

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

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 Cremona

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: comunicação integrada no universo da energia

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
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: comunicação integrada no universo da energia / 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 978-65-5706-837-3

DOI 10.22533/at.ed.373212302

1. Energia. 2. Engenharia. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Título.

CDD 621.1

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

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

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 subáreas 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

APLICAÇÃO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL ESPECIALISTA EM RECONHECIMENTO DE TRANSTORNOS VOCAIS MODERADOS

Eduardo Henrique da Silva

Mateus Morikawa

Vinícius Baratieri Suterio

María Eugenia Dajer

DOI 10.22533/at.ed.3732123021

CAPÍTULO 2..... 11

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF GROUNDING SYSTEMS MODELING ON THE LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES

Felipe Vasconcellos

Rafael Alípio

Fernando Moreira

DOI 10.22533/at.ed.3732123022

CAPÍTULO 3..... 25

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES DE INTERNAÇÃO E DE CONSULTA MÉDICA EM HOSPITAIS PÚBLICOS E PRIVADOS DE ARAPIRACA-AL

Augusto César Lúcio de Oliveira

Gabriel dos Santos Alves

Hapitaglo Rian da Silva

Igor Silva de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.3732123023

CAPÍTULO 4..... 36

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM BASE EM SENSORES DE PRESENÇA E BLUETOOTH

Wyctor Fogos da Rocha

Mário Mestria

DOI 10.22533/at.ed.3732123024

CAPÍTULO 5..... 50

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA UM FOTÔMETRO

Gabriela Dias Alba

Alberto Noboru Miyadaira

Oldair Donizeti Leite

Domingos Perego Junior

Eduardo Cezar Lenz

João Pedro de Araújo Nespolo

DOI 10.22533/at.ed.3732123025

CAPÍTULO 6..... 60

THE INFLUENCE OF THE FREQUENCY-DEPENDENT BEHAVIOR OF GROUND

ELECTRICAL PARAMETERS ON THE LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES

Felipe Vasconcellos

Rafael Alípio

Fernando Moreira

DOI 10.22533/at.ed.3732123026

CAPÍTULO 7..... 77

BANCADA EXPERIMENTAL PARA TESTE DE CONTROLADORES PRIMÁRIOS EM MICRORREDES

João Pedro Magalhães Fernandes

Márcio Stefanello

DOI 10.22533/at.ed.3732123027

CAPÍTULO 8..... 89

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO PADRÃO COM ESTRATÉGIA DE CONTROLE DE TENSÃO NO MODO TENSÃO-POTÊNCIA ATIVA

Vitor Francisco Bassi de Franchi Siqueira

Romeu Reginatto

DOI 10.22533/at.ed.3732123028

CAPÍTULO 9..... 103

DESENVOLVIMENTO DE UM FOTOMETRO MICROCONTROLADO PARA ANÁLISE DE SUBSTÂNCIAS

Domingos Perego Junior

Alberto Noboru Miyadaira

Oldair Donizeti Leite

Gabriela Dias Alba

Eduardo Cezar Lenz

João Pedro de Araújo Nespolo

DOI 10.22533/at.ed.3732123029

CAPÍTULO 10..... 112

MORTE POR ELETROCUSSÃO NA REGIÃO NORDESTE ENTRE OS ANOS DE 2014 E 2019

Daniela Asquidamini

Carlos A. C. Jousseph

Bruna Pontes Cechinel

DOI 10.22533/at.ed.37321230210

CAPÍTULO 11..... 119

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA GERENCIAMENTO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA

Raphael de Aquino Gomes

Vinicius de Mello Lima

Amanda Beatriz Mendanha Fernandes

Charles Lucas Santana de Souza

DOI 10.22533/at.ed.37321230211

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 12..... | 131 |
| ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DO ESTÁGIO DE SAÍDA DE UM GERADOR DE ONDAS ARBITRÁRIAS | |
| Daiany Besen | |
| Felipe Walter Dafico Pfrimer | |
| Alberto Yoshihiro Nakano | |
| DOI 10.22533/at.ed.37321230212 | |
| CAPÍTULO 13..... | 140 |
| DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE AQUISIÇÃO E ELETRODOS SECOS EM ELETROMIOGRAFIA | |
| Luiz Augusto Garonce Ferreira | |
| Felipe Walter Dafico Pfrimer | |
| Alberto Yoshihiro Nakano | |
| DOI 10.22533/at.ed.37321230213 | |
| CAPÍTULO 14..... | 148 |
| PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM CURSO DE OPERADOR DE USINAS TERMELÉTRICAS ARTICULADO COM EMPRESAS DO COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO DO PECÉM | |
| Marcel Ribeiro Mendonça | |
| Marcilia Maria Soares Barbosa Macedo | |
| DOI 10.22533/at.ed.37321230214 | |
| CAPÍTULO 15..... | 159 |
| DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE ANÁLISE DE AZEITES E ÓLEO VEGETAL DE BAIXO CUSTO | |
| Matheus Bogo Polidorio | |
| Alexandre de Sousa Duarte | |
| Alberto Yoshihiro Nakano | |
| Ricardo Schneider | |
| Felipe Walter Dafico Pfrimer | |
| DOI 10.22533/at.ed.37321230215 | |
| SOBRE OS ORGANIZADORES | 170 |
| ÍNDICE REMISSIVO..... | 171 |

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO PADRÃO COM ESTRATÉGIA DE CONTROLE DE TENSÃO NO MODO TENSÃO-POTÊNCIA ATIVA

Data de aceite: 22/02/2021

Data de submissão: 05/01/2021

Vitor Francisco Bassi de Franchi Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Centro de Engenharia e Ciências Exatas
Curso de Engenharia Elétrica
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1381030102516603>

Romeu Reginatto

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Centro de Engenharia e Ciências Exatas
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9166033914580991>

RESUMO: A inserção de sistemas de armazenamento padrão (SAP) aparece como uma solução modular e integrada de geração solar e armazenamento de energia por baterias, com capacidade de atendimento de cargas locais e integração à rede elétrica. Na integração de geração solar à rede elétrica, especialmente na conexão em ramais de baixa tensão, podem ocorrer sobretensões indesejadas conforme as condições operativas. Este trabalho objetiva analisar sistemas de armazenamento padrão conectados à rede quando operando no modo tensão-potência ativa, o qual tem em vista mitigar o efeito de sobretensão decorrente da integração da geração solar. Os estudos foram feitos a partir do fluxo de potência continuado, utilizando os softwares Matlab e OpenDSS, considerando

a conexão em ramais de baixa tensão. Os benefícios do modo tensão-potência ativa são maiores quando o SAP é conectado distante do transformador de distribuição.

PALAVRAS - CHAVE: Geração solar, sobretensão, controle volt-watt.

ANALYSIS OF ENERGY STORAGE STANDARD SYSTEM WITH VOLTAGE CONTROL IN VOLTAGE-ACTIVE POWER MODE

ABSTRACT: The insertion of energy storage standard system (ESSS) appear as a modular solution and integrates of solar generation and energy storage by batteries, with service capacity of local loads and power grid integration. In integration of solar generation into the electricity grid, especially when connecting to low voltage branches, unwanted overvoltages may occur depending on operating conditions. This work aims to analyze energy storage standard system connected to the grid when operating in voltage-active power mode, which aims to mitigate the overvoltage effect resulting from the integration of solar generation. The studies were made from the continuation power flow, using the softwares Matlab and OpenDSS, considering the connection in low voltage branches. The benefits of voltage-active power mode are greatest when the ESSS is connected far from the distribution transformer.

KEYWORDS: Solar generation, overvoltage, volt-watt control.

1 | INTRODUÇÃO

A conexão de geradores diretamente ao sistema de distribuição de energia elétrica representa uma profunda mudança no sistema elétrico, em grande parte motivada pela necessidade de ampliar a penetração de energia renováveis. Sistemas de geração fotovoltaicas são amplamente conectados em sistemas de distribuição pela facilidade que oferecem para instalações de pequeno porte e em níveis de baixa tensão.

Entretanto há impactos decorrentes da maior penetração de geração fotovoltaica, especialmente porque a inserção de geração distribuída (GD) em sistemas de distribuição causa diversos problemas operacionais e técnicos, que comprometem o despacho de energia bem como sua qualidade, elevando assim os custos envolvidos.

Uma das diversas variáveis de interesse para a qualidade de energia do sistema de distribuição e que podem ser impactadas pela instalação de GD é a tensão de regime permanente. Limites de variação de regime permanente estabelecidos em (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2018) categorizam a faixa adequada de tensão entre 0,93pu até 1,05pu. Neste sentido é importante a avaliação de possíveis condições em que a instalação de GD pode contribuir com a manutenção da tensão dentro destes limites, ou situações em que possa ser causa de sua violação. Uma forma de maximizar a exploração e consumo de energia gerada em um sistema fotovoltaico, é a implementação de SAP. Esses possuem estrutura similar a ilustrada na Figura 1, porém são fabricados de maneira integrada, incluindo armazenamento de energia, conexão à placas fotovoltaicas e funcionalidades para atendimento a cargas locais bem como fornecimento de energia ao sistema, podendo ser instalado de maneira modular. Há três elementos fundamentais: os painéis solares, as baterias e o inversor. Os painéis fotovoltaicos contêm as células fotovoltaicas que produzem energia elétrica (corrente contínua) individualmente quando sobre elas houver a incidência de irradiação solar. As baterias, por outro lado, permitem armazenar energia temporariamente. A energia armazenada pode ser a energia produzida pelos painéis solares e que não foi transferida para o sistema, sendo então acumulada para uso em outro momento.

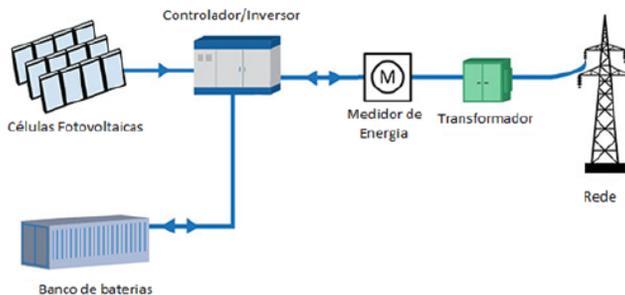


Figura 1: Sistema de geração solar com armazenamento de energia conectado à rede. Adaptado de (COLAVITO; MICHAEL, 2015).

O inversor é o dispositivo de eletrônica de potência que converte a corrente contínua, gerada pelas células solares ou armazenada pelas baterias, em corrente alternada compatível com a rede elétrica em que é interligada. O inversor também garante a segurança de todo o sistema, uma vez que realiza o monitoramento das grandezas elétricas e é responsável pelo controle de fluxo de energia para a rede. O processo de carga e descarga das baterias bem como a manutenção dessas em nível adequado de carga é realizado pelo BMS (*Battery Management System*). A vida útil das baterias apresenta grande dependência da adequada atuação do BMS.

Tratando-se de regime permanente, um dos impactos mais observados devido a conexão de geradores fotovoltaicos em redes de baixa tensão é o aparecimento de sobretensões, especialmente em horários de grande geração e baixa demanda (CHAMANA; CHOWDHURY, 2014; IEEE, 2018; KATIRAEI et al., 2015; PILLAI; PUTRUS; PEARSALL, 2013; TANG et al., 2018). Surge então necessidade de medidas de controle de tensão para assegurar a qualidade da energia de modo a possibilitar que seja explorada ao máximo a capacidade de geração.

Neste contexto, controles locais em cada gerador distribuído podem contribuir com a melhoria da regulação de tensão no sistema de forma geral. Considerando o impacto da geração distribuída sobre a tensão de regime permanente, em especial o problema de sobretensão observado em consequência da penetração de geração fotovoltaica, um das alternativas para lidar com tais impactos tem sido a adoção de estratégias de controle de potência reativa nos próprios geradores distribuídos (IEEE, 2018; MAHMUD; ZAHEDI, 2016; POMPODAKIS et al., 2016).

A norma (IEEE, 2018) também estabelece um modo de controle tensão-potência ativa, no qual a potência gerada é limitada em valor que depende da tensão terminal, seguindo determinada curva tensão-potência ativa pré-determinada.

No modo tensão-potência ativa também conhecido como modo volt-watt (VW), por outro lado, a dosagem da potência ativa que é utilizada para fazer com que o sistema de geração fotovoltaica contribua com os níveis de tensão na rede.

A principal vantagem do modo tensão-potência ativa é sua simplicidade, em comparação aos modos de controle da potência reativa, pois não exige controles adicionais e tampouco maior capacidade do inversor, que seriam necessários para prover corrente reativa. Por esta razão, torna-se um modo que pode ser facilmente agregado à operação de sistemas de armazenamento padrão. Este é justamente o foco deste trabalho, analisar sistemas de armazenamento padrão utilizando o modo de operação tensão-potência ativa.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Fundamentos

A Figura 2 apresenta um diagrama simplificado de um alimentador de baixa tensão (BT) a qual representa um circuito equivalente em relação ao ponto de conexão do SAP.

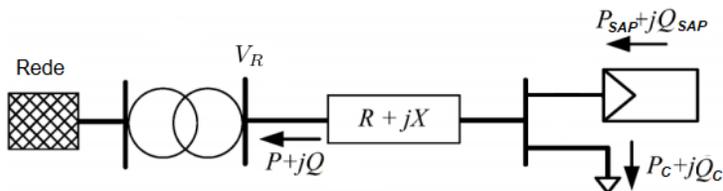


Figura 2: Diagrama unifilar simplificado do alimentador de BT com PV. Adaptado de (MARRA et al., 2014).

A queda de tensão ΔV sobre a impedância equivalente do alimentador $Z = R + jX$, causada pela corrente fornecida pelo SAP, pode ser calculada pela equação

$$\frac{\Delta V}{|V_R|} = \frac{Z \cdot I}{|V_R|} \quad (1)$$

A corrente I pode ser calculada através de

$$I = \left(\frac{S}{|V_R|} \right)^* = \left(\frac{P}{|V_R|} - j \frac{Q}{|V_R|} \right) \quad (2)$$

$$P = P_{SAP} - P_C \quad (3)$$

$$Q = Q_{SAP} - Q_C \quad (4)$$

onde, $P = P_{SAP} - P_C$ corresponde ao saldo líquido de potência ativa; e o termo $Q = Q_{SAP} - Q_C$ é referente ao saldo líquido de potência reativa.

A impedância equivalente do alimentador é expressa por uma parcela resistiva R e uma parcela reativa X . Substituindo I e Z podemos reescrever (1) como

$$\frac{\Delta V}{|V_R|} = \frac{(P \cdot R) + (Q \cdot X)}{|V_R|^2} + j \frac{(P \cdot X) + (Q \cdot R)}{|V_R|^2} \quad (5)$$

Na maioria dos sistemas de distribuição, é suficiente considerar apenas a componente real de (5) (STETZ; MARTEN; BRAUN, 2013), resultando em:

$$\frac{\Delta V}{|V_R|} = \frac{(P \cdot R) + (Q \cdot X)}{|V_R|^2} \quad (6)$$

A equação (6) representa a variação do módulo da tensão em função da potência ativa e da potência reativa. A potência ativa tem impacto na tensão em sistemas de distribuição, pois redes de baixa tensão tipicamente possuem baixa relação X/R , ou possuem valores não desprezíveis de resistência. Desta forma, a influência exercida pela potência ativa no enrolamento do nível de tensão é maior que quando comparada a influência da potência reativa. Isso justifica a necessidade da utilização de um modo de controle. A seguir é apresentado o modo de controle baseado na curva VW.

| Parâmetros do modo VW | Configuração padrão | Faixa de configurações permitidas | |
|-----------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------|
| | | Mínima | Máxima |
| V_1 | 1,02 pu | 1,00 pu | 1,04 pu |
| P_1 | $P_{nominal}$ | - | - |
| V_2 | 1,05 pu | + 0,01 pu | 1,05 pu |
| P_2 | 0 | 0 | $P'_{nominal}$ |

Tabela 1: Configurações e parâmetros do modo VW

2.2 Curva VW

O projeto da curva tensão-potência ativa foi baseado na norma recentemente publicada por (IEEE, 2018). A norma estabelece uma curva linear por partes entre tensão e potência ativa, dentro dos limites operativos do sistema de geração. A Figura 3 ilustra a curva característica tensão-potência ativa apresentada na norma.

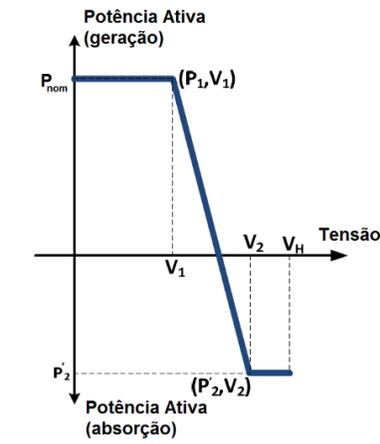


Figura 3: Curva característica para o modo tensão-potência ativa do inversor. Adaptada de (IEEE, 2018).

A Tabela 1 foi baseada em (IEEE, 2018) e apresenta a faixa de valores que podem ser atribuídos aos parâmetros para a configuração do controle modo VW. Os valores apresentados foram utilizados para atender o PRODIST. O modo de controle atua dentro de um determinado limite de tensão, estabelecido por V_1 e V_2 . $P_{nominal}$ corresponde à potência nominal de geração do SAP, $P_{nominal}'$ é referente à potência nominal que pode ser armazenada (absorvida) pelo SAP.

2.3 Matlab e OpenDSS

O *Open Distribution System Simulator* (OpenDSS) é um software de simulação para sistemas elétricos de distribuição de energia elétrica. Esse simulador é baseado em séries temporais *quasi-estacionárias*, o que permite a realização de simulações sequenciais no tempo. Assim, é possível analisar como os sistemas se comportam durante um determinado valor de tempo definido.

Decorrente do fato de que o software OpenDSS não implementa o modo de controle VW naturalmente, não é possível obter soluções de fluxo de potência diretamente com o OpenDSS para este modo de controle. Para obter a solução do fluxo de potência para o modo VW, foi então utilizado um algoritmo iterativo utilizando OpenDSS e Matlab, isso é possível pois o OpenDSS oferece uma interface COM (*Common Object Model*) o que permite ser executado pelo Matlab e utilizar recursos fornecidos por esse.

O procedimento é realizado da seguinte forma, dados referentes ao SAP são parâmetros de entrada do Matlab, entre eles é estipulada uma potência gerada, P_{ger} . Os dados fornecidos são então implementados no OpenDSS e assim é resolvido o fluxo de potência. Tendo o procedimento convergido, a tensão nos terminais do SAP, V_{term} , é utilizada para o cálculo de P_{max} , que é a máxima potência prevista pela curva característica tensão-potência ativa. Tendo o valor de P_{max} é verificado se $P_{max} > P_{ger}$ é satisfeita, se sim a condição de operação do SAP está dentro da curva e assim o modo de controle não deve atuar, caso o contrário, é necessário alterar o valor de P_{ger} a fim de que essa esteja sobre a curva definida. Esse procedimento é realizado através de um algoritmo que utiliza o método da bisseção, o qual é realizado enquanto a condição $|P_{max} - P_{ger}| < \mathcal{E}$ não for satisfeita, onde \mathcal{E} é uma tolerância imposta pelo usuário. O fluxograma visto na Figura 4 apresenta os procedimentos empregados, é visto que para cada iteração do método, o fluxo de potência é recalculado e uma nova P_{max} é obtida. Para o valor convergido de P_{ger} , as medições de interesse calculadas pelo OpenDSS podem ser usadas pelo usuário no Matlab para as análises gráficas referente ao impacto devido a conexão do SAP.

2.4 Sistema teste

As análises acerca do impacto da inserção do SAP à rede de distribuição foram realizadas considerando um sistema teste composto por um alimentador de distribuição de 32 nós e 3 ramais de baixa tensão de topologias distintas. Entretanto, os resultados

são apresentados apenas para um destes ramais, por restrições de espaço. A seguir é apresentada uma breve descrição sobre o sistema teste.

2.4.1 Alimentador de distribuição de 32 nós

A estrutura do alimentador de distribuição de 32 nós está ilustrada na Figura 5. Consiste em um alimentador localizado no interior do estado de São Paulo, com 32 nós, nível de tensão de 13,8kV, 60Hz. Os dados deste alimentador foram obtidos de (SALIM, 2011).

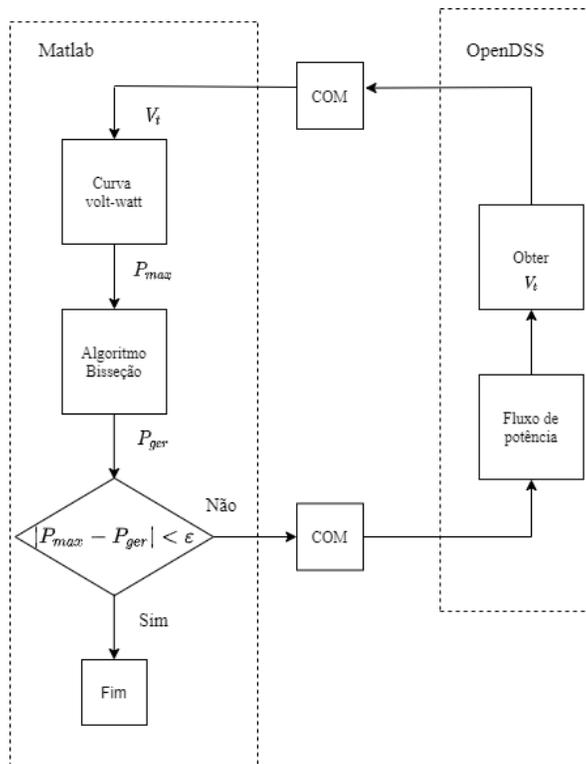


Figura 4: Fluxo de informações e ações entre o OpenDSS e Matlab

A barra identificada como 291 representa a barra de conexão ao sistema de subtransmissão, em 138kV, 60Hz. O transformador de conexão é de três enrolamentos, com tensões de 138/11,5/13,8kV e conexão $Y/\Delta/Y_g$. A conexão ao sistema de subtransmissão é considerada forte, representada por uma potência de curto-circuito de 2.000MVA, com relação de X/R de 10^5 .

O alimentador possui 3 bancos de capacitores conectados aos nós 292, 905 e 804, respectivamente. São representados 22 pontos de carga, compondo uma carga total

nominal de 10,482kW e 2,513MVar. Ainda, o nó 603 possui um nível de tensão diferenciado, de 2,4kV.

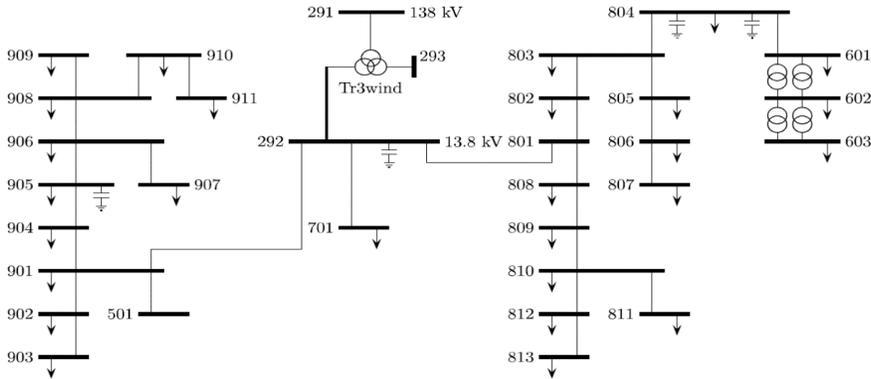


Figura 5: Alimentador de distribuição de 32 nós São Paulo.

Fonte: (SALIM, 2011).

2.4.2 Ramal

A topologia deste ramal foi inspirada em um ramal rural real da cidade de Guaropé-RS. Foi utilizada uma representação trifásica equilibrada, sendo adotados parâmetros típicos para as linhas extraídos de (DICKERT; DOMAGK; SCHEGNER, 2013). Valores das cargas são fictícios, porém na ordem de grandeza do caso real considerado, sendo a carga total instalada de 25,3kW e 6,7kVar. A topologia do ramal é apresentada através da Figura 6, com 6 nós compondo o tronco principal do ramal e 5 nós representando a conexão de residências. A carga correspondente a uma das residências é representada diretamente sobre o nó 958

O ramal foi conectado ao nó 902 do alimentador de 32 nós através de um transformador de distribuição trifásico 13,8kV para 380V, com potência nominal de 100kVA e reatância de dispersão de 4%. A potência nominal do SAP foi estabelecida como sendo 30kW e tendo uma capacidade de consumo de 6kW.

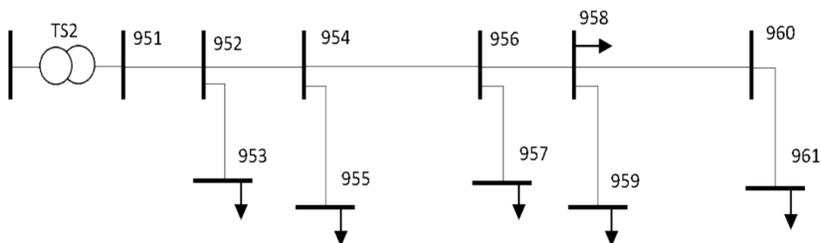


Figura 6: Topologia ramal GP (Guaropé)

Para as análises foram adotados três pontos de conexão ao longo do ramal, visando abranger o início, meio e fim. Para cada ponto de conexão, a potência fornecida pelo SAP foi sendo incrementada, até sua limitação ser necessária. Inicialmente foi assumido que o SAP estava consumindo potência.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados e discussões acerca das simulações realizadas.

3.1 OpenDSS e Matlab

Como citado anteriormente, o algoritmo responsável pelo controle tensão-potência ativa foi implementado em Matlab e devido a necessidade da utilização de um método numérico para a convergência do resultado, utilizou-se o método da bisseção. A Figura 7 apresenta o valor de potência gerada pelo SAP para uma conexão ao nó 961 e uma condição de carga leve. Podemos verificar que foram necessárias 17 iterações para a convergência e o valor obtido foi de 0,21pu o que corresponde a aproximadamente 6,4kW.

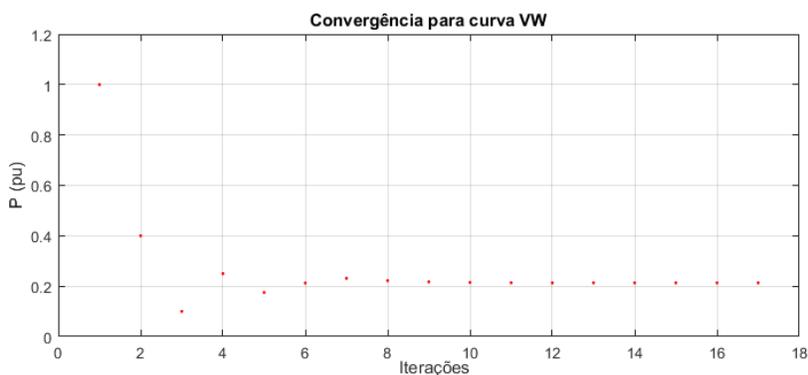


Figura 7: Convergência para a curva VW

3.2 Análise do comportamento operativo do sistema devido a inserção do SAP

As análises apresentadas nessa seção foram realizadas com o intuito de verificar o impacto sobre o perfil de tensão devido a inserção do SAP em diversos nós de conexão do ramal. Condições de carga também foram alteradas para essa verificação. É realizada o fluxo de potência continuado, que consiste na obtenção do fluxo de potência do sistema para cada potência fornecida pelo SAP. Adotou-se que a faixa de variação de potência fornecida vai de -20% (absorção) até 100% (geração) da potência nominal (30kW).

A Figura 8 apresenta o nível de tensão, nos terminais do SAP, quando esse se encontra conectado em cada nó apresentado. A escolha desses nós foi feita a fim de realizar um mapeamento das condições operativas no ramal, em seu início (nó 951), meio (nó 956) e fim (nó 961). Através da Figura 8 é visto como a tensão é elevada à medida que a distância do nó de conexão do SAP se distancia em relação ao transformador de distribuição. Pode-se verificar a influência da distância na sobretensão através da equação (6), uma vez que a resistência equivalente é um fator proporcional a distância ao nó de conexão do SAP ao transformador de distribuição. Quanto mais distante do transformador de distribuição maior será essa resistência e assim maior sua influência. Com o modo de controle VW ativo (caso 1) cujos os parâmetros são: $V_1 = 1,01pu$, $P_1 = 1,00pu$, $V_2 = 1,04pu$ e $P_2 = -0,2pu$ é visto que a tensão é limitada evitando assim ultrapassar o limite superior definido, contudo o limite inferior é violado quando o SAP está consumindo potência ativa e para uma geração menor que 5kW, quando conectados distantes do transformador de distribuição.

A Figura 9 apresenta os níveis de tensão nos terminais do SAP para cada nó de conexão e para cada nó é apresentada diferentes condições de carga. Carga 0,1 é referente à 10% da carga nominal do sistema, sendo assim é classificada como uma condição de carga leve. Carga 1 corresponde à carga nominal do sistema (25,3kW; 6,7kVAr) representado uma condição de carga pesada. Pode-se verificar que para condições de carga leve os níveis de tensão são mais afetados. Isso ocorre, pois com uma condição de carga leve a corrente que percorre a rede é reduzida e conseqüentemente a queda de tensão ao longo dessa. A tensão no nó 961 antes da conexão do SAP era de 0,898pu para uma condição de carga pesada e de 0,992pu para uma condição de carga leve. Tendo esses valores pode-se concluir que para uma mesma variação do nível de tensão, a tensão para a condição de carga leve terá uma magnitude maior quando comparada com a condição de carga pesada. Tendo em vista que a conexão em um nó mais distante do alimentador (nó 961) e uma condição de carga leve apresentam os resultados mais significativos, as seguintes análises foram feitas considerando essas condições. Foi verificado também como ocorreu a limitação de tensão-potência ativa pela curva VW para os três nós de conexão.

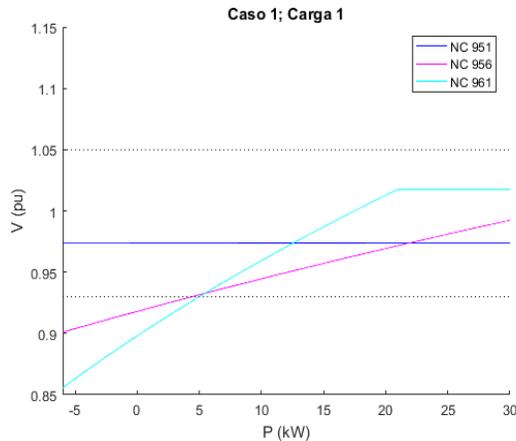


Figura 8: Tensão nos terminais do SAP para diferentes nós de conexão

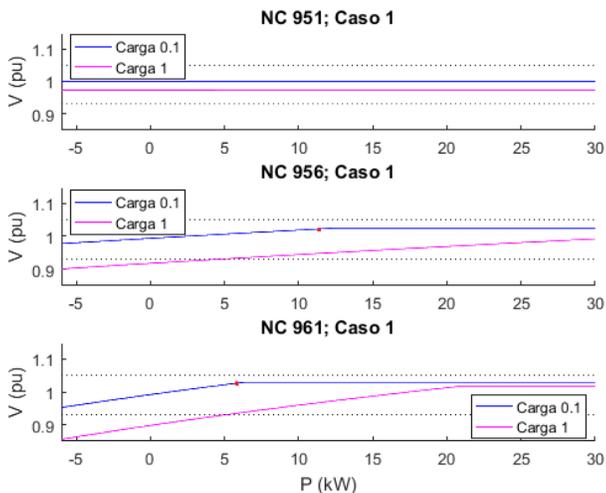


Figura 9: Perfil de tensão em diferentes nós para as condições de carga

3.3 Comportamento do SAP frente a variações de carga

Visando verificar o comportamento/operação do SAP para uma situação na qual a geração e a carga estão continuamente variando, adotou-se perfis de geração e consumo ao longo de um dia, os dados foram obtidos de (KASHANI; MOBAREZ; BHATTACHARYA, 2019). A Figura 10 apresenta os perfis de geração e de carga utilizados.

Para representar a utilização de baterias no sistema, foi considerada a possibilidade de geração constante do SAP em 18kW (60% da potência nominal). A Figura 11 apresenta o perfil de tensão no nó de conexão do SAP para a situação na qual o modo de controle VW está ativo e para uma situação na qual há ausência dele, e pode-se observar de fato

que com sua presença a sobretensão é evitada (curva em azul). A Figura 12 apresenta o perfil de geração para as situações adotadas anteriormente, e através do gráfico é visto que ocorre limitação de potência na maior parte do período analisado, entretanto no intervalo de 17 às 21 horas a potência ativa fornecida é igual a máxima disponível. Isso ocorre, pois nesse intervalo a potência demandada apresenta um valor superior, em relação aos outros instantes de tempo, levando a uma queda de tensão maior ao longo da rede de distribuição e, nessa circunstância é necessária a injeção de potência ativa na rede a fim de elevar o nível de tensão no ponto de conexão do SAP.

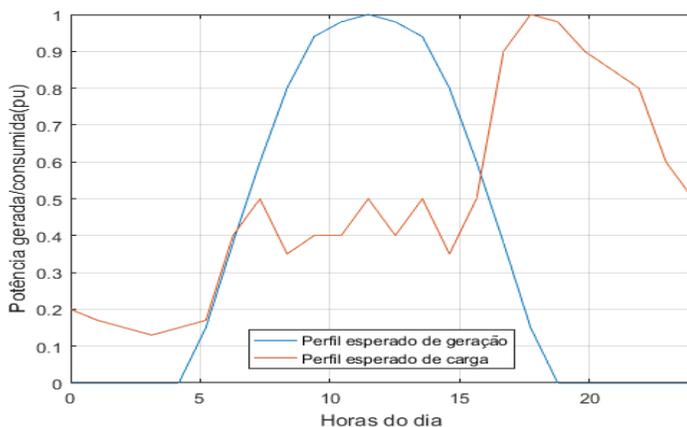


Figura 10: Perfis de geração e de carga utilizados

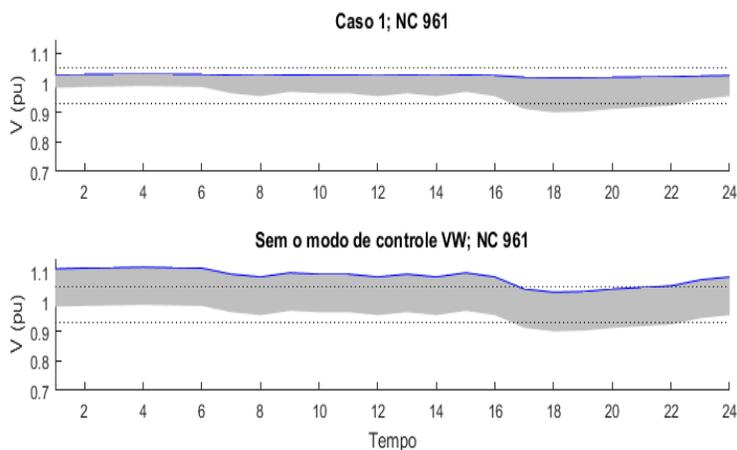


Figura 11: Influência do modo de controle VW no perfil de tensão diário

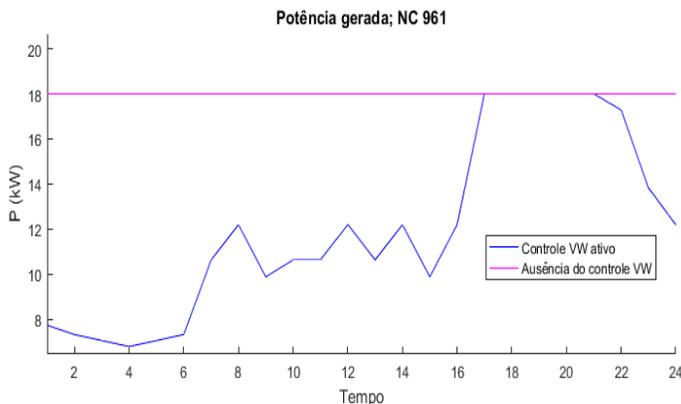


Figura 12: Perfis de geração com controle VW ativo e desativado

4 | CONCLUSÕES

Esse trabalho teve como objetivo analisar o impacto ocasionado devido à inserção de SAP em redes de distribuição de média tensão empregando o método de controle VW. Foram apresentados os principais fatores que influenciam na elevação do perfil de tensão: distâncias do nó de conexão do SAP ao nó do alimentador e as condições de carga, juntos esses fatores correspondem à situação mais crítica para a inserção de um SAP. O método de controle utilizado apresenta uma grande vantagem devido a sua simplicidade uma vez que não exige controles adicionais e tampouco maior capacidade do inversor.

Através dos resultados obtidos foi possível observar que o modo de controle VW atenua o efeito da sobretensão decorrente da integração da geração solar, tornando assim a tensão nos terminais do SAP abaixo de uma tensão limite estabelecida e consequentemente mantendo a qualidade da energia no ponto de conexão.

Utilizando perfis diários de geração e carga, pode-se verificar que para uma situação na qual não há controle VW foi verificada sobretensão nos terminais do SAP durante um período de oito horas. Isso ocorreu, pois nesse intervalo de tempo a carga apresentava um valor reduzido e a disponibilidade de geração era alta, o que foi propício para ocasionar a sobretensão. Considerando uma geração fixa foi verificado que nenhum dos limites são violados e para alguns momentos do dia a potência ativa fornecida é máxima. Esse comportamento justifica a utilização do modo de controle VW juntamente com o SAP.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.** [s.l.: s.n.].

CHAMANA, M.; CHOWDHURY, B. H. Impact of smart inverter control with PV systems on voltage regulators in active distribution networks. **2014 11th Annual High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies (Photonics for Energy), HONET-PfE 2014**, p. 115–119, 2014.

COLAVITO, C. J.; MICHAEL, J. Deploying Solar-Plus-Storage Microgrids. **Sol. Pro 8**, v. 4, 2015.

DICKERT, J.; DOMAGK, M.; SCHEGNER, P. Benchmark low voltage distribution networks based on cluster analysis of actual grid properties. **2013 IEEE Grenoble Conference PowerTech, POWERTECH 2013**, 2013.

IEEE. **IEEE Std. 1547-2018. Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces**. New York: [s.n.].

KASHANI, M. G.; MOBARREZ, M.; BHATTACHARYA, S. Smart Inverter Volt-Watt Control Design in High PV-Penetrated Distribution Systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 55, n. 2, p. 1147–1156, 2019.

KATIRAEI, F. et al. Field verification and data analysis of high PV penetration impacts on distribution systems. **2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2015**, n. April 2013, 2015.

MAHMUD, N.; ZAHEDI, A. Review of control strategies for voltage regulation of the smart distribution network with high penetration of renewable distributed generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 64, p. 582–595, 2016.

MARRA, F. et al. A decentralized storage strategy for residential feeders with photovoltaics. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 5, n. 2, p. 974–981, 2014.

PILLAI, G. G.; PUTRUS, G. A.; PEARSALL, N. M. Impact of distribution network voltage rise on PV system energy yield. **2013 Annual IEEE India Conference, INDICON 2013**, p. 0–4, 2013.

POMPODAKIS, E. E. et al. Photovoltaic systems in low-voltage networks and overvoltage correction with reactive power control. **IET Renewable Power Generation**, v. 10, n. 3, p. 410–417, 2016.

SALIM, R. H. Uma Nova Abordagem para a Análise da Estabilidade a Pequenas Perturbações em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica com Geradores Síncronos Distribuídos. p. 202, 2011.

STETZ, T.; MARTEN, F.; BRAUN, M. Improved low voltage grid-integration of photovoltaic systems in Germany. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, v. 4, n. 2, p. 534–542, 2013.

TANG, Y. et al. Stability Impact of PV Inverter Generation on Medium Voltage Distribution Systems. **2018 International Power Electronics Conference, IPEC-Niigata - ECCE Asia 2018**, p. 3705–3710, 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes fatais 112, 113, 117

AD633 131, 132, 133, 135, 136, 137, 138

Análise luminotécnica 25

Arduino 37, 39, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 59, 111, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 128, 129, 130

Automação 9, 22, 36, 38, 47, 48, 59, 119, 121, 123, 127, 128, 150, 154, 155

Azeite 159, 160, 161, 163, 168

B

Backflashover 11, 12, 19, 20, 21, 22, 60, 61, 62, 70, 71, 72, 73

Bancada experimental 77, 78, 84, 85, 88

Bluetooth 36, 37, 39, 46, 47, 48, 49, 122

Boxplot 112, 113, 114, 115, 116

C

Classificadores 159, 160

Controle volt-watt 89

Costs 21, 36

D

DAC 131, 132, 134, 135, 137, 138

Descargas atmosféricas 11, 12, 60, 61

Design automation 36, 141

Distúrbios da voz 1

E

Eletricidade 45, 112, 113, 118, 120, 121, 129

Eletrodo de superfície 140

Eletromiografia 140, 143, 147

EMG 140, 141, 142, 143, 145

Espectrofotometria 50

Estágio de saída 131, 132, 133, 134, 136, 138

Estudo de cores 25

Extensão 148, 157

F

Fotometria 103, 104, 105

G

Geração solar 89, 90, 101

Gerador de ondas arbitrárias 131, 132, 138, 139

I

Iluminação no ambiente hospitalar 25

Infrared sensors 36

Instrumentos de medição 103

Internet das coisas 119, 120, 122, 130

L

Lighting control 36, 49

Linhas de transmissão 11, 12, 60, 61, 117

M

Microcontroladores 103

Microprocessador 36

Microrrede 77, 78, 79, 87

O

Óleo vegetal 159, 161

P

Perceptron multicamadas 1, 3

Processamento de imagem 159

Q

Qualificação profissional 148, 149, 155, 156

R

Raspberry Pi 46, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 159, 160, 163

Reconhecimento de padrão 159, 160

Recursos distribuídos de energia 77, 78

S

Sistemas de aterramento 11, 12, 61

Sobretensão 89, 91, 98, 100, 101

Software de controle 50

T

Transformada Wavelet Packet 1, 2

U

Usinas termelétricas 148, 149, 152, 155

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA:

COMUNICAÇÃO INTEGRADA
NO UNIVERSO DA ENERGIA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021