

# 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:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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>

# CAPÍTULO 3

## COMO ATENUAR EMI EM SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Data de aceite: 04/02/2021

Data de submissão: 18/12/2020

### Rogério Martins de Souza

Graduação de Engenharia Elétrica, Gestão Empresarial e Inteligência Intelectual, Gestão e Engenharia da Manutenção;

**RESUMO:** Nenhum estudo de implantação de sistemas automatizados, em qualquer empresa, pode ser devidamente efetuado sem se considerar as regras de aterramento, SPDA e Atenuação de EMI. Eles são, na verdade, os fatores mais importantes a serem examinados em um projeto bem definido e estruturado, trazendo seus benefícios na hora de um Startup e Comissionamento. Este artigo visa auxiliar os projetistas e instaladores de engenharia, a perceberem a qualidade de uma boa Equipotencialidade no início, no decorrer e no final de uma instalação onde o elemento final que será o instrumento instalado, estará com sua funcionalidade não comprometida. Com isto traremos alguns procedimentos, e vantagens de um aterramento bem sucedido.

**PALAVRAS - CHAVE:** Automação – Aterramento – Projetos de Engenharia – Interferência Eletromagnética – Compatibilidade Eletromagnética.

### HOW TO ATTENUATE EMI IN AUTOMATED SYSTEMS

**ABSTRACT:** No study of the implantation of automated systems, in any company, can be done properly without considering the grounding, SPDA and EMI Attenuation rules. They are, in fact, the most important factors to be examined in a well-defined and structured project, bringing their benefits at the time of a Startup and Commissioning. This article aims to help engineering designers and installers to realize the quality of a good Equipotentiality at the beginning, during and at the end of an installation where the final element that will be the instrument installed, will have its functionality not compromised. With this we will bring some procedures, and advantages of a successful grounding.

**KEYWORDS:** Automation, Grounding, Engineering Projects, Electromagnetic, Interference, Electromagnetic Compatibility

### 1 | INTRODUÇÃO

Com o presente trabalho, busca-se estabelecer critérios para que se alcance uma boa excelência em execução de aterramento. Com o aterramento, SPDA e Equipotencialização feito de maneira correta e dentro das normas, podemos atingir objetivos mais rápidos.

As principais funcionalidades do aterramento são: Proteger os usuários dos equipamentos contra choques elétricos; descarregar as cargas estáticas acumuladas nas carcaças das máquinas; melhorar o

funcionamento dos dispositivos evitando desarmes constantes.

Em sistemas de Instrumentação e Controle, destacamos alguns ruídos que nada mais é do que, correntes com fluxos desordenados, diferente da corrente elétrica que é o fluxo ordenado dos elétrons. Temos várias correntes indesejáveis que comprometem a integridade de uma instalação, que chamamos de “correntes parasitas”.

## 2 | FONTES GERADORES DE RUÍDOS E SEUS RISCOS

O ruído é Proveniente de correntes que não tem o fluxo de elétrons ordenados, os quais provocam fenômenos magnéticos que corrompem o sinal verdadeiro.

Citamos algumas fontes que provocaram estas correntes:

- A EMI (Interferência Eletromagnética);
- A RFI (Interferência de Rádio-Freqüência);
- Caminhos de fugas nos terminais de entradas dos equipamentos;
- Arcos;
- Frequências altas de chaveamento de Tiristores;
- Motores elétricos;
- Inversor de frequência;
- Energia Estática
- Estabilizadores de Tensão

Riscos:

- Desarme de Sistemas, tais como subestações e processos;
- Queima de equipamentos eletrônicos;
- Acidentes e danos materiais por causa dos efeitos e perturbação dos Ruídos;
- Não confiabilidade do sistema de Automação;
- Apagamento de Memórias RAM's nos CLP's do processo;



Fonte perturbadora(EMI)	Caminho de Acoplamento	Vítima
Alteração do roteamento de sinais	Aumente a separação	Alteração do roteamento de sinais
Adicione filtros locais	Blindagens	Adicione filtros locais
Seleção da frequência de operação	Reduza o número de interconexões	Seleção da frequência de operação
Sobreposição (Dithering)de frequências	Filtre interconexões	
Reduza o nível de sinal		

Tabela 1: Fontes Pertubadoras e Sua Vítima

### 3 | CONCEITO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO

Segundo a ABNT NBR 5419-1 / 2015, aterramento elétrico significa colocar instalações e equipamentos no mesmo Potencial, de tal forma que a diferença de potencial entre o terra e o equipamento seja o menor possível. Nele, a diferença de potencial é igual a zero.

#### Existem 3 funções básicas:

- Proteger o usuário do equipamento das descargas atmosféricas, através da viabilização de um caminho alternativo para a terra;
- Descarregar cargas estáticas acumuladas nas carcaças das máquinas ou equipamentos para a terra;
- Facilitar o funcionamento dos dispositivos de proteção.

### 4 | EQUIPOTENCIALIDADE

Superfície Equipotencial: uma superfície Equipotencial constitui uma região do campo elétrico em que todos os seus pontos apresentam o mesmo potencial, ver norma 5410/2004 – anexo G.

### 5 | PROBLEMAS COMUNS

Descrições relevantes que elevam o aumento do EMI no Startup de máquinas:

- **Falta de Malhas de aterramento entre as partes metálicas;**

Nas partes metálicas que não se tem contato direto, devem ser utilizados em suas divisórias uma “Jump” entre elas, onde no básico de instalações devemos manter a mesma Equipotencialidade.

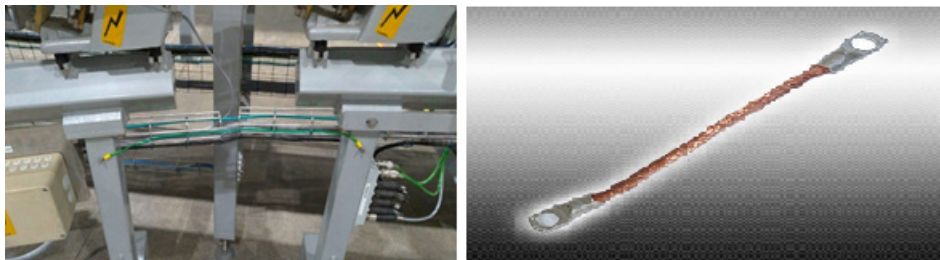


Figura 1: Parte Metálica de uma Máquina

Fonte: Próprio Autor (2019)

- **Aumento de tensão entre Neutro e Terra – Análise durante o Startup**

A tensão entre Neutro e Terra não deve chegar na ordem de  $> 1,5$  Volts, com o multímetro True RMS e no osciloscópio, onde não havendo estas observações, podem caracterizar que a instalação esteja parcialmente comprometida com induções eletromagnéticas, e este resultado pode ter somatórios de tensões parciais das máquinas, exemplo:

$$U_{tnM1} + U_{tnM2} + U_{tnM3} + U_{tnM} \dots n = U_{tn T}$$

**$U_{tnM}$  = Tensão entre Terra e Neutro de uma máquina**

**$U_{tnT}$  = Tensão Total entre Terra e Neutro**

- **O não uso de placas de montagem, prensa cabos com uso de normas EMC:**

Neste item é importante salientar que o técnico deve rever alguns conceitos sobre instalação de equipamentos que tenham partes com EMC. Foram verificados vários problemas em instalações onde não acreditamos que seria o padrão adequado para atenuar o EMI;

Por exemplo, o uso de Módulos inversores, drivers com acionamento PWM (*Pulse-Width Modulation*), que não estejam preparados para EMC, podem ser um dos grandes problemas e causadores de ruídos;

## 6 | RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Pontos a serem observados para correção:

- Checar o tipo de aterramento em que a planta foi projetada, Análise entre Neutro e Terra

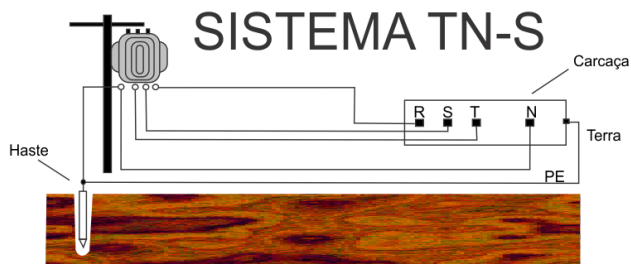


Figura 2: Sistema TN-S  
 Fonte: Paulo Brites Eletrônica

Verificar se no sistema da área fabril, está sendo usado o sistema TN-S, onde o Neutro e o Terra estão ligados no mesmo ponto na origem da alimentação, porém ligados com condutores diferentes até os equipamentos. Porém deve ser observado que algumas máquinas tem uma particularidade em relação ao sistema, onde por muitas vezes não é instalado um filtro na sua alimentação para isolar da rede a máquina, até porque ficaria inviável para o preço final do equipamento.

Caso for o Sistema em TN-S, embora este seja o mais usado e não apresentar o resultado de “zero Volt” entre Terra e Neutro, durante o funcionamento das máquinas. Podemos converter a ligação do **Terra e Neutro em um só ponto na Chegada da Máquina, aconselhável usar o sistema mais próximo que seria o TN-C-S, recomendo também que tenha uma haste de aterramento em 2,4 m, próximo a cada equipamento fazendo uma equipotencialização com o terra que vem da subestação e a máquina conforme figura abaixo:**

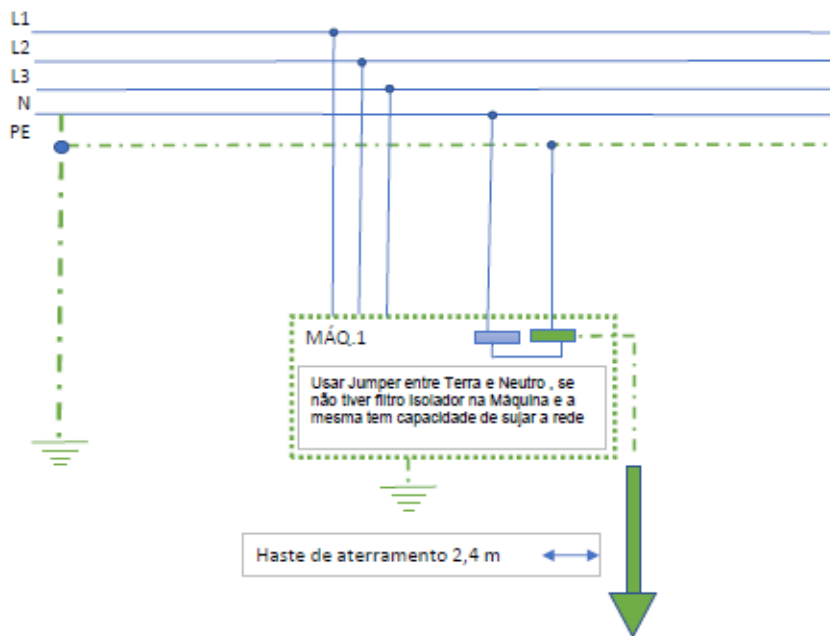


Figura 3: Sistema Sugerido pelo Autor – Próximo ao TN-C-S

Fonte: Autor

Durante o início do funcionamento de máquinas com drivers, inversores e servo drivers, pode-se notar com um Osciloscópio entre o Neutro e Terra, efeitos indesejáveis interferindo na rede. Estes drivers são acionados através do PWM (Modulação Por Largura de Pulso); e ao tempo em que eles entram em operacionalidade, seu controle coloca na rede uma sujidade onde chamamos de Harmônicas;

Alguns testes rápidos e discretos podemos fazer, detectando estas harmônicas; Com o apenas o manusear de um mouse de um notebook bem próximo a este campo, o mesmo trava o dispositivo, como também com o Multímetro em escala de frequência, onde com uma das ponteiros podemos passar próximo do campo enquanto a outra seguramos por trás do multímetro, iremos perceber uma frequência acima da nominal da rede. Durante uma instalação que esteja em momento de Startup ou em um momento de funcionamento a plena carga, e não se conhece uma real causa raiz na detecção de problemas proveniente causados pelas harmônicas; Recomendável fazer um acompanhamento com um osciloscópio ou uma analisador de energia que meça Harmônicas de Terceira Ordem;



Figura 4: Osciloscópio

Fonte: Próprio Autor

**Ligações de Drivers e Equipamentos:** As interligações no momento de montagem são procedimentos de suma importância e que muitas vezes são esquecidos pelos montadores técnicos. Sendo assim, venho ressaltar que a importância da funcionalidade de um equipamento é diretamente proporcional a sua interligação conforme normas do fabricante. Conexões longas do Shield, tipo “espiras” ou “Rabo de Porco” chegam a prejudicar a funcionalidade dos equipamentos, pois podem funcionar como “antenas”. Sendo assim, o ideal é ter no painel conectores do tipo “Clamp”. Mostramos alguns exemplos de Conexões de cabos shield, de maneira que estes venha a trazer um pouco mais de segurança no comissionamento e Startup.

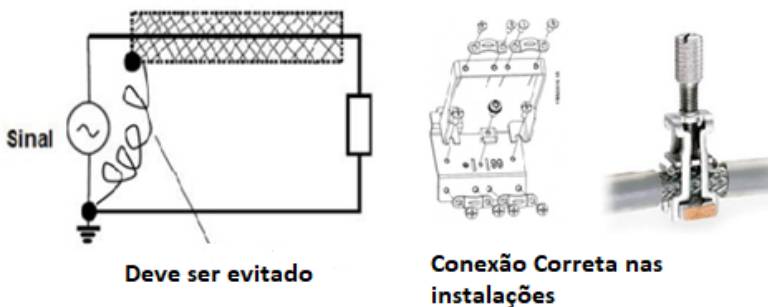


Figura 5: Clamp EMC – para ligação do Shield

Fonte: ICOTEK SMART CABLE MANAGEMENT





Figura 6: Prensa Cabo Skintop - para ligação de Motores e Instrumentos

Fonte: LAPP Brasil

Nota<sup>2</sup> : Os motores e sinais em um sistema com vários acionamentos com drivers devem ser devidamente instalados com cabos com blindagem de forma que não formem “antenas acidentais” tais como “Rabo de porco” , Lembrando que ainda hoje existem conceitos sobre conectar o shield de uma forma errônea que é juntar a sua malha e enrolar e conectar ao barra terra, desta forma ela se torna uma “Antena Acidental” A propagação de ondas eletromagnéticas e seus associados campos, são moldados pelas “antenas acidentais” formadas pelos caminhos de ida e volta da corrente e dos materiais dielétricos ao seu redor. A idéia é projetar caminhos que minimizam as “antenas acidentais”, reduzindo as emissões e aumentando a imunidade.

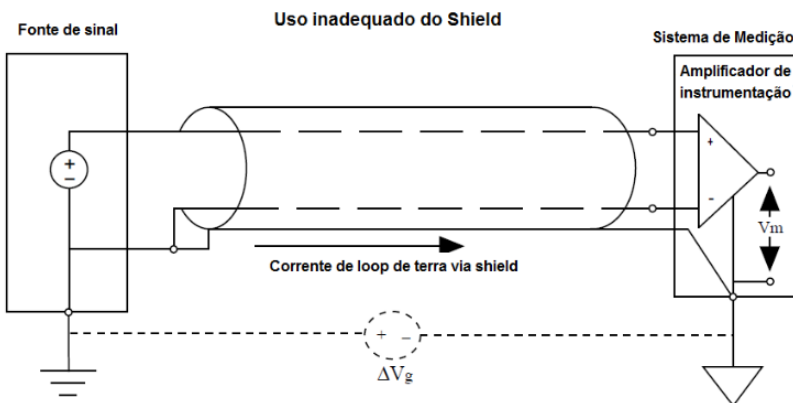


Figura 7: Uso inadequado do shield, aterramento em mais de um ponto

Fonte: Smar Automação Industrial

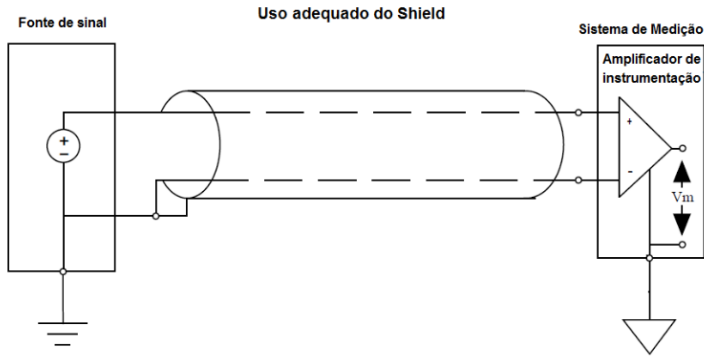


Figura 8: Uso adequado do shield aterrado em um único ponto  
 Fonte: Smar Automação Industrial

Na Figura 9, vemos um driver corretamente ligado, sabendo-se que alguns casos necessário também um filtro de linha na entrada de alimentação dos drivers , sejam inversores ; Servo Drivers ou módulos PWM.

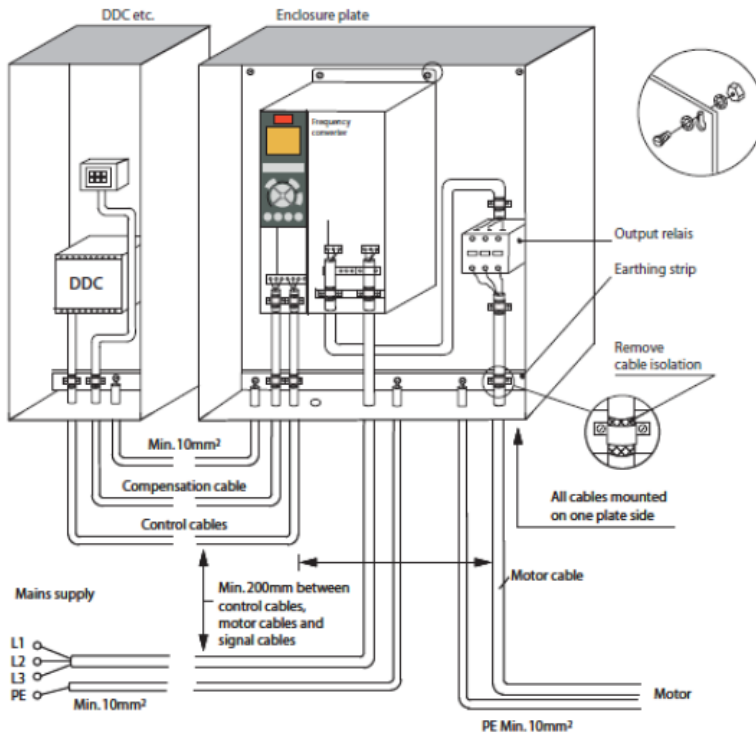


Figura 9: Instalação correta do EMC em um Driver  
 Fonte: Danfoss

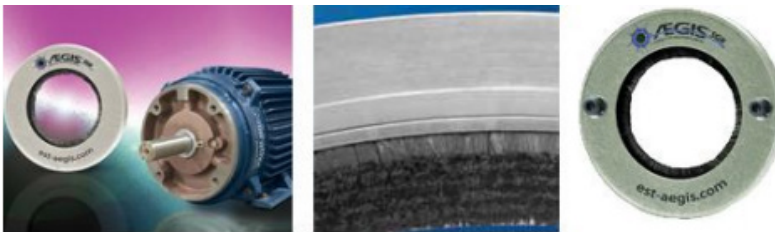


Figura 10 – Kits de Anéis da SKF evita passagem de corrente elétrica

Fonte: SKF Rolamentos

A figura acima mostra uma aplicação como uma escova de aterramento convencional, esta abordagem inovadora envolve o uso de um anel de microfibras condutoras, especialmente concebido para redirecionar a corrente do eixo e oferecer um caminho paralelo de baixa impedância, do eixo para a carcaça do motor, eliminando inteiramente a passagem de corrente pelos rolamentos;

É importante que o aterramento no ponto da carcaça dos Motores sejam realmente realizados.

Características e vantagens:

- Ajuda a evitar falha causada por passagem de corrente elétrica nos rolamentos;
- Projetado para ser facilmente adaptado aos motores elétricos existentes;
- Protege os rolamentos do motor e os rolamentos do equipamento fixado a ele;
- Projetado para dispensar manutenção, melhora a confiabilidade do sistema, ajudando a reduzir os custos de reparos no motor e tempo de parada não programada;
- Elimina as correntes prejudiciais;
- Projeto flexível com montagem por 3 ou 4 suportes - adapta-se virtualmente a qualquer motor IEC.

#### • **Infraestruturas e Encaminhamentos**

Nas infra de eletrocalhas e eletrodutos de cada sistema, os cabos de sinais devem ser lançados em separados dos de força, esta distância é interessante que seja igual ou superior a 200 mm entre as infra. Conseqüentemente os de força deveriam ser todos com blindagem para uma maior proteção contra ruídos, já que geralmente os painéis de força são bem próximos um do outro. Não esquecendo assim de aterrar também o trecho da eletrocalha da Origem CCMS até os Painéis de campo de pelo menos de 15 a 20 metros com um cabo de cobre Nú com uma bitola adequada para que a equipotencialidade do

sistema esteja dentro do padrão. Se possível Separar o cabo de Neutro e o Terra das fases R,S,T, do QGT até o destino final.

Certifique-se que todo o equipamento , estrutura metálica, tenha seu ponto de conexão com o SPDA da fábrica, conforme NBR 5419 1;2;3;4. Para ser mais conservador na parte de produção cada máquina deverá na sua base um cabo de cobre nú surgindo da malha estrutura. do SPDA ou de uma haste enterrada , para ser conectado na carcaça do equipamento, quando o mesmo estiver instalado.

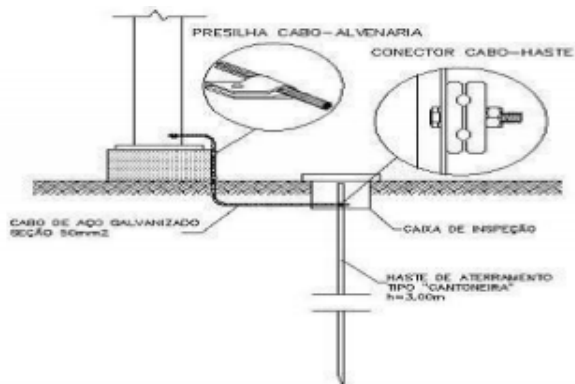
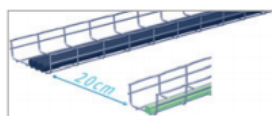


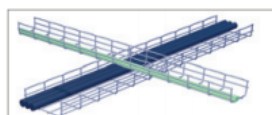
Figura 10: Exemplos de Conexão por uma Haste na base do equipamento



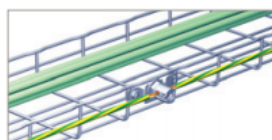
Lembre-se da importância de manter cabos de dados e de energia separados\*. (Norma EN 50174-2)



Conecte as partes metálicas à rede de aterramento (a cada 15-20 metros).



Assegure-se que cabos de energia e dados cruzem em ângulos retos.



Assegure-se que a continuidade elétrica está preservada.

Figura 11: Exemplos de encaminhamentos de Leitos

Fonte: Elegrand

As Infra de cabos de Rede também devem seguir o mesmo padrão de distância separados com calha fechada ou eletroduto galvanizado e de preferência que sejam em uma posição Perpendicular aos de força, mantendo uma distância de pelo menos 200 mm, minimizando ou até anulando assim o campo magnético provocado pela tensão que neles passam.

De acordo com a **Norma EN 50174-2** especifica a distância que deve ser mantida entre os cabos. Isto depende do tipo de cabo de dados e o número de cabos de energia e do tipo de eletrocalha a ser usada. Caso contrário a distância de 20 cm (200 milímetros) pode ser usado como referência.

- **Especificação do Condutor Neutro**

De acordo com o anexo F da norma NBR 5410, a seção do condutor neutro nestas condições pode ser determinada através dos dados da fator de correção e corrente do neutro, onde  $I_N$  é a corrente no condutor neutro considerando a presença das harmônicas de 3ª ordem e suas múltiplas,  $f_h$  é um fator obtido (Tabela F.1 da NBR 5410) e  $I_B$  é a corrente de projeto no condutor de fase (incluindo todas as harmônicas)

A norma faz uma observação que é muito útil na prática e que resulta num dimensionamento a favor da segurança: na falta de estimativa mais precisa da taxa de 3ª harmônica, recomenda-se a adoção dos maiores fatores da tabela, ou seja, 1,73 e 1,41, respectivamente, para circuitos trifásicos e com duas fases.

Taxa de terceira harmônica	$f_h$	
	Circuito trifásico com neutro	Circuito com duas fases e neutro
33% a 35%	1,15	1,15
36% a 40%	1,19	1,19
41% a 45%	1,24	1,23
46% a 50%	1,35	1,27
51% a 55%	1,45	1,30
56% a 60%	1,55	1,34
61% a 65%	1,64	1,38
≥ 66%	1,73	1,41

Figura 12: Exemplos de Cálculo do Condutor Neutro para Sistemas que Contenham Harmônicas

Fonte: NBR5410/2004

Para calcular a THD Circuito trifásico com neutro, segue-se:

$I_1$  = valor eficaz da componente fundamental ou componente 60 Hz.

$I_i + I_j + \dots + I_n$  = valores eficazes das componentes harmônicas de ordem  $i, j, \dots, n$  presentes na corrente de fase e  $f_h$  é o fator multiplicativo em função da taxa de terceira harmônica.

$$I_n = f_h \times I_B$$
$$I_B = \sqrt{I_1^2 + I_i^2 + I_j^2 + \dots + I_n^2}$$

THD = 52% (Distorção Harmônica de Tensão)

Entrando com 52% na tabela  $f_h = 1,45$

Então,  $I_N = f_h I_B$ , se a corrente do condutor Neutro em situação com ausência de Harmônica seria 40 A. Considerando uma instalação com presença de Harmônica, podemos aplicar o Fator de 1,45.

$I_N = f_h \cdot I_B \rightarrow I_N = 1,45 \cdot 40 = 58 \text{ A}$

## 71 CONCLUSÕES

Este artigo trouxe uma análise sobre o tema “**Como Atenuar EMI em sistemas automatizados**”, suas abordagens, estruturas, ferramentas, seus benefícios sobre decisões quanto a investimento em equipamentos e suas respectivas instalações e seus comissionamentos em fábricas que existem muita geração de Harmônicas.

## REFERÊNCIAS

*Dicas de blindagem e aterramento em Automação Industrial. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/noticias/conteudo/aterramento-blindagem-ruídos-e-dicas-de-instalacao>>, acesso em 20 de set. 2019.*

*Interferência Eletromagnética. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/emi-interferencia-eletromagnetica-em-instalacoes-industriais-e-muito-mais>>, acesso em 24 de set. 2019.*

*Encaminhamento e Organização de Cabos. Disponível em:*

*<[https://www.legrand.com.br/sites/default/files/perfil/guia\\_elm.pdf](https://www.legrand.com.br/sites/default/files/perfil/guia_elm.pdf)>, acesso em 28 de Fev. 2020.*

*Kit de Anéis da SKF evita corrente elétrica. Disponível em:*

*< <https://www.skf.com/br/news-and-media/news-search/2013-01-04-kit-de-aneis-da-skf- evita-passagem-de-corrente-eletrica.html> >, acesso em 28 de Fev. 2020.*

*Prensa Cabos Skintop Brasil . Disponível em :*

*<<https://lappbrasil.lappgroup.com/online-catalogo/prensa-cabos/prensa-cabos-skintop-de-aco-inoxidavel-metricos/standard/skintop-inox-sc.html>>, acesso em 28 de Fev. 2020.*

EMC Cable Clamps. Disponível em:

< <https://www.icotek.com/en/product-catalogue/emc-cable-clamps/>>, acesso em 29 de Fev. 2020.

Tipos de Aterramento. Disponível em: < <https://www.cursonr10.com/aterramento-tn>>, acesso em 29 de Fev. 2020.

Exemplos de Cálculo do Condutor Neutro para Sistemas que Contenham Harmônicas em < <http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/guia-nbr-5410-fasciculo-46/dimensionamento-do-condutor-neutro/tabela1-13/>>

## 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