

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

### **Linguística, Letras e Artes**

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

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/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  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. 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. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<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 Antônio Carlos Loureiro Lino Inácio Maria Dal Fabbro 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 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 Renan Pinho Lucas Ramalho Paiva Jorge Augusto Igor Falla 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 Milena Bueno Pereira Carneiro 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 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 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**

<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>

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

Data de aceite: 04/02/2021

Data de submissão: 03/11/2020

### Eloisa Bento Sarmento

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/7938959310887258>

### Mariana Gomes Costa

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/3130938651022861>

### Gileno Bezerra Guerra Junior

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande – Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/3905088218176578>

### Helder Alves Pereira

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande – Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/7393937425520096>

**RESUMO:** Os custos para instalação/manutenção de redes ópticas, bem como avaliação de desempenho frente a inúmeros cenários de penalidades físicas, configurações de dispositivos e topologias físicas são elevados.

Dessa forma, o investimento em propostas de otimização, por meio do desenvolvimento/aplicação de ferramentas computacionais, pode possibilitar a implantação de redes ópticas mais eficientes. Este capítulo tem como objetivo apresentar simuladores aplicados em redes ópticas que utilizam multiplexação por divisão espacial disponíveis na literatura, bem como suas respectivas contribuições.

**PALAVRAS-CHAVE:** Multiplexação por Divisão Espacial, Rede Óptica, Simuladores.

**ABSTRACT:** The capital and operational expenditures of optical networks as well as the evaluation performance considering different scenarios of physical penalties, device configurations and physical topologies are high. Thus, the investment in optimization proposals, through the development/application of computational tools, may allow the implementation of more efficient optical networks. This chapter aims to present simulators applied to optical networks using spatial division multiplexing available in the literature, as well as their respective contributions.

**KEYWORDS:** Optical Network, Simulator, Space Division Multiplexing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Tem-se observado um significativo crescimento do tráfego da rede mundial de computadores (*internet*) nas últimas décadas. Enquanto isso, diversos serviços, tais como: realidade aumentada (AR - *Augmented Reality*),

realidade virtual (VR - *Virtual Reality*) e *internet* das coisas (IoT - *Internet of Things*), têm exigido cada vez mais largura de banda dos sistemas de telecomunicações. Dessa forma, impulsionadas pelo crescimento do tráfego e pela variedade de serviços, as redes ópticas também têm sido empregadas nas redes de transporte e de acesso (YAN et al., 2018).

Embora as redes ópticas baseadas em multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing*), em que vários sinais ópticos podem ser multiplexados na mesma fibra óptica, ofereçam vantagens de transmissão de alta capacidade e comutação reconfigurável de comprimentos de onda, elas apresentam inconvenientes em termos de largura de banda fixa e baixa granularidade. Isso pode levar a uma utilização espectral ineficiente e acomodação rígida de vários tipos de tráfego (JINNO et al., 2009; JINNO et al., 2010; ZHANG et al., 2012).

Redes ópticas elásticas (EON - *Elastic Optical Network*) com multiplexação por divisão espacial (SDM - *Space Division Multiplexing*) (EON-SDM) se destacam como uma solução promissora para lidar com as crescentes demandas de largura de banda dos últimos anos (OLIVEIRA et al., 2019). As EONs-SDM oferecem uma capacidade de transmissão de informação muito maior quando comparadas aos sistemas de fibra óptica monomodo convencionais. Essa tecnologia envolve o uso de diversas dimensões espaciais, umas delas considera o uso de fibras ópticas com múltiplos núcleos (MCF – *Multicore Fiber*), por exemplo (OLIVEIRA et al., 2018).

Todavia, os custos para instalação/manutenção dessas redes, bem como avaliação de desempenho frente a inúmeros cenários de penalidades físicas, configurações de dispositivos e topologias físicas são elevados (MOURA et al., 2016). Dessa forma, o investimento em propostas de otimização, por meio do desenvolvimento/aplicação de ferramentas computacionais, pode possibilitar a implantação de redes ópticas mais eficientes.

Este capítulo tem como objetivo apresentar simuladores aplicados em redes ópticas SDM disponíveis na literatura, bem como suas respectivas contribuições. O capítulo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, apresentam-se considerações sobre redes ópticas SDM. Na Seção 3, são apresentadas as principais contribuições dos simuladores utilizados em redes ópticas SDM e disponíveis na literatura. Na Seção 4, são descritas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 | MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO ESPACIAL

Pesquisas têm sido realizadas com várias tecnologias para superar a possível escassez da capacidade das redes ópticas (FUJII et al., 2014). Uma delas é a tecnologia WDM. A tecnologia WDM, em conjunto com formatos de modulação mais avançados, tem sido usada com o intuito de aumentar o limite da capacidade da fibra monomodo. Entretanto, a complexidade, o custo, a potência consumida e o calor dissipado em uma

transmissão WDM podem fazer com que seja inadequado usar essa tecnologia em redes envolvendo centros de dados (*data centers*) (LIU et al., 2016). A tecnologia WDM é utilizada para atender demandas de conexão e, embora as taxas de transmissão de bits diferentes possam ser transportadas por cada comprimento de onda, essas redes não utilizam o espectro de frequência de forma eficiente (CAVALCANTE et al., 2017).

Diante desse cenário, as EONs foram introduzidas para utilizar de forma flexível os recursos espectrais, utilizando diversos formatos de modulação, baseados nas taxas de transmissão de bit e no alcance óptico das conexões solicitadas. Tal flexibilidade permitiu que as EONs utilizassem recursos espectrais de maneira mais eficiente que as redes ópticas WDM (SUGIHARA et al., 2017).

No paradigma das EONs, o espectro de frequência é dividido em várias faixas de frequências menores (*slots*), que são alocadas para serem o mais próximo dos requisitos de largura de banda de cada demanda do usuário (MUHAMMAD et al., 2015). As EONs possuem a característica de se adaptar dinamicamente aos recursos exigidos de acordo com a demanda.

A nível de rede, o roteamento e a atribuição de espectro é o problema mais importante (RSA – *Routing and Spectrum Assignment*) em EONs. O problema RSA consiste em determinar a rota e a alocação de recursos espectrais disponíveis para estabelecimento de uma conexão. Tal alocação está sujeita às restrições de continuidade e contiguidade, caso não exista conversor de frequência ao longo da rota. A primeira restrição impõe que o conjunto de *slots* atribuídos para a conexão deve ser o mesmo em todos os enlaces da rota, enquanto que a segunda restrição impõe que o conjunto de *slots* deve ser contíguo para alcançar alta eficiência na utilização do espectro (MOURA et al., 2016).

Devido aos recentes avanços tecnológicos, espera-se que a capacidade de transmissão das fibras ópticas existentes atinja um limite físico. Para realizar a expansão da capacidade da fibra, a tecnologia SDM vem sendo estudada nos últimos anos (SUGIHARA et al., 2017). Essa tecnologia pode aumentar a capacidade de transmissão usando fibras ópticas MCF, fibras ópticas com múltiplos modos (MMF – *Multimode Fiber*) – dentre elas as fibras ópticas com poucos modos (FMF – *Few-Mode Fiber*) –, pacotes de fibras (monomodo e com um núcleo) ou ainda combinações entre essas dimensões espaciais, como é o caso das fibras ópticas com poucos modos e múltiplos núcleos (FM-MCF – *Few-Mode Multicore Fiber*) (SARIDIS et al., 2015; SIRACUSA et al., 2015).

Em redes ópticas que empregam o conceito de SDM, a problemática da camada de rede ganha uma nova variante: a dimensão espacial. Dessa forma, analogamente ao RSA para EONs, a questão mais importante a ser solucionada em redes SDM (elásticas ou não) é o roteamento e a atribuição de espectro, considerando aspectos de dimensão espacial (RSSA – *Routing, Space and Spectrum Assignment*). As restrições referentes ao problema de RSA – continuidade e contiguidade – continuam sendo válidas, porém a complexidade é elevada, uma vez que se faz necessário escolher – além da rota e dos

recursos espectrais – os modos, núcleos e fibras existentes no sistema de comunicação em análise (SIRACUSA et al., 2015).

A presença de múltiplos modos e/ou núcleos em uma mesma fibra eleva também as possibilidades de interferências entre os sinais que nela propagam (*crosstalk*). Em MMFs, a interferência é consequência do acoplamento entre os modos que se propagam em um mesmo núcleo.

Para tornar possível a correta recepção do sinal, é necessário um sistema robusto de processamento digital de sinais (DSP – Digital Signal Processing) com múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO – *Multiple Input Multiple Output*). Para suavizar o emprego de MIMO-DSP e ainda assim aumentar a capacidade de transmissão, são transmitidos poucos modos de propagação em FMFs (SARIDIS et al., 2015).

Analogamente ao que ocorre em MMFs/FMFs, em redes ópticas que utilizam MCFs, o *crosstalk* está associado à interferência entre núcleos presentes em uma mesma fibra (YAO et al., 2018). O nível de interferência está diretamente associado ao nível de acoplamento entre os núcleos: (1) desacoplados, (2) fracamente acoplados e (3) fortemente acoplados. Uma maior quantidade de núcleos em uma fibra – mantido constante o diâmetro – implica em um maior acoplamento e, conseqüentemente, em maior nível de *crosstalk* (ZHANG, 2020). Segundo Fujii et al. (2014), a interferência também é consequência da disposição dos núcleos, ocorrendo de maneira mais considerável entre os adjacentes que possuem sinais ópticos sendo transmitidos na mesma frequência. Em EONs, essa peculiaridade ocorre em *slots* de mesma frequência central presentes em núcleos adjacentes. Para mitigar o efeito da interferência entre os núcleos, algumas alternativas são apresentadas na literatura: planejamento do espaçamento, disposição entre eles e o emprego de índices de refração distintos – MCFs heterogêneas (SARIDIS et al., 2015).

Embora o diâmetro de MCFs seja superior ao de fibras com um único núcleo (SARIDIS et al., 2015), a MCF é considerada uma das mais populares e eficientes formas para realização de SDM-EONs devido à sua capacidade de transmissão e de evitar a interferência indesejada que um sinal óptico pode causar em outro (ZHAO et al., 2017).

### 3 | SIMULADORES DE REDES ÓPTICAS SDM

A avaliação de desempenho, projeto, expansão e otimização de redes ópticas tem sido um desafio para os especialistas e pesquisadores (CAVALCANTE et al., 2017). Fatores como análise de disponibilidade, consumo de energia, custos de instalação e manutenção desses sistemas, os tornam extremamente complexos, não aptos a modelagens analíticas precisas, além de inviáveis de implementar em ambientes reais. A alternativa a tais implementações, em questões de realização de análise, testes e validação, é a simulação, a qual possibilita, de maneira viável, a elaboração de novos algoritmos para fins de pesquisa, análise e otimização de sistemas (COSTA et al., 2016).

Nesse contexto, Fujii et al. (2014) desenvolveram um simulador, cujo código não foi disponibilizado para acesso, usando a linguagem de programação C++, considerando o cenário de EONs-SDM. Propuseram também um novo método de alocação de núcleos e de espectro capaz de promover a redução de fatores como fragmentação e *crosstalk*, considerando fibras ópticas MCF.

Khodashenas et al. (2016) desenvolveram um simulador, cujo código também não foi disponibilizado para acesso, para analisar o cenário de redes ópticas WDM-SDM. Considerando tal cenário, avaliaram as vantagens provenientes do uso da tecnologia SDM para fins de alocação de espectro.

Liu et al. (2016) desenvolveram um simulador, cujo código não foi disponibilizado para acesso, por meio do MATLAB®, o qual foi empregado em cenários de redes ópticas WDM e WDM-SDM. Nesses cenários, avaliaram diversas topologias em termos de capacidade, utilização de recursos, probabilidade de bloqueio, custo e consumo de energia.

Oliveira et al. (2016, 2017, 2018 e 2019) utilizaram o simulador de código aberto chamado de FlexGridSim, desenvolvido na linguagem de programação Java, originalmente empregado no cenário de EONs (FlexGridSim, 2020), que foi estendido para análise de redes ópticas SDM. Em (2016), Oliveira et al. apresentaram um algoritmo com o objetivo de fornecer caminhos protegidos e independentes de falha (FIPP - *Failure-Independent Path Protecting*) no cenário de EONs-SDM. Em (2017), Oliveira et al. propuseram um algoritmo com a função de criar caminhos principais e de reserva (*backup*) de forma dinâmica, usando um esquema de *backup* compartilhado aplicado a redes ópticas SDM, considerando fibras ópticas MCF. Em (2018), Oliveira et al. apresentaram um algoritmo para proteção de caminhos ópticos (*lightpaths*) em EONs-SDM. Em (2019), Oliveira et al. propuseram um algoritmo que empregava roteamento com o mínimo de *crosstalk*, considerando agregação (*grooming*) de tráfego e sobreposição de espectro, a fim de aumentar a eficiência na utilização espectral em EONs-SDM, considerando proteção.

Sugihara et al. (2017) desenvolveram um simulador, cujo código não foi disponibilizado para acesso, na linguagem de programação C++, empregado no cenário de EONs-SDM. Os autores propuseram um algoritmo RSA para reduzir a fragmentação do espectro e controlar o nível de serviço de reserva imediata (IR - *Immediate Reservation*) e solicitações de reserva antecipada (AR - *Advance Reservation*), analisando o desempenho da rede em termos de probabilidade de bloqueio de largura de banda (BBP - *Bandwidth Blocking Probability*).

A tabela 1 apresenta o quadro resumo dos artigos disponíveis na literatura sobre simuladores de redes ópticas SDM descritos neste capítulo, bem como suas principais contribuições.

REFERÊNCIAS	SIMULADOR	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	CÓDIGO ABERTO	TIPO DE REDE	MULTINÚCLEO	TIPO DE TRÁFEGO	ALOCÇÃO DE ESPECTRO	ALOCÇÃO DE NÚCLEO	PENALIDADES FÍSICAS	PROTEÇÃO	RESTAURAÇÃO	ROTEAMENTO
Fujii et al. (2014)	ND*	C++	-	EON-SDM	X	Dinâmico	X	X	X	-	-	X
Khodashenas et al. (2016)	ND*	ND*	-	WDM-SDM	-	Dinâmico	X	-	-	-	-	X
Liu et al. (2016)	MATLAB®	MATLAB®	-	WDM e WDM-SDM	X	Dinâmico	X	X	X	-	-	X
Oliveira et al. (2016)	FlexGridSim	Java	X	EON-SDM	X	Dinâmico	X	X	X	X	X	X
Oliveira et al. (2017)	FlexGridSim	Java	X	EON-SDM	X	Dinâmico	X	X	X	X	X	X
Sugihara et al. (2017)	ND*	C++	-	EON-SDM	X	Dinâmico	X	-	-	-	-	X
Oliveira et al. (2018)	FlexGridSim	Java	X	EON-SDM	X	Dinâmico	X	X	X	X	X	X
Oliveira et al. (2019)	FlexGridSim	Java	X	EON-SDM	X	Dinâmico	X	X	X	X	X	X

\*ND – Não Disponível.

Tabela 1. Quadro resumo dos artigos disponíveis na literatura sobre simuladores de redes ópticas SDM descritos neste capítulo, bem como suas principais contribuições.

Fonte: Do próprio autor.

## 4 | CONCLUSÕES

A tecnologia EON-SDM pode ser uma resposta para atender às crescentes demandas de largura de banda dos últimos anos. No entanto, é necessário o investimento em ferramentas computacionais que possibilitem a implementação/manutenção/atualização de redes ópticas mais eficientes. Dessa forma, a contribuição deste capítulo foi de apresentar simuladores, bem como descrições de suas respectivas contribuições, no contexto de redes ópticas SDM. Com isso, percebeu-se que a maior parte dos trabalhos disponíveis na literatura, descritos neste capítulo, não disponibilizam o código de seus respectivos simuladores. Dos citados neste texto, apenas o FlexGridSim (FlexGridSim, 2020) possui

código aberto para a comunidade científica, escrito na linguagem de programação Java, mostrando-se um simulador interessante para pesquisas em redes EONs-SDM.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o desenvolvimento e aplicação de simuladores, voltados para atividades de ensino/pesquisa com disponibilização de seus respectivos códigos, para aprimoramento dos estudos relacionados com redes ópticas de alta capacidade.

## REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, M. A. et al. SimEON: an open-source elastic optical network simulator for academic and industrial purposes. **Photonic Network Communications**, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2017.

COSTA, L. R. et al. Ons: Simulador de eventos discretos para redes ópticas WDM/EON. **XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC). Sociedade Brasileira de Computação (SBC)**, 2016.

FlexGridSim. Flexible Grid Optical Network Simulator. Disponível em: <http://www.Irc.ic.unicamp.br/FlexGridSim/>. Acesso em: 14 de Janeiro de 2020.

FUJII, S. et al. On-demand spectrum and core allocation for reducing crosstalk in multicore fibers in elastic optical networks. **Journal of Optical Communications and Networking**, v. 6, n. 12, p. 1059-1071, 2014.

JINNO, M. et al. Concept and Enabling Technologies of Spectrum-Sliced. Elastic Optical Path Network (SLICE). **Communications and Photonics Conference and Exhibition**, Asia, 2-6 Novembro, 2009.

JINNO, M. et al. Introducing elasticity and adaptation into the optical domain toward more efficient and scalable optical transport networks. **Kaleidoscope: Beyond the Internet? - Innovations for Future Networks and Services**, ITU-T. p. 1-7. 13-15 Dezembro. 2010.

KHODASHENAS, P. S. et al. Comparison of spectral and spatial super-channel allocation schemes for SDM networks. **Journal of Lightwave Technology**, v. 34, n. 11, p. 2710-2716, 2016.

LIU, Y. et al. Comparison of SDM and WDM on direct and indirect optical data center networks. In: **European Conference on Optical Communication**. VDE, 2016. p. 1-3.

MOURA, P. M. et al. Routing, core and spectrum assignment based on connected component labelling for SDM optical networks. In: **IEEE International Conference on Communications (ICC)**. 2016. p. 1-6.

MUHAMMAD, A. et al. Resource allocation for space-division multiplexing: optical white box versus optical black box networking. **Journal of Lightwave Technology**, v. 33, n. 23, p. 4928-4941, 2015.

OLIVEIRA, H. M. N. S. et al. Algorithm for Protection of Space Division Multiplexing Elastic Optical Networks. In: **IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)**. 2016.

OLIVEIRA, H. M. N. S. et al. Algorithm for shared path for protection of space division multiplexing elastic optical networks. In: **IEEE International Conference on Communications (ICC)**. 2017. p. 1-6.

OLIVEIRA, H. M. N. S. et al. Spectrum Overlap and Traffic Grooming in P-Cycle Algorithm Protected SDM Optical Networks. In: **IEEE International Conference on Communications (ICC)**. 2018. p. 1-6.

OLIVEIRA, H. M. N. S. et al. Protection, routing, spectrum and core allocation in EONs-SDM for efficient spectrum utilization. In: **IEEE International Conference on Communications (ICC)**. 2019. p. 1-6.

SARIDIS, George M. et al. Survey and evaluation of space division multiplexing: From technologies to optical networks. **IEEE, Communications Surveys & Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2136-2156, 2015.

SIRACUSA, Domenico et al. Resource allocation policies in SDM optical networks. In: International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM). **IEEE**, 2015. p. 168-173.

SUGIHARA, S. et al. Dynamic resource allocation for immediate and advance reservation in space-division-multiplexing-based elastic optical networks. **Journal of Optical Communications and Networking**, v. 9, n. 3, p. 183-197, 2017.

YAN, B. et al. Actor-Critic-Based Resource Allocation for Multi-Modal Optical Networks. In: **IEEE Globecom Workshops**. 2018. p. 1-6.

YAO, Qiuyan et al. Core, mode, and spectrum assignment based on machine learning in space division multiplexing elastic optical networks. **IEEE Access**, v. 6, p. 15898-15907, 2018.

ZHANG, G. et al. A Survey on OFDM-Based Elastic Core Optical Networking. **IEEE, Communications Surveys & Tutorials**. v. PP, Issue 99, p. 1- 23, 2012.

ZHANG, L. et al. Enabling Technologies for Optical Data Center Networks: Spatial Division Multiplexing. **Journal of Lightwave Technology**, v. 38, n. 1, p. 18-30, 2020.

ZHAO, Y. et al. Multi-core virtual concatenation scheme considering inter-core crosstalk in spatial division multiplexing enabled elastic optical networks. **China Communications**, v. 14, n. 10, p. 108-117, 2017.

## 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