuras poderão experimentar filtros passa faixa estreita” (*narrow bandpass filter*) a fim de deixar passar a frequência de melhor resposta do marcador fosforescente. Por fim melhorias no programa e nos elementos do sistema poderão culminar em um sensor capaz de mensurar a eficácia da aplicação do defensivo agrícola em tempo real, ou seja, poderá ser embarcado no sistema de aplicação.

**PALAVRAS - CHAVE:** Defensivos agrícolas; Tecnologias de aplicação; Mensuração da área de cobertura.

**ABSTRACT:** Variations in the quality of agricultural products occur both due to the variety of cultivars, nutrition and climatic and biological problems. In order to obtain the best possible quality of the agricultural product, the producer invests, among others, in pesticides. Pesticides are allies in biological control, but with a significant share in production costs. The least amount of pesticides should be applied to reduce costs. In this scenario, it is essential to innovate in application technologies. The application technology must provide a correct deposition of the crop protection product at the point that it is desired to achieve in the most economical and sustainable way. Therefore, the largest defensive coverage area on the target should be sought. The present work brought a technological innovation in the measurement of the pesticide coverage area with a low energy consumption system from the UV emitting source. The system returned the percentage of the target area that was covered with the defensive in a very short time, close to a real-time control. With the aid of phosphorescent markers, which respond well to ultraviolet, the system is able to capture the image of a sample of the target, process and return the calculation of the percentage of coverage. With ImageJ program, open architecture and public domain, the analysis and processing of digital images became very fast and effective. In less than 1 second, the system calculates the percentage of the target surface that was covered with the crop protection product. With a portable measuring system, the spray system operator will be able to make the necessary adjustments to the pesticide application equipment in order to ensure an efficient and effective application. From a sample of grape leaves, digital images were captured with ultraviolet illumination, emitted by a UV Led Chip with 400 nm wavelength and 20 W of power. To capture digital images, a Canon EOS T5 camera mounted with an EF 50mm f / 1.2L USM lens was used. The camera was positioned at a distance of 0.45 m from the scene. A computational routine (macro instruction) for ImageJ was developed to process and return the coverage area of the phosphorescent pigment. ImageJ quickly returned percentage coverage values. The developed methodology proved to be capable of calculating the percentage of application of crop protection products. The UV radiation source with a Led chip proved to be robust, eliminating the inconvenience of the glass bulb. The ease of supplying electric power from the battery or the USB of the notebook is also a differential for the Led chip. Research with a UV filter, while protecting the camera’s optical lens from scratches, dust and grease from the fingers, did not alter the results of the captured images. Future research will be able to try narrow bandpass filters ”(*narrow bandpass filter*)

in order to pass the frequency of the best response of the phosphorescent marker. Finally, improvements in the program and in the elements of the system may culminate in a sensor capable of measuring the effectiveness of the application of pesticide in real time, that is, it can be loaded into the application system.

**KEYWORDS:** Pesticides; Application technologies; Measurement of the coverage area.

## INTRODUÇÃO

As variações na qualidade dos produtos agrícolas ocorrem tanto pela variedade de cultivares, nutrição e por problemas climáticos e biológicos. Para se obter a melhor qualidade possível do produto agrícola, o produtor investe em sementes, corretivos e fertilizantes, máquinas e defensivos agrícolas, entre outros. (IFAG; IFOPE, 2020).

Na condução da lavoura os defensivos agrícolas são aliados para o controle biológico, mas com significativa participação nos custos de produção. Deve-se aplicar a menor quantidade possível de defensivos para reduzir custos, minimizar a contaminação do meio ambiente e garantir a qualidade do produto agrícola. Neste sentido, torna-se essencial desenvolver e aprimorar as tecnologias de aplicação (ROSALEN, 2019).

A escolha adequada de defensivos agrícolas aliada à tecnologia de aplicação deve buscar a qualidade do produto agrícola e também o equilíbrio ecológico que favoreça a convivência de outros produtores próximos. Neste quadro vale lembrar o caso dos agrotóxicos que mataram mais de 50 milhões de abelhas, em Santa Catarina, em um único mês (BBC, 2019).

Muitos fatores influenciam na correta deposição de defensivos agrícolas no alvo, entre eles, o clima, tipo e veículo transportador do defensivo e as pontas de pulverização. Não existe uma receita eficaz que garanta a quantidade exata de deposição do defensivo no alvo. A deriva é também um fator que se caracteriza como um sério problema. As gotas da pulverização são carregadas pelo vento e podem atingir outros locais fora do alvo.

A tecnologia de aplicação deve proporcionar uma correta deposição do defensivo agrícola no ponto que se deseja atingir da forma mais econômica e sustentável. Logo a deposição das gotas sobre o alvo deve ter tamanho e densidade adequados e deve cobrir a maior área possível do alvo.

Qualquer que seja o alvo selecionado, o sistema de pulverização deverá ser capaz de produzir a cobertura adequada do mesmo. A cobertura nada mais é do que o número de gotas por unidade de área (ou a porcentagem de área coberta), obtida na pulverização e representa, na realidade, o objetivo final da pulverização (ANDEF, 2010, p. 40).

Busca-se neste trabalho uma inovação tecnológica na mensuração da área de cobertura do defensivo agrícola. A proposta é desenvolver sistema de medição da cobertura de aplicação de defensivo agrícola usando marcadores ultravioleta e que no futuro possa estar disponível em equipamentos portáteis ou como um sistema sensor capaz de controlar

em tempo real o sistema de pulverização, ajustando a vazão de acordo com a área de cobertura.

O marcador fosforescente é uma técnica validada e que consiste de um pigmento fosforescente inserido na produção da calda a ser pulverizada sobre a planta.

Partes da planta (folhas, ramos etc.) podem ser destacadas e levadas a uma câmara escura provida de luz ultravioleta (luz negra). O pigmento brilhará intensamente e mostrará exatamente os locais onde as gotas se depositaram. Trata-se de uma técnica bastante utilizada em pesquisas, uma vez que o coletor das amostras não consegue identificar as áreas pulverizadas a olho nu, reduzindo os erros de amostragem (ANDEF, 2010, p. 41).

As superfícies das folhas são cobertas pelo defensivo agrícola e pelos pigmentos fosforescentes, que são os marcadores que apontarão onde o defensivo agrícola se depositou. A imagem digital de uma folha de amostra é submetida ao tratamento e análise digital e calcula a porcentagem e uniformidade da cobertura.

Como o objetivo da pulverização é promover uma cobertura adequada do alvo selecionado, a mensuração da cobertura é um instrumento fundamental de garantia da qualidade da pulverização.

Com os avanços no processamento e análise de imagens é possível desenvolver programas que permitem fazer cálculos rápidos da porcentagem da superfície do alvo que foi coberto com o defensivo agrícola. É um avanço tecnológico em relação aos papéis hidrossensíveis. Sistemas cada vez mais velozes e eficientes de avaliação da qualidade da pulverização irão culminar no sistema de medição integrado ao sistema de pulverização com o controle em tempo real da dosagem exata em cada instante para garantir a cobertura ideal independentemente das variáveis que influenciam a aplicação, conforme a figura 1.

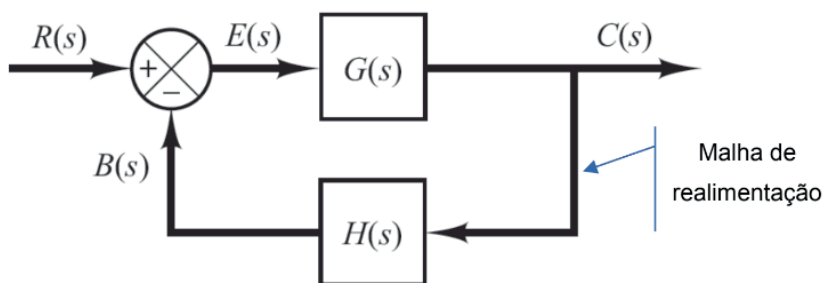


Figura 1—Diagrama de blocos -sistema de controle de malha fechada

Fonte: Ogata, 2010

A função de transferência do sistema de controle em malha fechada é dada pela equação 1.1.

### Equação 1 - função de transferência em malha fechada

(1.1)

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

O bloco na malha de realimentação é o elemento de realimentação cuja função de transferência é  $H(s)$ . A função do elemento de realimentação é modificar a saída  $C(s)$ .

Na maioria dos casos, o elemento de realimentação é um sensor que mede a saída da planta. A saída do sensor é comparada com a entrada do sistema e é gerado um sinal de erro atuante. Nesse exemplo, o sinal de realimentação que é enviado ao somador para comparação com o sinal de entrada é:  $B(s) = H(s).C(s)$  (OGATA, 2010, p. 16).

O controle da uniformidade na cobertura do defensivo agrícola sobre o alvo, em tempo real, oferece eficácia na aplicação com uso da menor quantidade possível de herbicidas, fungicidas e inseticidas.

Na impossibilidade da integração do sistema de medição de cobertura ao sistema de pulverização, um sistema de medição de cobertura portátil que faça cálculos rapidamente é uma solução desejável. Se o operador do sistema de pulverização for assessorado com resultados rápidos do sistema de medição, poderá fazer as correções necessárias na vazão do defensivo agrícola.

De acordo com Witton et al., 2018, um método comum para se determinar a cobertura de aplicação é através do uso de papel hidrossensível, mas existem outros métodos concorrentes como as substâncias marcadoras (tracers) adicionadas ao defensivo agrícola que podem ser rastreadas, quantificadas e correlacionadas com a quantidade do defensivo agrícola depositado. (FRITZ et al., 2011).

Firveda et al. (2002) utilizando um traçador fosforescente analisaram a cobertura do alvo com um programa de análise de imagens. Estes estudos apontam a viabilidade e eficácia do tratamento e análise de imagens digitais no sistema de medição de cobertura de alvos.

Trabalhos de Lino (2008) identificaram o *ImageJ* como um programa que possui qualidades positivas dentre outros que se ajusta às necessidades de um sistema de medição de área utilizando imagens digitais.

O *ImageJ* é um programa de arquitetura aberta e de domínio público, desenvolvido para análise e processamento de imagens digitais, escrito em Java pelo *National Institutes of Health*. Pode ser expandido com *plugins* ou macros. Pensando na arquitetura da linguagem de programação, o Java é uma linguagem interpretada, logo, não é a mais indicada para equipar um sistema de medição em malha fechada de um sistema de pulverização. No entanto o *ImageJ* possui ferramentas ímpares para análise de imagens em vários formatos e pilhas (*stack*). Dentre suas funções mais elaboradas estão as de medição de parâmetros

e as de filtragens. São estas funções que influenciaram de maneira decisiva a adoção do *ImageJ* nesta fase da pesquisa. Para equipamentos portáteis de uso em campo para calcular a porcentagem da área de coberta pelo defensivo agrícola, o *ImageJ* é veloz.

## MATERIAL E MÉTODOS

Uma amostra de 72 folhas de uva nas porções interna e externa, dos terços superior, mediano e inferior dos vãos foi levada ao laboratório e fixadas sobre um fundo branco (placa de isopor). A cor do fundo foi escolhida para facilitar a segmentação.

A segmentação é processo de separar o objeto de interesse em uma cena. Trata-se de uma operação complexa porque é equivalente ao processo realizado pelo sistema de visão humana para distinguir os objetos de interesse em uma cena. “Não existe um modelo formal para segmentação. É um processo empírico e adaptativo” (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2012).

Nesta fase da pesquisa a amostra foi fotografada em um ambiente iluminado somente com radiação ultravioleta, emitida por um Chip Led UV de 400nm, 20W para evidenciar os pigmentos fosforescentes depositados na superfície da folha. Os pigmentos respondem rapidamente a excitação pela luz ultravioleta, emitindo um tom fosforescente brilhante. O alto brilho inicial diminui depois que a fonte excitadora é extinta. O efeito de pós-luminescência depende da concentração do tipo de pigmento utilizado, da área depositada e da quantidade de energia radiante absorvida.

Para captura das imagens digitais, utilizou-se uma câmera Canon EOS T5 montada com lente EF 50mm f/1.2L USM. A câmera foi fixada a um tripé e posicionada a uma distância de 0,45 m da cena (distância focal mais próxima: 0.45m / 1.48 ft).

A Canon foi configurada para capturar imagens coloridas formadas pelo padrão RGB, que são informações de cores primárias aditivas. As imagens capturas passaram por processamento digital no *ImageJ* com rotina computacional (*macro instruction*) desenvolvida para processar e retornar a área de cobertura do pigmento fosforescente. A *macro* inicialmente duplica a imagem. A primeira imagem, apresentada na Figura 1, foi separada no espaço de cores RGB (*Red, Green, Blue*) - vermelho, verde e azul. Os canais R (*Red*) e G (*Green*), foram descartados, pois o canal Azul apresenta o melhor contraste. No canal B (*Blue*) aplicou-se o processo da limiarização (*Thresholding*) que consiste em separar o fundo do objeto. O processo também recebe o nome de binarização porque o resultado é uma imagem binária.

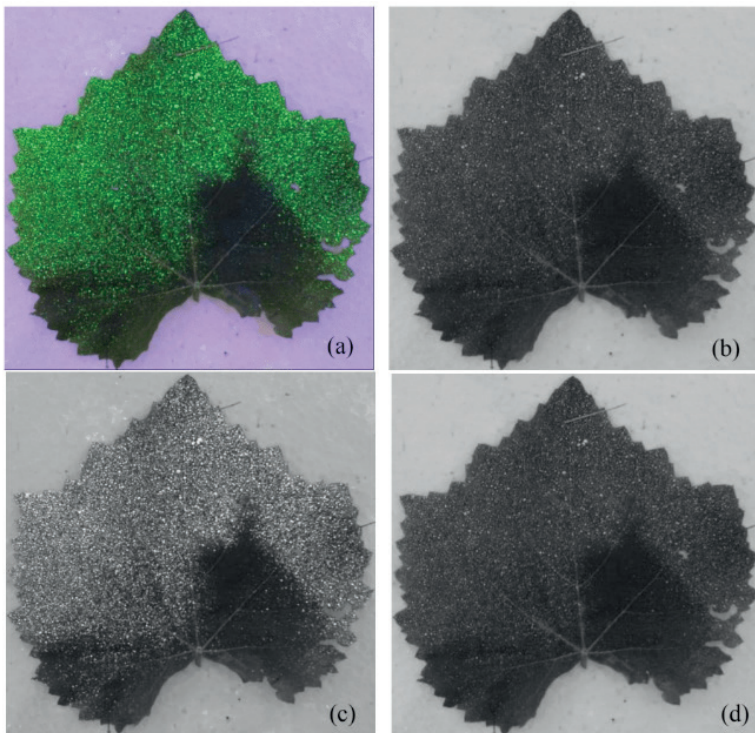


Figura 2-Imagem colorida folha de uva (a); R (b); G (c) e B (d)

Fonte: próprio autor

A segunda imagem apresentada na Figura 3, foi primeiramente demarcada e recortada na região de interesse, visando diminuir o tempo computacional.



Figura 3-Máscara a partir do Blue, determinação da área da folha

Fonte: Próprio autor

Na sequência do método, para ressaltar a área de cobertura com o pigmento, a imagem foi convertida para o canal HSB (*Hue*, *Saturation* e *Brightness* - matiz, saturação e brilho). A Figura 4 apresenta a decomposição HSB. Os canais H e S foram descartados, pois o *Brightness* oferece melhor contraste. O canal B após o *threshold*, foi usado para calcular a soma das áreas das gotas.

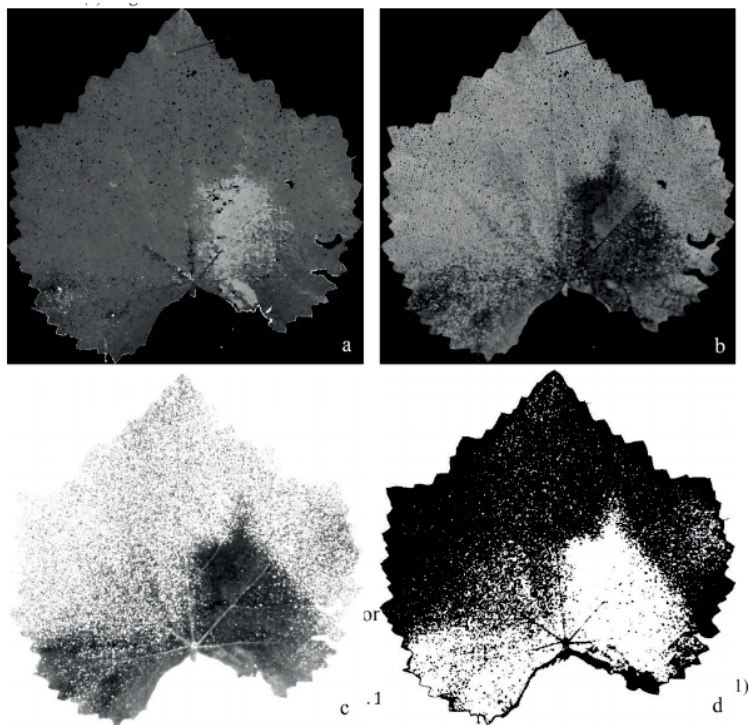


Figura 4-resultado da decomposição da imagem (a) hue (b) saturation (c) brightness (d) brightnessinverter

Fonte: próprio autor

Onde:

C é cobertura de pulverização em porcentagem,

$A_g$  é a soma das áreas das gotas e

$A_f$  é a área da folha.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como se observa na Figura 5, as regiões mais claras são aquelas que tiveram melhor cobertura de aplicação, pois é onde houve maior deposição dos pigmentos fosforescentes. A Figura 5 apresenta duas folhas com aproximadamente a mesma cobertura, sendo a (a) com 76,93% e a (b) com 76,26%.

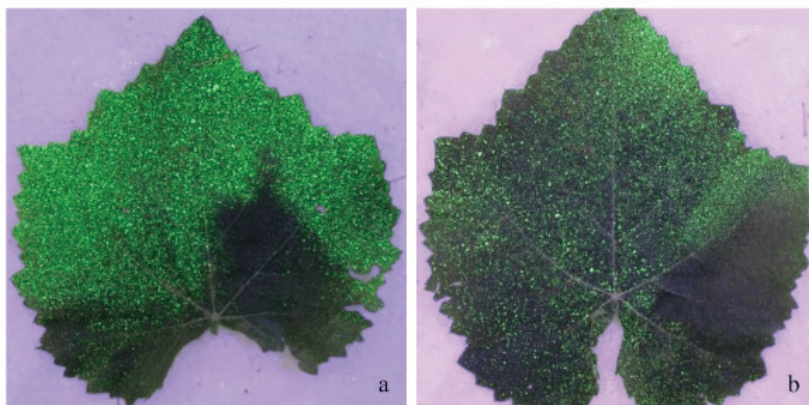


Figura 5-Folhas com a mesma cobertura de aplicação

Fonte: Próprio autor

## CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida através do tratamento e análise de imagens digitais, se mostrou capaz de calcular a porcentagem de cobertura de aplicação de defensivos agrícolas em folhas de videira.

A fonte de radiação UV com um chip Led de 400 nm, 20W demonstrou-se robusta, eliminou a inconveniência da lâmpada de bulbo de vidro ser frágil para ser operada em campo. A facilidade de alimentação de energia elétrica a partir de bateria ou a USB do notebook também é um diferencial para o chip Led.

O uso de filtro UV (Greika) rosqueado na lente Canon protege a lente contra riscos, poeira e gordura dos dedos, mas não altera os resultados das imagens capturadas com e sem o filtro UV. Esta constatação já era esperada porque a Canon possui um filtro de corte UV e IR incorporado de fábrica na frente do sensor. Durante as condições típicas de luz, o filtro bloqueia a luz UV indesejada para ajudar a garantir a fidelidade e a reprodução das cores.

Pesquisas futuras poderão substituir o filtro incorporado ao sensor da câmera por um filtro tipo “passa faixa estreita” (*narrow bandpass filter*). Ao associarmos um filtro sintonizado a uma radiação eletromagnética específica, a segmentação do objeto da cena

será favorecida. O filtro deverá estar sintonizado com o comprimento de onda de maior resposta do pigmento fosforescente. A sintonização permite somente a passagem do comprimento de onda de maior resposta do pigmento ao UV da fonte de iluminação.

Por fim, nos impulsiona a questão orientadora de futura pesquisa: É possível um sistema de mensuração que tenha velocidade e precisão capaz de ser implementado em um sistema de aplicação de defensivos agrícola?

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Marcelo Portes de; ALBUQUERQUE, Marcio Portes de. *Processamento de imagens*. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, IX Escola do CBPF, 2012. Disponível em: <<http://mesonpi.cat.cbpf.br/e2012/arquivos/g06/Escola%20CBPF%202012%20-%20Classificacao%20e%20Reconhecimento%20v20120725%2008h10%20vFinal.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

ANDEF. *Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários*. São Paulo: Andef - Associação Nacional de Defesa Vegetal; Cogap - comitê de boas práticas agrícolas, 2010. Disponível em: <<http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>>. Acessado em: Jan. 2020

BBC. *O agrotóxico que matou 50 milhões de abelhas em Santa Catarina em um só mês*. BBC NEWS, set. 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-49657447>>. Acesso em mai. 2020.

FIRVEDA, M. C.; CANTALOGO-JUNIOR, A; RAMOS, H. H.; LINO, A. C. L.; CORRÊA, I. M. (2002). *Uso de software para análise de imagem em avaliação da cobertura de pulverização*. *Bragantia*, 61 (3), 305-310. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052002000300013&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052002000300013&script=sci_arttext)>. Acessado em: Jan. 2020.

FRITZ, B., HOFFMANN, W., & JANK, P. (2011). A fluorescent tracer method for evaluating spray transport and fate of field and laboratory spray applications. In *Pesticide Formulations and Delivery Systems*, 31st Volume: Innovative Green Chemistries for the 21 st Century. ASTM International.

IFAG. *Estimativa de custo de produção arroz sequeiro*. Goiás: IFAG - Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás, 2020. Disponível em: <<http://ifag.org.br/arquivos/201/2020-05-Maio/1806/Estimativa-de-Custo-de-Formacao-Pastagens-MAI20.pdf>>. Acessado em: Jun. 2020.

IFOPE. *Glossário técnico de economia rural*. São Paulo: Ifope Educacional. S/d. Disponível em: <<https://blog.ifopecom.br/>> acessado em: jul 2020.

OGATA, Katsuhiko. *Engenharia de controle moderno*. 5Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

ROSALEN, Karina. *Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas*. São Paulo: Ifope, 2019. Disponível em: <<https://blog.ifopecom.br/tecnologia-de-aplicacao-de-defensivos-agricolas/#:~:text=As%20condi%C3%A7%C3%B5es%20clim%C3%A1ticas%20s%C3%A3o%20extremamente,para%20a%20evapora%C3%A7%C3%A3o%20das%20gotas.>>. Acessado em Jul. 2020.

WITTON, Joanna T.; PICKERING, Matthew D et al. *Quantifying pesticide deposits and spray patterns at micro-scales on apple (*Malus domestica*) leaves with a view to arthropod exposure*. *Pest Manag Sci*. 2018;74(12):2884-2893. doi:10.1002/ps.5136. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29999226/>>. Acessado em: jan. 2020.

## 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