

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. Lilians 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

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

Data de aceite: 04/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Álvaro Ribeiro Gomes de Oliveira

Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Uberaba - MG
<http://lattes.cnpq.br/4853550152987596>

Arnaldo José Pereira Rosentino Júnior

Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Uberaba - MG
<http://lattes.cnpq.br/5190070034823798>

Nivaldo Leite da Silva Júnior

Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Uberaba - MG
<http://lattes.cnpq.br/8280783070116436>

RESUMO: O monitoramento de subestações de distribuição, onde se encontram cargas de alta relevância, é fundamental para garantir sua operação de forma confiável, eficiente e segura. Este estudo propõe analisar o consumo de energia do hospital de clínicas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro através de medição nos principais transformadores de distribuição da subestação. A partir dos resultados de medição, tem-se a criação de um banco de dados de referência para monitoramento contínuo. Além disso, da condição de operação dos transformadores, permite-se avaliar a confiabilidade e qualidade no fornecimento de energia, bem como identificar pontos de atenção, propondo-se melhorias da instalação. Considerando o cenário de pandemia causada

pelo coronavírus (Covid-19), este estudo torna-se ainda mais relevante.

PALAVRAS - CHAVE: Consumo de Energia; Complexo Hospitalar; Medição; Subestação; Transformador.

ENERGY CONSUMPTION EVALUATION IN THE HOSPITAL OF CLINICS OF FEDERAL UNIVERSITY OF TRIÂNGULO MINEIRO

ABSTRACT: The evaluation of distribution substation, where is installed important loads, is essential to guarantee a reliable, efficient and safe operation of electrical system. In this context, this work aims to analyze the energy consumption of clinical hospital of Federal University of Triângulo Mineiro by measuring the energy of the main distribution transformers of electrical substation. From the measurement results a reference database is built for continuous analysis. Besides, the condition of transformers operation is verified. Thus, it is possible to evaluate the reliability and power quality, and it is identified the main issues for the proposal of installation improvements. Taking the pandemic caused by coronavirus (Covid-19), this work is even more important.

KEYWORDS: Energy Consumption; Hospital Complex; Measurement; Substation; Transformer.

1 | INTRODUÇÃO

O monitoramento do consumo de energia permite conhecer a quantidade de energia utilizada, seu custo imediato e impacto ambiental, e ainda desperta uma cultura de

conscientização de consumo. Adicionalmente, medição e monitoramento representa um importante papel para suportar decisões de substituição e manutenção de equipamentos, e seleção de tarifa apropriada. (BANDARRA et al., 2016)

Conforme Gordo et al. (2011) e Sarikprueck et al. (2017), as construções hospitalares se destacam como grandes consumidores de energia. Dessa forma, é necessária uma gestão de consumo eficaz para a implementação de medidas de segurança, confiabilidade e eficiência energética.

A ANEEL identifica no Módulo 1 - Introdução do PRODIST a definição de serviço essencial, no qual enquadra-se os hospitais, cujas contingências na rede elétrica representam altos riscos à segurança pública ou pessoal. (ANEEL, 2016)

Considerando a importância da continuidade e do gerenciamento do fornecimento de energia em um complexo hospitalar assim como da capacidade dos transformadores de alimentar as cargas de toda instalação, este artigo objetiva apresentar uma análise de consumo do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) a partir da medição de energia dos principais transformadores da Subestação (SE), permitindo-se identificar medidas que possibilitarão aprimorar a confiabilidade e qualidade do sistema elétrico. Além disso, este trabalho contribui para criação de um banco de dados de referência para monitoramento contínuo. Para Prudenzi et al. (2009), a disponibilidade de perfis de carga permite identificar estratégias efetivas de gerenciamento de carga e energia em um hospital, bem como ineficiências funcionais ou operacionais na carga elétrica que possam ser mitigadas de forma eficaz com intervenções de manutenção preventiva.

Considerando, o cenário de pandemia causado pelo coronavírus (Covid-19), impondo desafios de saúde pública, e impactando no segmento de distribuição de energia, Castro et al. (2020), estudos de confiabilidade em complexos essenciais, como os hospitalares, tornam ainda mais relevantes.

2 | METODOLOGIA

O Hospital de Clínicas da UFTM, localizado em Uberaba-MG, é um hospital universitário, onde além de atendimento, realizam-se atividades de ensino e pesquisa. Seu atendimento abrange 27 municípios que compõem a macrorregião Triângulo Sul do Estado de Minas Gerais. Responde por 73% de toda média e alta complexidade da macrorregião e por 100% da alta complexidade na mesma área, com exceção do tratamento de câncer. Quanto à estrutura, possui mais de 302 leitos ativos dispostos em uma área de 26.000 m², distribuídos entre ambientes de internação, ambulatorios, pronto-socorro e serviços de diagnóstico e tratamentos especializados. (Hospital de Clínicas UFTM, 2019)

Para análise de consumo de energia do complexo hospitalar, inicialmente efetuou-se uma análise do diagrama unifilar a fim de observar a configuração em que estão dispostos os transformadores e as especificações dos dispositivos elétricos.

2.1 Diagrama Unifilar

O sistema proposto é representado através da Fig. 1 por um diagrama unifilar simplificado. As medições foram propostas nos transformadores T1 a T4, localizados na SE principal do hospital. Uma segunda SE abriga os transformadores T5 e T6, os quais não foram objetos de estudo. Por possuírem demanda menor que os outros transformadores, implicam em pouca influência nos resultados.

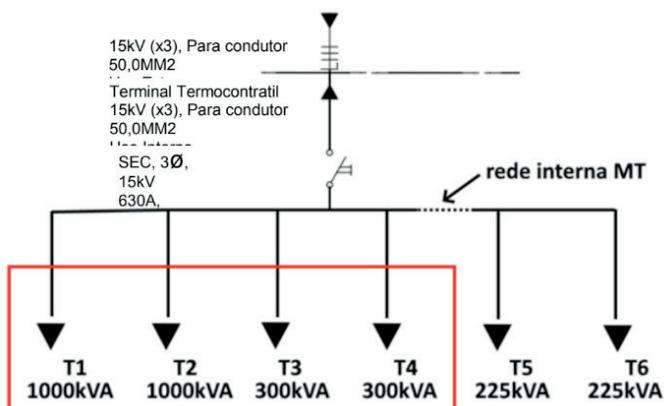


Figura 1 - Diagrama Unifilar Simplificado

Fonte: Dos autores, 2020

As Fig. 2 e 3 apresentam respectivamente os diagramas relacionados aos transformadores T1 e T2, e transformadores T3 e T4. A partir das mesmas pode ser identificado o nível de tensão da SE, 13,8 kV, as respectivas conexões de cada transformador, bem como os níveis de tensão na baixa tensão.

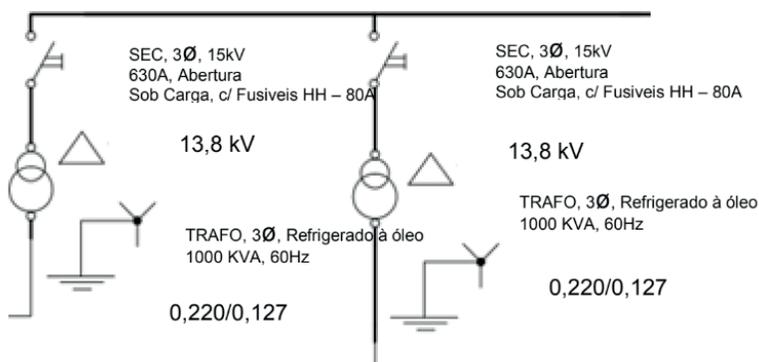


Figura 2 - Diagrama unifilar com Transformadores T1 e T2

Fonte: Dos autores, 2020

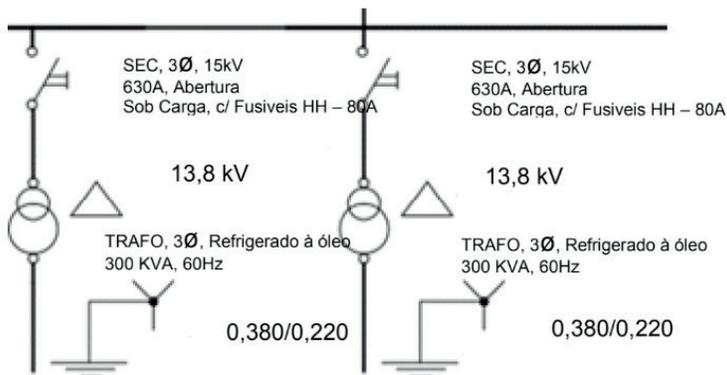


Figura 3 - Diagrama unifilar com Transformadores T3 e T4

Fonte: Dos autores, 2020

2.2 Equipamento de Medição

Para efetuar as medições, foi utilizado o dispositivo registrador da FLUKE® modelo 1735 *Power Logger*, o qual possui funções que efetuam análises de tensão, corrente e potência, distorção harmônica e variação de tensão de curta duração.

2.2.1 Instalação do registrador

A conexão do dispositivo à rede deve variar conforme a sua configuração. Levando em conta que as medições deveriam ocorrer no secundário dos transformadores, e que todos exibiam um arranjo Δ -Y (Fig. 2 e 3), as ligações foram efetuadas conforme indicado na Fig. 4. (FLUKE, 2016)

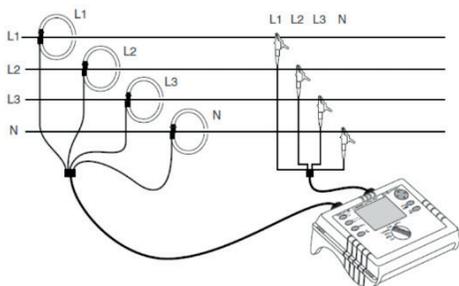


Figura 4 - Conexão medidor em rede trifásica Y

Fonte: FLUKE, 2016

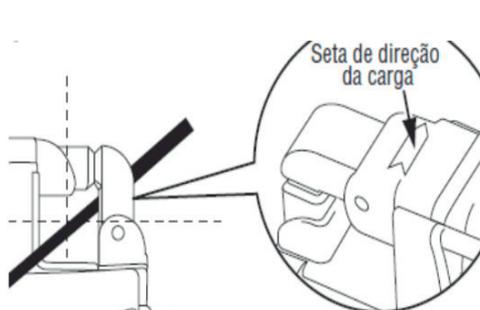


Figura 5 - Conexão entre sonda de corrente e linha

Fonte: FLUKE, 2016

Visando determinar corretamente os sinais de tensão e corrente, conforme Fig. 4, os grampos de tensão L1, L2 e L3 são conectados às fases L1, L2 e L3 (ou A/R, B/S, C/T) nessa ordem, tendo um quarto grampo conectado ao barramento de neutro (N). Já as sondas de corrente, além da ordem de conexão, devem ser posicionadas de forma que a seta esteja na direção da carga, conforme indicado na Fig. 5.

2.2.2 Condições de Análise

O software utilizado para a análise dos dados coletados foi o Power Log Classic 4.6, o qual permite analisar a demanda de potências ativas, aparente e reativa, dentro de valores médios, máximos e mínimos no intervalo de medição, estipulado num período de coleta a cada 15 minutos durante 24h.

Os dados coletados foram dispostos em quatro etapas de medições, transformadores T1, T2, T3 e T4, estendendo-se por 24h cada uma, em dias da semana. As medições correspondem ao mês de outubro de 2019, um dos períodos mais quentes do ano.

Os autores destacam que o ideal seria uma campanha de mediação com um conjunto maior de dados. Todavia, em trabalho anterior, apresentado em Mendes (2018), identificou-se um perfil padrão da carga durante a semana, conforme pode ser identificado pela Fig. 6, a qual corresponde à energia ativa do transformador T2 da SE, realizada ao final de setembro, ou seja, período similar às medições aqui contempladas. Observe que nos finais de semana, por haver menos paciente e menos contingente do setor administrativo, a demanda é menor. Portanto, as janelas de 24h aqui apresentadas, e compreendidas em dias da semana, refletem de forma satisfatória a característica de fornecimento da SE e aos propósitos deste trabalho.

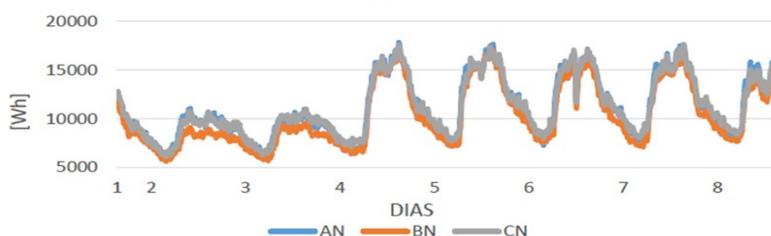


Figura 6 - Energia ativa: Transformador T2

Fonte: Dos autores, 2020

3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

As medições foram separadas em valores totais de consumo nos transformadores por fase. As tensões médias, mínimas e máximas nas fases dos transformadores também

foram analisadas, visando identificar possíveis variações na tensão da rede.

3.1 Transformador T1 De 1000KVA

Assim como detalhado anteriormente, o equipamento de medição foi instalado no transformador T1, conforme destaca a Fig. 7. A conexão no barramento referente aos demais transformadores é similar, e consequentemente não será apresentada.



Figura 7 - Conexão do medidor no barramento secundário de T1

Fonte: Dos autores, 2020

Da análise de potência aparente, a Fig. 8 apresenta os gráficos de demanda mínima, média e máxima, bem como o fator de potência médio do transformador sob estudo.

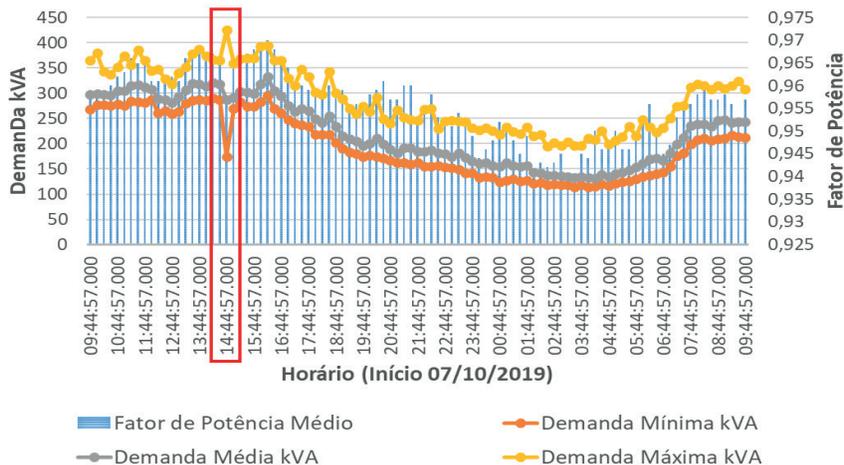


Figura 8 - Potência aparente do Transformador T1 – 1000KVA

Fonte: Dos autores, 2020

Nota-se que durante a medição, o transformador operou com potência máxima de 425 kVA, não atingindo metade da sua potência nominal de 1000kVA. Destacado em vermelho na Fig. 8, identificou-se uma demanda média total de 287,413 kVA, máxima de 425,075 kVA, e mínima de 174,654 KVA. A partir da Fig. 9, onde destaca-se a demanda média por fase, nota-se uma distribuição equilibrada de carga.

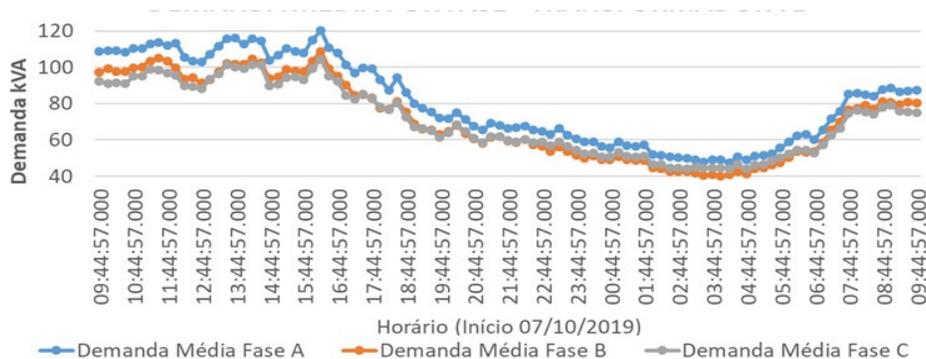


Figura 9 - Demanda média por fase Transformador T1

Fonte: Dos autores, 2020

Tendo em vista a variação atípica do valor mínimo de potência, destacado em vermelho na Fig. 8, decidiu-se analisar os gráficos de tensão e corrente, Fig. 10 e 11, respectivamente. Tomando-se a fase A, identifica-se uma tensão mínima de valor aproximado igual a 71V, e corrente máxima de aproximadamente 1,4 kA. Ou seja, verifica-se que no intervalo dos 15 minutos de medição, houve uma queda brusca na tensão fornecida pelo transformador e conseqüentemente, durante a recomposição da tensão nominal, as cargas indutivas (compressores ou motores) ocasionaram um pico de corrente.

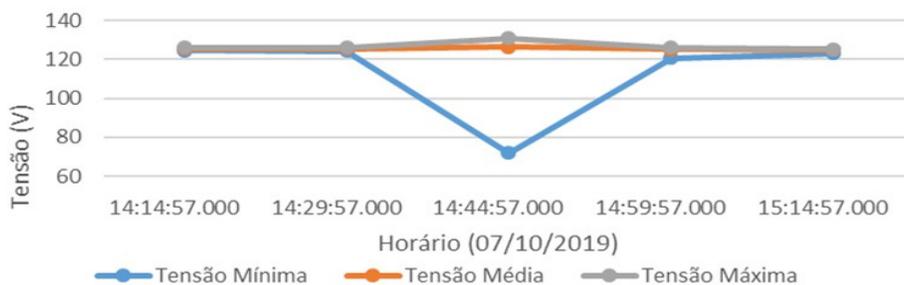


Figura 10 - Tensão na fase A de T1 durante o evento

Fonte: Dos Autores, 2020

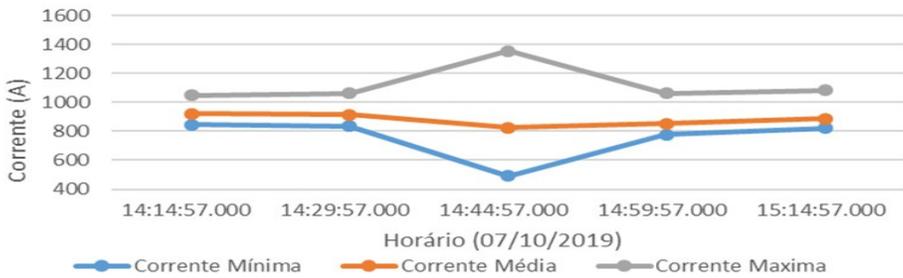


Figura 11 - Corrente na fase A de T1 durante o evento

Fonte: Dos Autores, 2020

3.2 Transformador T2 de 1000KVA

A Fig. 12 apresenta os gráficos de demanda mínima, média e máxima, e o fator de potência médio do transformador T2.

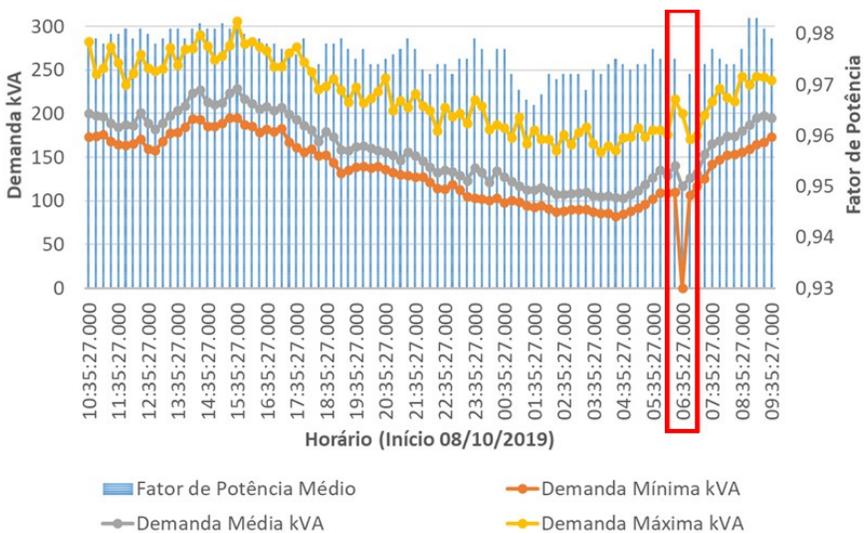


Figura 12 - Potência aparente do Transformador T2 – 1000KVA

Fonte: Dos autores, 2020

Nota-se que o transformador operou com demanda máxima de 305,5 kVA, não atingindo novamente metade da sua potência nominal de 1000kVA. Analisando a curva de demanda de potência aparente do transformador T2 é possível identificar no intervalo destacado em vermelho uma demanda média total de 116,932 kVA, máxima de 200,337

kVA, mínima de 0 kVA. Ou seja, o transformador não fornece potência para as cargas. No que tange a demanda média por fase, conforme Fig. 13, nota-se novamente uma distribuição equilibrada de carga.



Figura 13 - Demanda média por fase Transformador T2

Fonte: Dos autores, 2020

Analisando a tensão e corrente da fase A, apresentados respectivamente pelas Fig. 14 e 15, verifica-se novamente a possível ocorrência de um evento na rede. Nota-se uma queda brusca da tensão e corrente fornecida pelo transformador T2, chegando à valores próximos de zero.

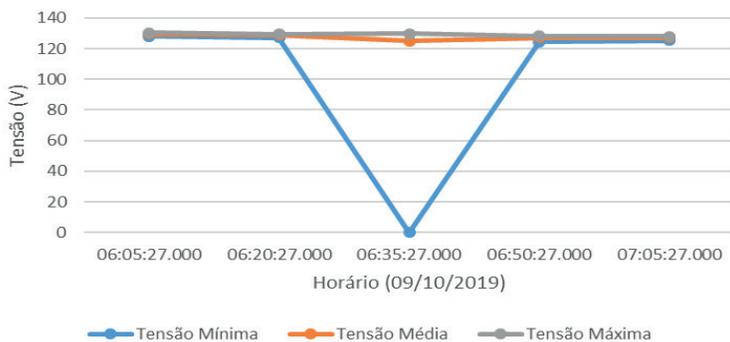


Figura 14 - Tensão na fase A de T2 durante o evento

Fonte: Dos autores, 2020

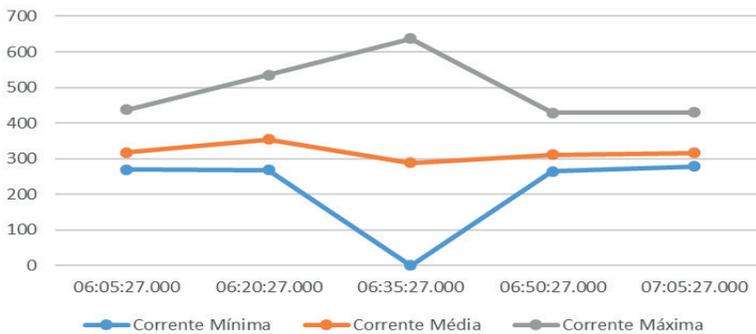


Figura 15 - Corrente na fase A de T2 durante o evento

Fonte: Dos autores, 2020

3.3 Transformador T3 DE 300KVA

A partir da análise da potência, foi possível obter os gráficos presentes na Fig. 16, sendo eles referentes às demandas totais mínimas, médias e máximas e o fator de potência médio do transformador. Nota-se que o transformador operou com demanda máxima de 91,7 kVA, não atingindo um terço da sua potência nominal de 300kVA. O intervalo em vermelho selecionado na Fig. 16 contém o período de demanda mínima durante a data da análise. Tal fato reflete o horário incomum de funcionamento dos aparelhos de ressonância e tomografias, que geralmente funcionam entre as 7h até as 23h30.

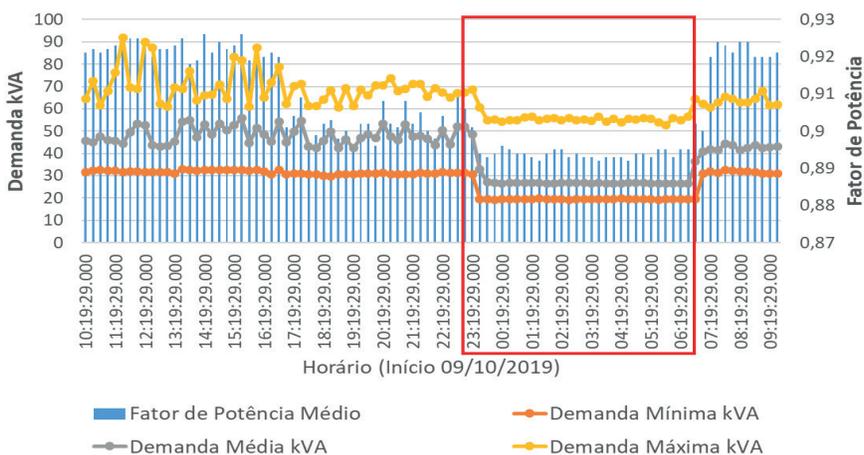


Figura 16 - Potência aparente do Transformador T3 - 300KVA

Fonte: Dos autores, 2020

Analisando a demanda média por fase, apresentado na Fig. 17, verifica-se uma boa distribuição de carga entre as fases.

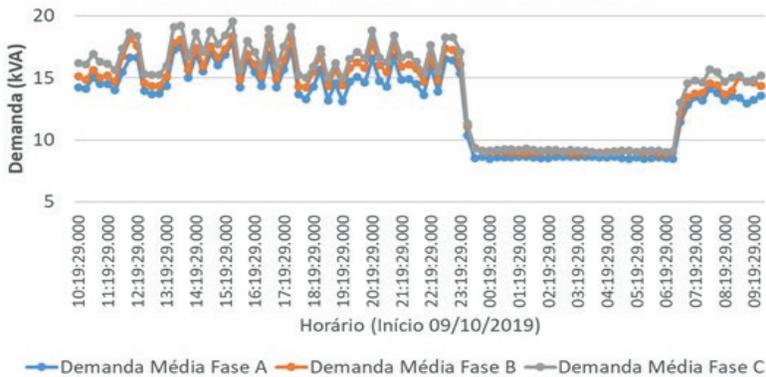


Figura 17 - Demanda média por fase Transformador T3

Fonte: Dos autores, 2020

3.4 Transformador T4 de 300KVA

A partir da análise de potência aparente do transformador T4, foi possível obter os gráficos presentes na Fig. 18, sendo eles referentes às demandas totais mínimas, médias e máximas e o fator de potência médio do transformador. Percebe-se que o transformador operou com demanda máxima de 89,82 kVA, não atingindo um terço da sua potência nominal de 300kVA.

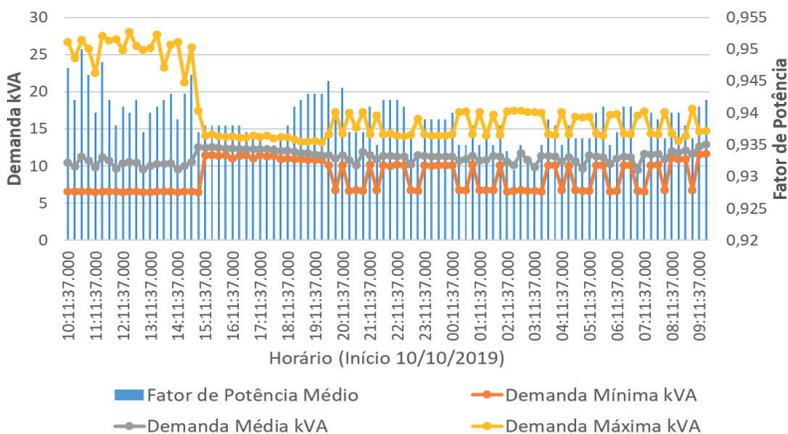


Figura 18 - Potência aparente do Transformador T4 – 300KVA

Fonte: Dos autores, 2020

A partir da demanda média por fase deste transformador, conforme identificado pela Fig. 19, houve uma maior demanda na fase A em relação às fases B e C.

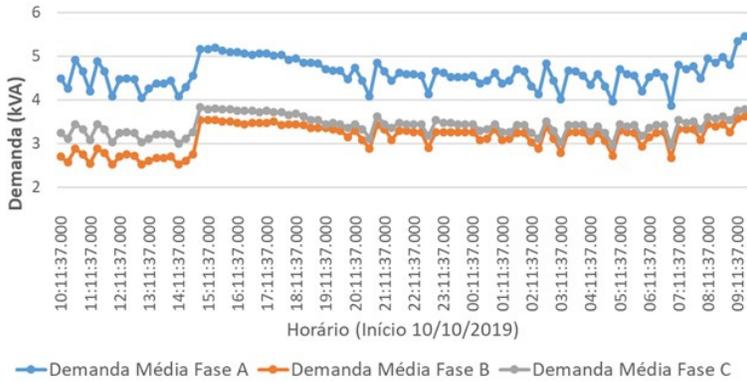


Figura 19 - Demanda média por fase Transformador T4.

Fonte: Dos autores, 2020

4 | ANÁLISE DE DESEMPENHO E OBSERVAÇÕES

4.1 Desequilíbrio de Tensão no Transformador T1

A Fig. 20 evidencia as tensões sobre os terminais do transformador T1. Nota-se que há um desequilíbrio de tensão entre as fases. Investigando as correntes, constatou-se uma corrente de neutro média entre 60 a 80 A.

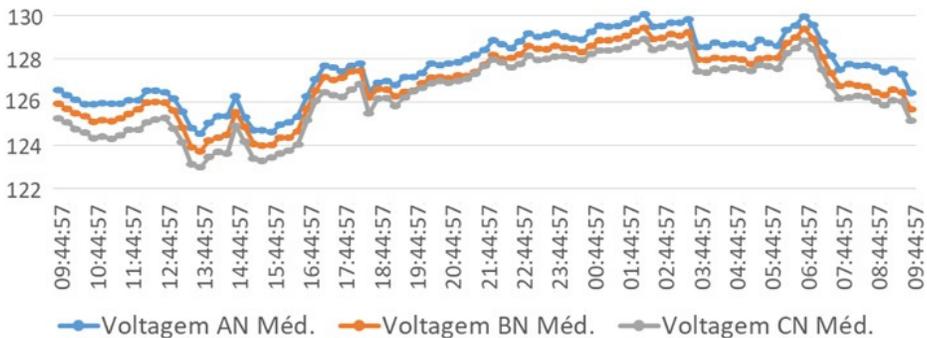


Figura 20 - Tensões de fase nos terminais do Transformador T1

Fonte: Dos autores, 2020

4.2 Configuração de Barra da Subestação

Como constatado, todos os transformadores operam com potência inferior a nominal, sabe-se ainda que a subestação possui apenas um gerador a diesel para redundância, sendo assim é possível constatar a viabilidade de realocar as cargas dos transformadores T2 e T4 para T1 e T3, respectivamente, de forma a melhorar a confiabilidade do sistema quanto à eventuais manutenções, falhas e correções. Dessa forma, T2 e T4 seriam deixados em stand-by, sendo requisitados apenas quando necessário.

4.3 Análise de Rendimento dos Transformadores

A título de ilustração a Fig. 21 destaca as curvas de rendimento do transformador T2. Escolheu-se este, pois dentre aqueles de maior potência nominal, é o que trabalha com o menor nível de carga. Observe que apesar do mesmo operar com um terço da sua capacidade nominal, ainda assim trabalha com um elevado rendimento, próximo do ideal (rendimento máximo). Além disso, pode-se constatar que se elevar seu carregamento não provocará alteração do rendimento ideal de operação. Obviamente, isto vale para um elevado fator de potência. Pois, nota-se que a redução do fator de potência implica de forma mais relevante no rendimento do transformador, e conseqüentemente nas perdas do equipamento. A análise é similar para os demais transformadores.



Fig.21 Curvas de rendimento do transformador T2.

Fonte: Dos autores, 2020

5 | CONCLUSÕES

No atual estudo foi possível constatar que todos os transformadores operaram abaixo da metade da sua potência nominal, podendo descartar a possibilidade de sobrecargas durante o período de medição. Neste sentido, verifica-se a possibilidade de readequação na distribuição de cargas entre os transformadores, possibilitando que um ou mais transformador opere em stand-by através da alteração de configuração de barra da SE.

Esta ação levará a uma melhor confiabilidade da instalação.

Apesar de não ter sido o foco deste trabalho, verifica-se a necessidade de maiores investigações no que tange ao tema de qualidade de energia, analisando os fenômenos de variação de tensão de curta duração, desequilíbrio de tensão e distorção harmônica, visto que cargas hospitalares apresentam uma característica não linear. Ressalta-se ainda que os resultados deste trabalho servirão como referência para acompanhamento contínuo do consumo e qualidade da energia do hospital, visto que se trata de um tipo de consumidor extremamente importante. Esses dados iniciais, auxiliarão na realização de campanhas futuras de medição, as quais irão conter um conjunto maior de dados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro por permitir o acesso as instalações de interesse.

REFERÊNCIAS

MÓDULO 1 ANEEL, de 26 de dezembro de 2018. **PRODIST Módulo 1 - Introdução**. Revisão 10. 55p. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/modulo-1>>. Acesso em: 04 de novembro de 2020.

BANDARRA, P.; VALDEZ, M. T.; PEREIRA, A. **Solutions for Monitoring and Analysing for Energy Consumption – Energy Management Systems**. 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC), p. 1–5, 2016.

CASTRO, N.; BRANDÃO, R.; MOSZKOWICZ, M. **Coronavírus e os Impactos no Segmento de Distribuição de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Canal Energia, GESEL, 2020.

FLUKE Corporation. **Manual do Usuário – 1735 Power Logger**. Rev. 2, 2016.

GORDO, E.; CAMPOS, A.; COELHO, D. **Energy Efficiency in a Hospital Building Case Study: Hospitais da Universidade de Coimbra**. 3rd International Youth Conference Energetics (IYCE), pp. 1-6, 2011.

Hospital de Clínicas da UFTM. **Nossa História**. Disponível em: <<http://www2.ebserh.gov.br/web/hc-ufstm/historia>>. Acesso em: 04 de novembro de 2020.

MENDES, A. L. M. **Medição e Estudo de Especificação Simplificada de Equipamentos Aplicados à Subestação Abrigada do Hospital de Clínicas da UFTM**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2018.

PRUDENZI, A.; CARACCILO, V.; SILVESTRI, A. **Electrical Load Analysis in a Hospital Complex**. IEEE Bucharest Power Tech Conference, pp. 1-6, 2009.

SARIKPRUECK, P. et al. **Analyzing Technique for Electrical Energy Monitoring System in Thailand and Electrical Engineering**. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS EUROPE), pp. 1-4, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

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

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

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

C

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

Compatibilidade Eletromagnética 25

Complexo Hospitalar 83, 84

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

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

D

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

Defensivos agrícolas 138, 139, 140, 146, 147

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

Descargas atmosféricas 27, 71, 76, 328

Detecção de fraudes 1, 10, 11

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

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

E

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

Estudo comparativo 13, 15, 275

I

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

Inteligência Artificial 112, 114

Interferência Eletromagnética 25, 26, 37, 327, 328

L

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

M

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

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

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

Mensuração da área de cobertura 138, 139, 140

Modelagem de sistemas de potência 39, 228

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

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

N

Normas Técnicas 81, 97, 99, 110, 111

P

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

Previsão de Séries Temporais 112

Projetos de Engenharia 25

Proteção de linhas de transmissão 54

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

Q

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

R

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

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

Ressarcimento 71, 72, 81, 82

S

Sampled Values 54, 55, 61, 70, 331

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

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

T

Tecnologias de aplicação 138, 139, 140

Termoeletricidade 39

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

Turbina a gás 39

Turbogerador 39

V

Veículo elétrico leve 13

Viabilidade Técnica 13, 14, 16