

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia elétrica: desenvolvimento e inovação tecnológica

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: desenvolvimento e inovação tecnológica / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-773-4
DOI 10.22533/at.ed.734212202

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

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

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

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

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

Boa leitura

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7342122021

CAPÍTULO 2..... 13

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

Pedro Henrique Camargos
Ricardo Elias Caetano
Marcel Fernando da Costa Parentoni

DOI 10.22533/at.ed.7342122022

CAPÍTULO 3..... 25

COMO ATENUAR EMI EM SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Rogério Martins de Souza

DOI 10.22533/at.ed.7342122023

CAPÍTULO 4..... 39

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

Manuel Arturo Rendón Maldonado
André Reinaldo Novgorodcev Júnior

DOI 10.22533/at.ed.7342122024

CAPÍTULO 5..... 54

PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE LINHAS - UMA ABORDAGEM USANDO SAMPLED VALUES

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

DOI 10.22533/at.ed.7342122025

CAPÍTULO 6..... 71

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

Lívy Wana Duarte de Souza Nascimento
Lilian de Fátima Costa Santos

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

DOI 10.22533/at.ed.7342122026

CAPÍTULO 7..... 83

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7342122027

CAPÍTULO 8..... 97

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7342122028

CAPÍTULO 9..... 112

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

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

DOI 10.22533/at.ed.7342122029

CAPÍTULO 10..... 126

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

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

DOI 10.22533/at.ed.73421220210

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

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

DOI 10.22533/at.ed.73421220216

CAPÍTULO 17.....224

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

Luciano de Oliveira Daniel
Sergio Luis Varricchio

DOI 10.22533/at.ed.73421220217

CAPÍTULO 18.....240

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

Sergio Luis Varricchio
Cristiano de Oliveira Costa

DOI 10.22533/at.ed.73421220218

CAPÍTULO 19.....256

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

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

DOI 10.22533/at.ed.73421220219

CAPÍTULO 20.....264

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

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

DOI 10.22533/at.ed.73421220220

CAPÍTULO 21.....277

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

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

DOI 10.22533/at.ed.73421220221

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

CAPÍTULO 16

ESTUDO COMPLEMENTAR DO USO DE UMA FONTE RESSONANTE PARA TESTES EXPERIMENTAIS DE FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA EM NÍVEIS DE MÉDIA TENSÃO

Data de aceite: 04/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Murillo Augusto Melo Cordeiro

Universidade Federal do Pará - Grupo de
Sistemas de Energia e Inovação
Belém - Pará

Juan Carlos Huaquisaca Paye

Universidade Federal do Pará - Grupo de
Sistemas de Energia e Inovação
Belém - Pará

André Pinto Leão

Universidade Federal do Pará - Centro de
Eficiência Energética da Amazônia
Belém - Pará

Maria Emília Lima Tostes

Universidade Federal do Pará - Centro de
Eficiência Energética da Amazônia
Belém - Pará

Lucas de Paula Assunção Pinheiro

Equatorial Energia
Belém - Pará

João Paulo Abreu Vieira

Universidade Federal do Pará - Grupo de
Sistemas de Energia e Inovação
Belém - Pará

Ubiratan Holanda Bezerra

Universidade Federal do Pará - Centro de
Eficiência Energética da Amazônia
Belém - Pará

Marcelo Costa Santos

Equatorial Energia
Belém - Pará

Ádrea Lima de Sousa

Universidade Federal do Pará - Grupo de
Sistemas de Energia e Inovação
Belém - Pará

Wesley Rodrigues Heringer

Universidade Federal do Pará - Grupo de
Sistemas de Energia e Inovação
Belém - Pará

RESUMO: A falta de alta impedância (FAI) ocorre pelo contato de um cabo energizado em alta tensão e uma superfície de alta impedância, que produz uma corrente de baixa magnitude, mas pode causar vários danos e até mortes de seres humanos. Este trabalho apresenta conclusões sobre a possibilidade de registro de oscilografias de FAI simuladas em uma Fonte Ressonante.

PALAVRAS - CHAVE: Falta de alta impedância; Corrente de baixa magnitude; Fonte Ressonante.

COMPLEMENTARY STUDY OF THE USE OF A RESONANT SOURCE FOR EXPERIMENTAL TESTS OF HIGH IMPEDANCE FAULTS AT MEDIUM VOLTAGE LEVES

ABSTRACT: The high impedance fault (HIF) occurs through the contact of an energized cable at high voltage and a high impedance surface, which produces a low magnitude current, but can cause various damages and even deaths of

human beings. This paper presents conclusions about the possibility of recording simulated HIF oscillographs in a Resonant Source.

KEYWORDS: High impedance fault; Low magnitude current; Resonant Source.

1 | INTRODUÇÃO

Os sistemas de distribuição de energia são passivos da ocorrência de diversas falhas, sendo a falta de alta impedância (FAI) é uma das que causa constante de preocupação e pesquisa, principalmente em redes de distribuição aéreas. A FAI acontece quando há o contato de um condutor energizado do circuito da rede primária com uma superfície de alta resistência elétrica como árvore, asfalto, concreto, etc., podendo expor a população ao risco de choque elétrico, comprometer o fornecimento do sistema, causar graves danos em florestas e até a morte de seres vivos. Este problema ocorre tipicamente em redes aéreas de distribuição rurais, devido predominantemente à topologia radial, com alimentadores de grande extensão e que cruzam longos trechos desabitados (Santos et al, 2013).

São dois os tipos de FAI, a ativa e a passiva. Uma FAI passiva é caracterizada pela inexistência de arco elétrico, quando o condutor não fornece nenhuma indicação da presença de energia, sendo mais difícil sua detecção, mas algumas soluções são propostas na literatura (Balser et al, 1986; Monsef et al, 1997; Jota and Jota, 1998). A FAI ativa, por sua vez, registra a presença de um arco elétrico no fim do cabo partido (Aucoin and Jones, 1996) e para estas diversas técnicas de detecção são encontradas na literatura (Sultan et al, 1994; Russell and Chtnchali, 1989; Mamishev et al, 1996; Emanuel and Gulachenski, 1990; Kwon et al, 1991; Kim and Russel, 1988; Sheng and Rovnyak, 2004; Lai et al, 1991; Masa et al, 2012).

A detecção e localização de uma FAI são importantes problemas de proteção e ainda não resolvidos, especialmente em redes de média tensão (MT) de estrutura mista com linhas aéreas e multiaterradas. Identificar uma FAI em redes de distribuição de média tensão (MT) não é corriqueiro, já que a corrente é muito baixa, por vezes menor que a corrente de carga do alimentador, a depender da rede e do seu tipo de aterramento (Michalik et al, 2006). Buscando a diminuição na duração das interrupções e dos custos ocasionados pelas FAI, as distribuidoras do setor elétrico têm investido no desenvolvimento de soluções que automatizem a restauração de energia, sendo relevante, para este propósito, terem uma descrição detalhada do evento que possibilite realizar um diagnóstico. No contexto de sistemas de energia elétrica, isso se traduz na execução de estágios de detecção, classificação e localização do evento. Em termos de estado da arte, este é um tópico recente e de importância crescente (Chan and Yibin, 1998; Lazkano et al, 2000; Moreto, 2005; Yang et al, 2000).

A impossibilidade do comprometimento de índices relevantes de qualidade que as distribuidoras precisam atender, a exemplo do DEC e FEC (ANEEL, 2018), os impactos

causados pela ocorrência de FAI nas redes de distribuição e os riscos envolvidos nas operações com condutores vivos de altas tensões, são fatores complicadores da reprodução deste evento na rede real para estudos mais detalhados das suas características de corrente e tensão. A realização de testes experimentais de FAI requer a mobilização de consideráveis recursos humanos e materiais, justificando os poucos de trabalhos práticos (Santos et al, 2013; Emanuel and Gulachenski, 1990; Carpenter et al, 2005; Masa et al, 2012), se comparados aos estudos feitos por simulação computacional (Santos, 2016; Santos et al, 2017; Balser et al, 1986; Jota, 1996; Jota and Jota, 1998; Michalik et al, 2006; Kwon et al, 1991; Sheng and Rovnyak, 2004; Lai et al, 1991; Chan and Yibin, 1998; Lazkano et al, 2000; Moreto,2005; Yang et al, 2000).

Este artigo apresenta os resultados de estudos complementares de testes experimentais de FAI usando uma fonte ressonante, aplicando níveis de tensão, compatíveis a níveis de tensão operativa de redes de distribuição, sobre objetos de alta resistência elétrica. Nas experiências foram aprofundados os estudos das condições técnicas da fonte ressonante, quanto a sua capacidade de reproduzir as principais características conhecida da FAI (Santos et al, 2013), tendo em vista que o tripé de estudo de uma FAI – alta tensão, alta impedância e baixa corrente – já foi confirmado em testes realizados com a FR (Leão et al,2019). O estudo verificou a possibilidade de registro das oscilografias das correntes da FAI produzidas pela FR através da utilização de equipamentos externos a mesma, pois o terminal de controle da FR não oferece esta opção e a obtenção destas formas de ondas serem determinantes para a continuidade do seu uso neste estudos com este tipo de falta.

2 | FALTA DE ALTA IMPEDÂNCIA

A FAI em redes de distribuição de energia elétrica é uma falha comum e ocorre quando um condutor energizado da rede primária, rompido ou não, faz contato elétrico com uma superfície de alta resistência elétrica como asfalto, areia, galho de árvore, etc. Geralmente acontece em sistemas de distribuição com tensões de 4 kV até 34,5 kV e devido à alta impedância da superfície, a corrente elétrica de falta possui uma baixa amplitude, variando de 0 A até menos de 100 A (Hou. 2007, Nakagomi. 2006, Tengdin, J. et al. 1996). Contudo, Cordeiro *et al.* (2019) mostra oscilografias reais de FAI na qual o pico de corrente chega a 200 A. Em FAI ocorridas em alimentadores de MT, é comum a existência de arcos elétricos com características específicas como comprimentos de apenas centímetros, correntes abaixo de uma centena de ampères, impedâncias predominantemente resistivas e superfícies de contato não homogêneas. A Tabela 1 mostra valores típicos de corrente de falta em sistema de 12,5 kV para diferentes materiais.

Superfícies	Correntes (A)
Asfalto seco ou areia seca	0
Areia molhada	15
Gramma seca	25
Gramma Molhada	50
Concreto armado	75

Tabela 1. Valores típicos de corrente de falta em sistema de 12,5 kV para diferentes materiais

Fonte: Adaptado Tengdin, 1996.

A reduzida magnitude e o comportamento transitório da corrente de FAI a tornam semelhante a eventos transitórios típicos de redes de distribuição, como chaveamentos de cargas e banco de capacitores, sendo tais similaridades um complicador na sua detecção (Masa et al, 2012). Os sistemas de proteção de sobrecorrente convencionais como fusíveis, religadores e relés, não são sensibilizados por corrente de magnitudes tão baixas, ocasionando a permanência do defeito no sistema de distribuição por tempo indeterminado (Adamiak et al., 2006, Nakagomi. 2006, Santos et al. 2013). Quando o contato ou queda do condutor ocorre em via pública, ou em construções, pode provocar queimaduras, eletrocussão e até morte de seres vivos, além de poder causar aquecimento e a combustão de materiais, devido ao alto potencial elétrico (Nakagomi. 2006, Tengdin. 1996). A ocorrência destes eventos prejudica a imagem da concessionária e impacta nos seus indicadores de qualidade (Farias, 2017), havendo ainda fundamentos jurídicos que apontam a responsabilidade parcial ou integral das concessionárias em decorrência dos danos causados por FAI, sendo a justiça brasileira propensa a condenar as concessionárias julgadas a pagarem multas indenizatórias às vítimas desses casos (Nakagomi. 2006).

Mesmo possuindo similaridades com eventos transitórios típicos de redes de distribuição, a corrente de FAI possui características próprias que a distingue de outras falhas, principalmente devido ao arco elétrico (Nakagomi. 2006, Nam et al. 2001, EPRI. 1982).

Estas características são listas a seguir e ilustradas na figura 1:

- **Não linearidade:** A curva característica da tensão em função da corrente é não linear;
- **Assimetria:** A corrente de falta possui diferentes valores de pico para o semiciclo positivo e negativo;
- **Intermitência:** Interrupção momentânea da corrente;
- **Buildup:** Variação progressiva da corrente a cada semiciclo;
- **Shoulder:** Instantes de constância entre o buildup.

A ocorrência destas características, contudo, depende das condições geométricas, espaciais, ambientais e elétricas do sistema. Como consequência, as grandezas elétricas envolvidas nessa falha possuem comportamento aleatório (Kaufmann e Page. 1960).

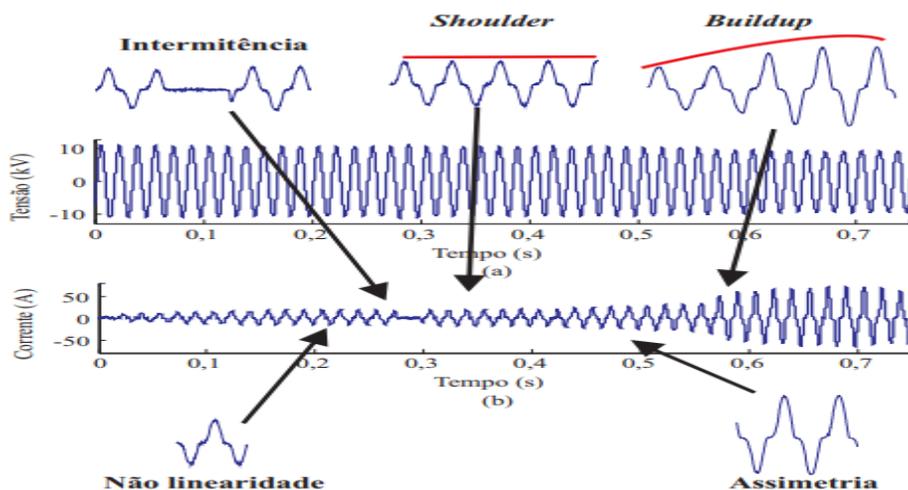


Fig. 1 Oscilografia real de uma FAI: (a) tensão sem afundamentos (b) corrente de FAI contendo as principais características. Fonte: Nam et al. (2001)

3 I A FONTE RESSONANTE DO LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

A fonte ressonante (FR) é normalmente utilizada para testes de capacitância realizados em transformadores, buchas, cabos, etc., onde é aplicado o princípio da ressonância na frequência nominal (60Hz) para obtenção altas tensões sobre os dispositivos em teste. Um esquema simplificado típico de um teste de ressonância em série é apresentado na figura 2 (a). O autotransformador variável T_1 controla a excitação do transformador T_2 , o qual fornece tensão para o circuito ressonante e isola da linha o objeto em teste. O capacitor C representa a capacitância do objeto que está sendo testado e há outra capacitância em paralelo como divisor de tensão. O indutor L representa o reator variável, o qual tem sua reatância ajustada para coincidir com a impedância capacitiva de C , fazendo com que o circuito entre em ressonância. O circuito equivalente para o sistema série ressonante, assumindo que o transformador de excitação não apresenta perdas, é visto na figura 2 (b), neste circuito todas demais perdas entre os componentes reativos e capacitivos são representadas pela resistência em série R .

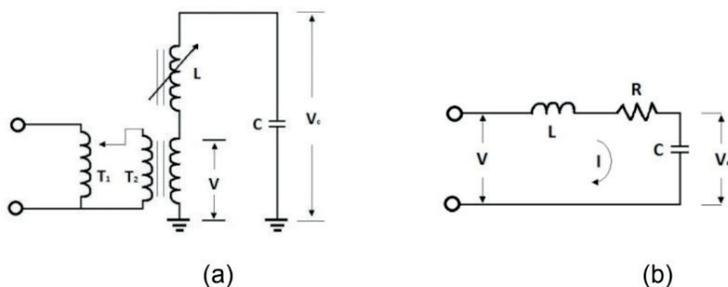


Fig. 2 – (a) Esquema simplificado de um Teste Série b) Circuito Equivalente da FR.

Quando o circuito está em operação e entra em ressonância, a reatância indutiva torna-se igual à reatância capacitiva ($X_L=X_C$), de onde se pode deduzir que $Q = \omega L/R = 1/\omega RC$, sendo o parâmetro Q chamado de Fator de Qualidade do circuito ressonante, o qual fica na faixa de 50 a 80 para cargas com altos valores capacitivos. Na ressonância, a corrente (I) observada no circuito está em fase com a tensão do transformador, pois as tensões sobre o reator e o capacitor se anulam e a tensão aplicada sobre a resistência é igual a tensão da Fonte (V). O Laboratório de Alta Tensão (LEAT) da Universidade Federal do Pará (UFPA) possui uma Fonte Série Ressonante Hipotronics – Modelo MSR800-8M0-131AF, cujas características dos reatores e do transformador de excitação são apresentadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tensão	400 kV
Corrente	10 A
Potência	400 kVA
Faixa de Variação	3.3nF – 66.3nF @ 60Hz
Excitação Máxima de Tensão	30 kV
Diâmetro do Anel contra Corona	3045mm 119.9 in.
Nível do Óleo	82,45 mm abaixo da referência @25° C
Refrigeração	ONAN – 01 hora máxima, 50% ciclo de trabalho

Tabela 2. Características Elétricas Individuais Dos Reatores da Fonte Ressonante.

Modelo	EXC30-300-3135-1
Faixas de Entrada	0-3135 V @ 0-96 A
Faixas de Saída Tap 1	30 kV, 300kVA, 10 A
Tap 2	20 kV, 200kVA, 10 A
Tap 3	10 kV, 300kVA, 30 A
Tipo	Transformador à óleo/ Secundário Variável
Comprimento	1238 mm
Largura	1334 mm
Altura	1153 mm
Peso	1675 kg
Volume de Óleo	550 litros
Refrigeração	ONAN

Tabela 3. Características do Transformador de Excitação

Duas perspectivas da FR podem ser observadas na figura 03 (a) e (b), onde são identificadas os seus componentes.

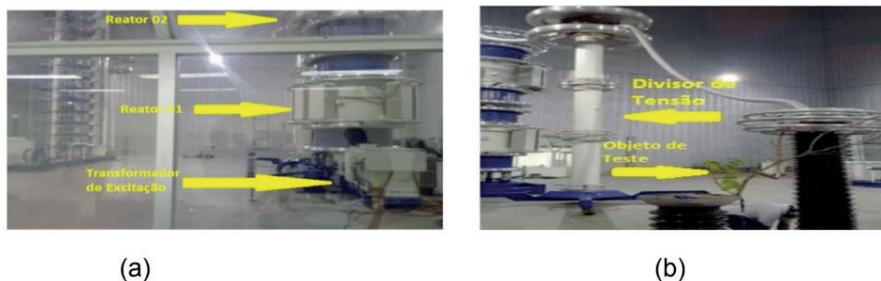


Fig. 3 – Fonte Ressonante do LEAT a) De dentro da sala de Operação b) Na área de testes.

A configuração atual da FR utiliza a associação em série dos dois módulos de reatores, a qual possibilita que sejam realizados testes com aplicações de tensões até 800 kV, correntes máximas de 10 A e Potência nominal de 8000 kVA. Nestas condições, para a frequência de 60 Hz, a faixa de sintonia do reator equivalente fica entre 1,7 e 33,2 nF, podendo ser testados objetos com capacitâncias variando entre 0 e 28,2 nF.

O controle da FR é realizado através do seu Terminal de Operação OT248, cuja imagem é apresentada na figura 4. Nele é possível estabelecer os limites de tensão a serem aplicados no objeto de teste, podendo variar de 0 kV até os respectivos valores máximos de TAP ou condições do circuito. Pode-se ainda definir previamente o tempo de duração do teste e o modo de operação “Auto Tuning”, opção na qual o controle do sistema busca ajustar automaticamente o circuito para operar em ressonância. Diversos testes que podem ser realizados na FR e várias são as funções disponíveis através do Terminal OP248, contudo, não existe neste terminal, nem em outro dispositivo da FR o registro das oscilografias das tensões e correntes verificadas do circuito, nem a possibilidade de obtenção desses dados através de saídas dedicadas para esta finalidade. Devido a esta limitação, inicialmente foram realizados testes usando apenas os recursos originalmente disponíveis (Leão et al, 2019). Os testes de FAI na FR visando o registro das oscilografias por equipamentos externos são mostrados neste artigo.



Fig. 4 – Terminal de Operação OT248 da Fonte Ressonante.

Fonte: Leão,2019

4 | CARACTERÍSTICAS DE FAI OBTIDAS EM TESTES EXPERIMENTAIS COM A FR

Em testes experimentais de FAI na FR com um galho de árvore (Leão et al,2019), foram impostos ao galho diversos níveis de tensão, sendo obtidas correntes de baixa magnitude como as da Tabela 4. O valor de tensão alcançando foi superior a 8 kV (Fase-Neutro), correspondente a 13,8 kV em tensão de linha, nível comumente utilizado nas redes de distribuição, ficando a corrente sempre abaixo 1A. A estrutura física usada para os testes pode ser vista a figura 3. Para garantir que apenas a impedância do galho estaria em prova, foi aterrada a base do galho (figura 5), fornecendo um caminho único para a corrente. O artigo ressalta que apesar da pequena magnitude da corrente produzida, quando comparada às correntes de eventos como uma falta franca, ela queimou o caminho por onde passou.

Seq.	Tensão (kV)	Corrente (mA)
1	0,937	84,28
2	1,93	337,2
3	2,73	513,8
4	5,8	517,8
5	8,49	939,3

Tabela 4. Tensões x Correntes em galho de árvore.



Fig. 5 – Galho aterrado em testes de FAI na Fonte Ressonante. Fonte: Leão,2019

É informado que quando a tensão atingiu 8,49 kV o circuito estava em ressonância e a corrente de saída registrada era de 939,3mA, nesta condição, as reatâncias capacitivas e indutivas se anularam, restando apenas as resistências. Como a resistência elétrica do galho de árvore é muito maior que a resistência série do circuito equivalente “R” da figura 2 (b), é possível desprezá-la, estimando pela Lei de OHM a resistência do galho em aproximadamente 9,03 kΩ. Isto confirmou que a falta esta ocorrendo em uma superfície de alta impedância. Os testes também comprovaram que a FR pode ser utilizada para impor inúmeros valores de alta tensão a objetos de prova e quando estas superfícies possuem impedâncias elevadas, as correntes são muito baixas, características relevantes de uma FAI (Michalik et al,2006).

Em outros testes de FAI na FR com uma prova de concreto, foi realizada a elevação gradual da tensão e acompanhado o crescimento da corrente, conforme a Tabela 5. Neles ocorreram o arco elétrico visto na figura 6 (a), tendo seu início em uma tensão inferior a 8 kV, ficando mais intenso com a elevação da mesma, havendo vitrificação na superfície do concreto (figura 6 b) quando a tensão atingiu valores superiores a 17 kV.

Ordem	Tensão (Kv)	Corrente (mA)	Ordem	Tensão (Kv)	Corrente (mA)
1	1,82	12,04	11	9,94	505,8
2	4,87	12,04	12	14,26	698,4
3	6,17	24,08	13	10,94	855
4	7,92	72,25	14	18,93	855
5	8,19	144,5	15	20,41	855
6	9,59	204,7	16	14,36	867
7	10	252,9	17	14,50	867
8	13,12	313,1	18	19,45	891
9	14,11	397,4	19	14,12	903,1
10	13,02	445,6	20	17,35	903,1

Tabela 5. Tensões x Correntes de FAI na FR em prova de concreto.

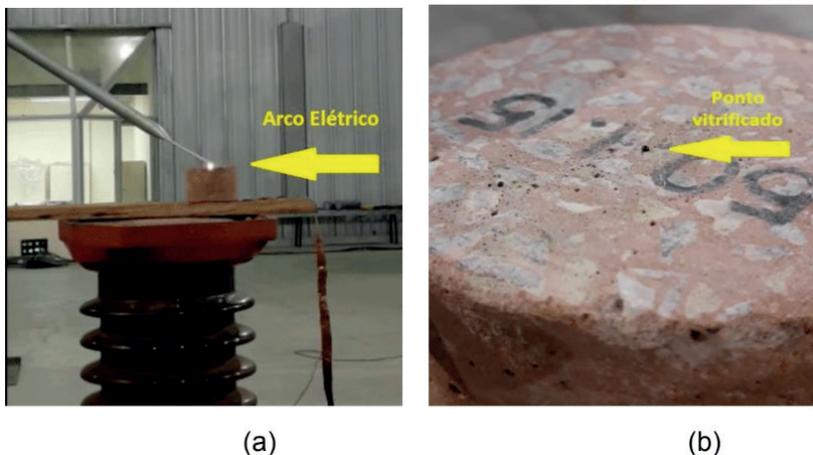


Fig. 6 – Testes de FAI na FR em prova de concreto. a) Ocorrência de arco elétrico b) Vitrificação na superfície do bloco. Fonte: Leão, 2019.

5 I TESTES VISANDO O REGISTRO DAS OSCILOGRAFIAS DE FAI NA FR

As principais características da FAI apresentadas na figura 1 estão ligadas as formas de onda da corrente, por esta razão, o registro destas oscilografias durante a realização dos testes experimentais de FAI com a FR são indispensáveis. O conhecimento do comportamento real destas grandezas permite levantar as curvas características da FAI, sendo o registro dessas oscilografias ser inédito para muitas superfícies (Santos et al,2013, Masa et al,2012). A correta obtenção destas informações também possibilitará a criação de um banco de dados, a ser usado em estudos para identificação de assinaturas elétricas únicas da FAI em cada uma das diferentes superfícies que virão a ser testadas.

Visando o registro das oscilografias dos testes experimentais de FAI realizados na FR por equipamentos externos, já que este não é um recurso do Terminal de Operação OT248, buscou-se a utilização de equipamentos capazes de captura dos dados dos eventos em estudo, estando disponível para esta finalidade um Analisador de Qualidade de Energia. Verificou-se, contudo, que devido aos elevados níveis de tensão e corrente aplicados pela FR, era indispensável à utilização de transformadores para proteção deste equipamento, visando permitir a medição e o registro das oscilografias desejadas.

O equipamento analisador de qualidade de energia utilizado consiste em um HIOKI modelo PW3198-90 (figura 7a), que além de poder registrar oscilografias simultâneas de três (03) fases distintas e o neutro, é capaz de medir harmônicos, interharmônicos, supra-harmônicos, transitórios, correntes de *inrush*, oscilações, afundamentos e elevações de tensão. O analisador consiste em um equipamento Classe A de acordo com a IEC 61000-4-30 e Classe I de acordo com a IEC 61000-4-7. O funcionamento do equipamento descrito consiste na definição de níveis máximos para os distúrbios de QEE mencionados.

Dessa forma, caso o analisador detecte alguma violação desses limites na medição efetuada, um evento será então armazenado dentro de uma janela de análise e sob uma determinada frequência de amostragem. Após a detecção do evento, o analisador permite que os dados sejam coletados e posteriormente analisados no *software* do equipamento ou outro *software* que forneça informação adicional em relação às características do sinal.

O analisador possui uma tensão máxima suportável de 600 V AC, o que tornou necessária a utilização do TP (Tabela 6) para medição de Tensão. A medição de corrente é realizada através de um sensor tipo garra amperimétrica, estando disponível o modelo HK-9694 (figura 7 b), cuja faixa de corrente é de 50A/5A, com precisão de 1A, e sua a máxima tensão nominal a terra é de 300 V AC, cujas características são vista na Tabela 7.

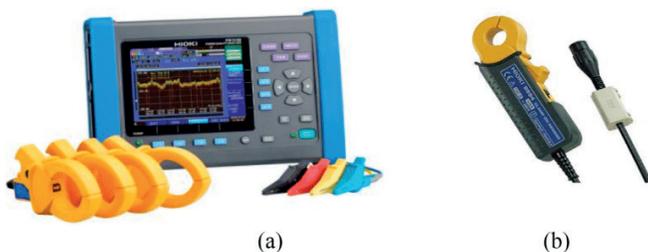


Fig. 7 – (a) Analisador de QEE Hioky PW3198-90. (b) Garra Amperimétrica HK-9694. Fonte: Hioky, 2020 a e b.

TP	01	TC	01
Fabricante	ISOLET	Fabricante	Borteng
Classe de exatidão	0,5P200	Classe de exatidão	0,3C50
Tensão máxima	15 KV	Tensão máxima	15 KV
Frequência	60	Frequência	60 HZ
Tensão primária	13,8 KV	Corrente primário	100 A
Tensão secundária	115 V	Corrente Secundário	5 A
Potência térmica	400 VA	Uso	Externo
Grupo de ligação	1	-	-

Tabela 6. Características do TP e do TC

Corrente de Medição Nominal 5A AC	Máxima Corrente de Medição 50 A (45 to 66 Hz)
Características da amplitude de frequência Dentro $\pm 1\%$ at 40 Hz - 5 kHz (Desvio da precisão de amplitude)	Temperatura e umidade de operação 0°C até 50°C (32°F até 122°F), 80% RH ou menor (sem condensação)
Taxa de Saída 10 mV AC/A	Precisão de Amplitude $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.02\%$ f.s.
Diâmetro mensurável do condutor ϕ 15 mm (0.59 in) ou menor	Máxima Tensão Nominal a Terra 300 V AC rms ou menor
Precisão de Fase $\pm 2^\circ$ (45 Hz to 5 kHz) RE	Dimensões e massa 46 mm (1.81 in)W \times 135 mm (5.31 in)H \times 21 mm (0.83 in)D, 230 g (8.1 oz) Comprimento do Cabo 3 m (9.84 ft), Terminal de saída: BNC

Tabela 7. Características do Sensor HK-9694

Para garantir a integridade do analisador, tendo em vista sua capacidade de isolamento e as tensões aplicadas nos ensaios, apesar da corrente máxima fornecida pela FR na configuração estabelecida ser de 10 A, decidiu-se por utilizar o TC (Tabela 6) em série com o “cabo rompido” do teste, garantindo um nível de tensão suportável pelo sensor de corrente. Importa observar que tanto o TP quanto o TC foram cedidos pela Equatorial Pará.

A estrutura de testes foi montada com o TP em paralelo ao divisor capacitivo e o TC em série como cabo rompido, conforme a figura 8 (a) e (b), sendo os seus terminais secundários utilizados como acesso para o Analisador Hioky visando o registro das oscilografias da tensão e corrente.

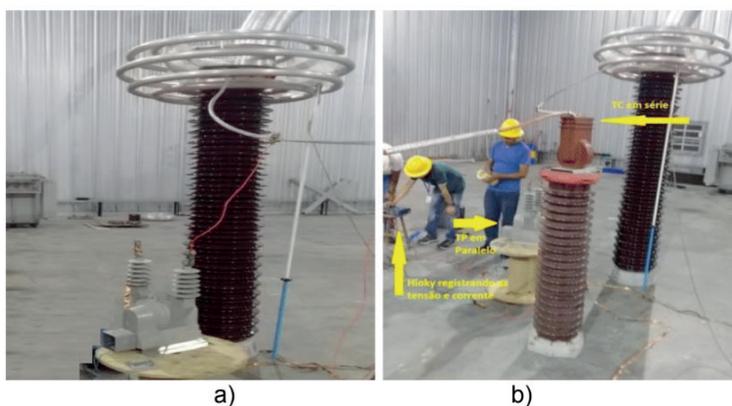


Fig. 8 – (a) Circuito de teste com TP em paralelo. (b) Circuito de teste TC em série e o Hioky.
Fonte: Autor.

Os testes foram realizados na mesma prova de concreto já utilizado nos testes anteriores (figura 6), mas a tensão foi limitada em 15kV, por ser esta tensão máxima suportável pelos transformadores de medição, sendo o objetivo verificar se o analisador seria capaz de registrar as formas de onda da tensão e da corrente da FAI produzida pela FR e então comparar as características das formas de onda da tensão e da corrente obtidas com as presentes na literatura. Porém, os registros feitos pelo Hioky, a exemplo da oscilografia vista na figura 9 com a tensão na parte superior e a corrente na inferior, forneceram detalhes somente para a forma de onda da tensão, ficando os valores das correntes sem qualquer informação útil.

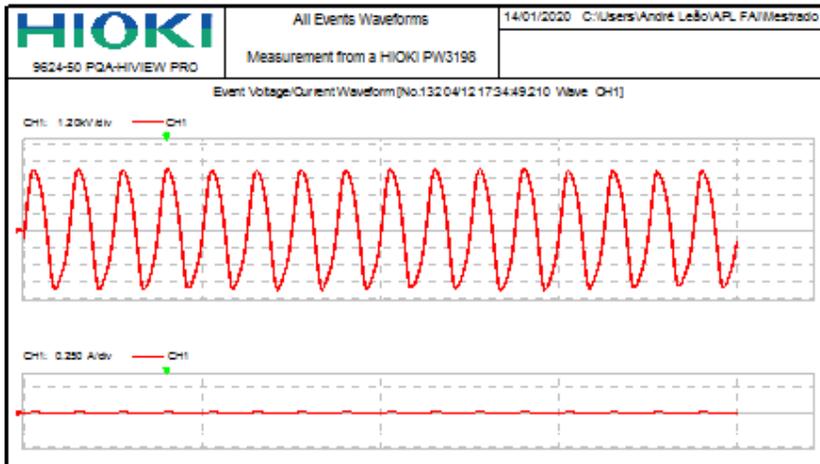


Fig. 9 – Oscilografias da tensão e corrente registradas pelo Analisador Hioky da FAI produzida pela FR sobre bloco de concreto no circuito de teste com TP, TC.

Fonte: Autor.

Analisando os testes realizados anteriormente (Tabela 5), quando a tensão atingiu 14,12 kV a corrente registrada foi de apenas 903,1mA, logo, considerando a relação de transformação do TC utilizado (100:5), a corrente disponível no secundário do TC seria de apenas 45mA, muito abaixo da sensibilidade do sensor de corrente utilizado. A tensão máxima registrada na prova de concreto nestes testes não ultrapassou 5 kV, tendo ficado acima de 17 kV em testes anteriores.

Para verificar a influência que cada um dos transformadores de medição utilizados, estes equipamentos foram testados individualmente com a FR, onde foi constatado que a presença do TP, paralelamente ao divisor capacitivo, em nada comprometeu a operação, mas a inserção do TC em série, impactou na impedância equivalente do circuito e consequentemente na sua condição de ressonância, reduzindo os níveis das tensões que FR poderia atingir, as quais são essenciais para testes experimentais de FAI. A figura 10 ilustra o novo circuito equivalente da FR, agora com o TC em série, sendo L_{TC} a indutância do TC.

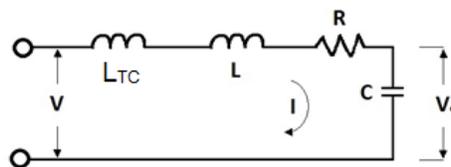


Fig. 10 – Circuito Equivalente com TC em série.

Fonte: Autor.

Os testes com o analisador Hioky demonstraram que apesar deste equipamento ter condições técnicas de registrar as formas de onda das tensões e correntes de uma FAI, se ela for produzida através da FR, será indispensável o uso de transformador de corrente para a adequação dos níveis de tensão aos suportáveis pelo analisador, porém isto compromete a ressonância da Fonte e a capacidade de registro da corrente pelo analisador, considerando que os valores de correntes nos terminais secundários do TC ficaram muito abaixo da capacidade de medição do sensor de corrente utilizado. Ressalta-se que o registro das características da forma de onda das correntes é essencial para o estudo da FAI.

6 | CONCLUSÃO

A FR apresenta condições de simular parcialmente as características conhecidas da FAI, contudo, seu equipamento de operação não faz o registro das oscilografias das correntes do circuito. Sendo esta uma prioridade no estudo da FAI, foi necessário o uso de dispositivo externo, sendo obrigatória a inserção em série de TC, o que comprometeu a ressonância do circuito, os níveis de tensão aplicáveis pela mesma, reduziu significativamente a magnitude da já pequena corrente de FAI e impossibilitou o registro das características específicas dessa corrente. Pelas razões citadas, fica desqualificado o uso da FR para testes experimentais de FAI.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa só foi possível devido ao aporte financeiro da CAPES e da parceria com o Grupo Equatorial, através do P&D ANEEL, sem os quais a mesma não seria possível.

REFERÊNCIAS

Adamiak, M. et al. **High impedance fault detection on distribution feeders**. Protection & Control Journal, Ontario, p. 25-31, abr. 2006.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico – PRODIST - Módulo 8**, Versão 2018.

Aucoin, B.M., and Jones, R.H.: **High impedance fault detection implementation issues**, IEEE Trans. Power Delivery, 1996, 11, (1), pp. 139-148.

Balsler, J., Clements, K.A., and Lawrence, D.J.: **'A microcomputer-based technique for detection of high impedance faults'**, IEEE Trans. Power Delivery, 1986, 1, (2), pp. 252-258

Carpenter, M. , Hoad, R. R., Bruton, T. D. , Das, R., Kunsman, S. A. and Peterson, J. M. **"Staged-fault testing for high impedance fault data collection,"** 58th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2005., College Station, TX, USA, 2005, pp. 9-17.

Chan, D. T. W. and Yibin, X. (1998). **A novel technique for high impedance fault identification.** *IEEE Transactions on Power Delivery*, 13(3), 738–744.

Cordeiro, M. A. M., Heringer, W.R., Paye, J. C. H., Viera, J. P. A., Sousa, A. L., Leão, A. P., Farias, P. E., Wontroba, A., Júnior, G. Cardoso e Santos, M. C.. (2019) **Validation of a high impedance fault model for overhead distribution networks using real oscillography data.** In: LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE, 13, Santiago.

Emanuel, A. E. and Gulachenski E. M. “**High impedance fault arcing on sandy soil in 15 kV distribution feeders: Contribution to the evaluation of the low frequency spectrum,**” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 5, no. 2, pp. 676–686, Apr. 1990.

Farias, P. E. **Método para Estimação da Distância de Falhas de Alta Impedância em Redes de Distribuição de Energia Elétrica Considerando Diferentes Tipos de Solo.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

Hioky, 2020 a. **Analizador de Qualidade de Energia PW3198**, disponível em: https://www.hioki.com/en/products/detail/?product_key=6503

Hioky, 2020 b. **Garra Amperimétrica HK-9694**, disponível em: https://www.hioki.com/en/products/detail/?product_key=5626

Jeerings, D. I., & Linders, J. R. (1989). **Ground resistance - revisited.** *IEEE Transactions on Power Delivery*, 4(2), 949–956.

Jota, F.G., Jota, P.R.S., “**High-impedance fault identification using a Fuzzy reasoning system**”. *IEEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution*, vol. 145, no. 06, pp. 656-661, 1998.

Kim, C.-J. and Russell B. D. “**Harmonic behaviour during arcing faults on power distribution feeders,**” *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 14, pp. 219–225, 1988.

Kwon, W. H., Lee, G. W., Park, Y. M., Yoon, M. C. and Yoo, M. H. “**High impedance fault detection utilizing incremental variance of normalized even order harmonic power,**” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 6, no. 2, Apr. 1991.

Lazkano, A., Ruiz, J., Aramendi, E., & Leturiondo, L. A. (2000). **A new approach to high impedance fault detection using wavelet packet analysis.** Harmonics and quality of power, 2000. In *Proceedings of Ninth International Conference* (Vol.3, pp. 1005–1010).

Lai, T. M., Snider, A., Lo, E. and Sutanto, D. “**High impedance fault detection using discrete wavelet transform and frequency range and RMS conversion,**” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, no. 1, pp. 397–407, Jan. 2005.

Leão, A. P., Tostes, M. E. L., Vieira, J. P. A., Bezerra, U. H., Cordeiro, M. A. M., Heringer, W.R., Paye, J. C. H. e Santos, M. C. **Use of a Resonant Source for Experimental Tests of High Impedance Faults at Medium Voltage Levels.** In: Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE, 13, 2019, Santiago.

Mamshiev, A.V., Russel, B.D., and Benner, C.L.: **Analysis of high impedance faults using fractal techniques,** *IEEE Trans. Power Systems*, 1996, 11, (1), pp. 435-440

- Masa, A. V., Maun, J. C., Werben, s. (2012). **Incorporation of data-mining in protection technology for high impedance fault detection**. IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, California, EEUU. 2012.
- Monsef, H., Ranjbar, A.M. and Jadid, S. **Fuzzv rule- based expert system for a power system fault diagnosis**; *IEEE Proc. Gem Transm. Distrib.*, 1997, 144, (2), pp. 186-192
- Michalik, M., Rebizant, W., Lukowicz, M., Lee, S.-J. and Kang, S.-H.. **High impedance fault detection in distribution networks with use of wavelet based algorithm**, *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 21, no. 4, pp. 1793–1802, Oct. 2006.
- Moreto, M. (2005). **High impedance faults location in power distribution systems: a methodology based on artificial neural networks**. Master's thesis. Federal University of Rio Grande do Sul. (in Portuguese).
- Nakagomi, R. **Proposição de um sistema para simulação de faltas de alta impedância em redes de distribuição**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- Nam, S. R., Park, J. K., Kang, Y. C.; Kim, T. H. **A modeling method of a high impedance fault a distribution system using two series time-varying resistances in emtp**. IEEE PES Summer Meeting, 2001.
- Russell, B.D. and Chntchali, R.P.: **A signal processing algorithm for detecting arcing faults on power distribution feeders**, *IEEE Trans. Power Delivery*, 1989, 4, (I), pp. 132-140.
- Santos, W., Souza, B., Brito, N. D., Costa, F., and Paes Jr., M. (2016). **High impedance faults: From field tests to modeling**, *J. Control, Autom. Elect. Syst.*, vol. 24, no. 6, Sep.2013.
- Santos, W (2016). **Identificação de faltas de alta impedância em sistemas de distribuição**. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.
- Santos, W. C., Lopes, F. V., Brito, N. S. D. and Souza, B. A. **High-Impedance Fault Identification on Distribution Networks**, in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 23-32, Feb. 2017.
- Sheng, Y. and Rovnyak, S. M., **Decision tree-based methodology for high impedance fault detection**, *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 19, no. 2, pp. 533–536, Apr. 2004.
- Sultan, A.F., Swift, G.W., and Fedirchuk, D.J.: **Detection of arcing downed-wires using fault current flicker and half-cycle asymmetry**, *IEEE Trans. Power Delivery*, 1994, 9, (I),pp. 461470
- Yang, M. T., Guan, J. L., & Gu, J. C. (2007). **High impedance faults detection technique based on wavelet transform**. *International Journal of Electrical, Computer, and Systems Engineering*, 1(3), 143–147.
- Yu, D. C. & Khan, S. H. (1994). **An adaptive high and low impedance fault detection method**. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 9(4), 1812–1821.

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