

Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª 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
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª 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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
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/UFGA
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª 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
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª 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
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª 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: o mundo sob perspectivas avançadas

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: o mundo sob perspectivas avançadas / 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 978-65-5983-013-8
DOI 10.22533/at.ed.138211305

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

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 eletricitista 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 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. 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

FUSÃO DE SENSORES INERCIAIS BASEADA EM FILTRO DE KALMAN

Carolina Barbosa Amaro Dias

DOI 10.22533/at.ed.1382113051

CAPÍTULO 2..... 14

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PRINCIPAIS DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Laura Vieira Maia de Sousa

Paula Meyer Soares

DOI 10.22533/at.ed.1382113052

CAPÍTULO 3..... 30

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA UFAC (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE)

Pedro Henrique Melo Costa

Thiago Melo de Lima

Antonio Carlos Alves de Farias

Rennard de Oliveira Brito

DOI 10.22533/at.ed.1382113053

CAPÍTULO 4..... 44

ANÁLISE DOS ASPECTOS SAZONAIS DA NEBULOSIDADE NO PROJETO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS FIXAS EM BRASÍLIA/DF

Licinius Dimitri Sá de Alcantara

Mayara Soares Campos

DOI 10.22533/at.ed.1382113054

CAPÍTULO 5..... 57

TÉCNICA PREDITIVA DE SEGUIMENTO DO PONTO DE POTÊNCIA MÁXIMA GLOBAL DE ARRANJOS FV EM SOMBREAMENTO PARCIAL

Paulo Robson Melo Costa

Lucas Taylan Ponte Medeiros

Isaac Rocha Machado

Marcus Rogério de Castro

DOI 10.22533/at.ed.1382113055

CAPÍTULO 6..... 76

ANÁLISE DE TOPOLOGIAS EM TRAÇADOR DE CURVA I-V APLICADOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo

Arthur Vinicius dos Santos Lopes

Adson Bezerra Moreira

DOI 10.22533/at.ed.1382113056

CAPÍTULO 7.....	94
METODOLOGIA PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DE CARGA APLICADA A CONSUMIDORES RESIDENCIAIS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	
Andrei da Cunha Lima	
Laura Lisiane Callai dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.1382113057	
CAPÍTULO 8.....	113
ESTUDO DO SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DE ÚNICO ESTÁGIO COM CONEXÃO DIRETA AO SISTEMA ELÉTRICO TRIFÁSICO	
Lucas Taylan Ponte Medeiros	
Paulo Robson Melo de Costa	
Ângelo Marcilio Marques dos Santos	
Leonardo Pires de Sousa Silva	
Denisia de Vasconcelos Mota	
Adson B. Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.1382113058	
CAPÍTULO 9.....	129
ESTUDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	
André Favetta	
Daniel Augusto Pagi Ferreira	
Maurício José Bordon	
DOI 10.22533/at.ed.1382113059	
CAPÍTULO 10.....	142
ESTUDO DAS CAUSAS DE SNAIL TRAILS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO CRISTALINO: REVISÃO.	
Neolmar de Matos Filho	
Dênio Alves Cassini	
Túlio Pinheiro Duarte	
Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
DOI 10.22533/at.ed.13821130510	
CAPÍTULO 11.....	156
THE IMPACT OF THE FREQUENCY DEPENDENCE OF SOIL ELECTRICAL PARAMETERS ON LIGHTNING OVERVOLTAGES DEVELOPED IN A 138 KV TRANSMISSION LINE	
Felipe Mendes de Vasconcellos	
Fernando Augusto Moreira	
Rafael Silva Alípio	
DOI 10.22533/at.ed.13821130511	
CAPÍTULO 12.....	170
A INFLUÊNCIA DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO SOLO SOBRE O DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	
Felipe Mendes de Vasconcellos	

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130512

CAPÍTULO 13..... 189

AVALIAÇÃO DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO SOLO NA RESPOSTA IMPULSIVA DO ATERRAMENTO E NAS SOBRETENSÕES DE ORIGEM ATMOSFÉRICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Felipe Mendes de Vasconcellos

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130513

CAPÍTULO 14..... 207

CONVERSORES E INVERSORES PARA ACIONAMENTO E CONTROLE DE UM VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO

Moisés de Mattos Dias

Niklaus Veit Lauxen

Marco Antônio Fröhlich

Claudionor Atilio Vingert

Giuseppe Guilherme Mergener Vingert

Luiz Carlos Gertz

Alessandro Sarmiento dos Santos

José Lesina Cezar

Patrice Monteiro de Aquim

Jonathan Moling

Gabriel Mateus Neumann

Nickolas Augusto Both

Monir Goethel Borba

Lirio Schaeffer

DOI 10.22533/at.ed.13821130514

CAPÍTULO 15..... 221

ESTUDO DA TECNOLOGIA DE FRENAGEM REGENERATIVA E SEU IMPACTO NA AUTONOMIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS ALIMENTADOS POR BATERIAS

Gabriel Silva de Marchi Benedito

Daniel Augusto Pagi Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.13821130515

CAPÍTULO 16..... 238

PATH PLANNING COLLISION AVOIDANCE USING REINFORCEMENT LEARNING

Josias Guimarães Batista

Emerson Verar Aragão Dias

Felipe José de Sousa Vasconcelos

Kaio Martins Ramos

Darielson Araújo de Souza

José Leonardo Nunes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.13821130516

CAPÍTULO 17.....	252
CONTROLE DE PRECISÃO PARA PRÓTESES MECÂNICAS	
Haniel Nunes Pereira Pinheiro	
Ronaldo Domingues Mansano	
DOI 10.22533/at.ed.13821130517	
CAPÍTULO 18.....	266
ESTUDO DA VIABILIDADE DO MEDIDOR DE FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA FLOW™ E ADAPTAÇÃO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS	
Camila de Souza Gomes	
Ana Carolina Silva de Aquino	
Gabriela Haydee Mayer de Figueiredo Barbosa	
Maria Eduarda Santos Amaro	
Sergio Murilo Castro Cravo de Oliveira	
Lilian Regina de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.13821130518	
CAPÍTULO 19.....	280
OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA E AUTOMATIZAÇÃO PARA UM PASTEURIZADOR COM CONCENTRADOR CILÍNDRICO-PARABÓLICO	
Gustavo Krause Vieira Garcia	
Antonio Lucas dos Santos Carlos	
Neemias Dantas Fernandes	
Taciano Amaral Sorrentino	
DOI 10.22533/at.ed.13821130519	
CAPÍTULO 20.....	297
ESTUDO DA SECAGEM SOLAR DE BIOMASSA DE LARANJA COM CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA	
Mariana de Miranda Oliveira	
Leandro Antônio Fonseca Domingues	
Andrea Lucia Teixeira Charbel	
DOI 10.22533/at.ed.13821130520	
CAPÍTULO 21.....	307
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NO CAPACITOR TÉRMICO DE UM SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO INDIRETA	
Brenda Fernandes Ribeiro	
Antonio Gomes Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.13821130521	
CAPÍTULO 22.....	321
MODELAGEM E CONTROLE DE UMA PLATAFORMA EXPERIMENTAL DO TIPO GANGORRA DE EIXO ÚNICO	
Reinel Beltrán Aguedo	
Ricardo José de Farias Silva	
Ania Lussón Cervantes	
DOI 10.22533/at.ed.13821130522	

CAPÍTULO 23.....335

DESSALINIZADOR SOLAR PORTÁTIL PARA APLICAÇÃO EM COMUNIDADES RURAIS NO RIO GRANDE DO NORTE

Paulo Vinícius de Souza Oliveira
Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra
Luiz José de Bessa Neto
Vitória Caroline Carvalho do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.13821130523

CAPÍTULO 24.....350

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DIDÁTICA COMPUTACIONAL APLICADA À ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS EM UM AMBIENTE DE CÓDIGO ABERTO - SCIENTIFIC LABORATORY (SCILAB)

Matheus Silva Pestana
Danúbia Soares Pires
Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.13821130524

CAPÍTULO 25.....363

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO CIVIL

Mauricio Andrade Nascimento
Ednildo Andrade Torres

DOI 10.22533/at.ed.13821130525

CAPÍTULO 26.....391

MONITORAÇÃO REMOTA DE RESERVATÓRIOS LÍQUIDOS UTILIZANDO O MÓDULO ESP32-LoRa

Maria Eduarda Aparecida Gil
Thiago Timoteo Henrique
Getúlio Teruo Tateoki

DOI 10.22533/at.ed.13821130526

CAPÍTULO 27.....397

S.A.C SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO CICLISTA

Ricardo Bussons da Silva
Alexandre Henrique Ferreira Rodrigues
Deivid Roberto Almeida Vasconcellos
Rian Guilherma Braga de Lima
San-Cleir Neto Silva Orlanlandes
Victor Manoel Rosa de Moraes

DOI 10.22533/at.ed.13821130527

CAPÍTULO 28.....402

UMA ABORDAGEM BASEADA EM APRENDIZADO DE MÁQUINA E DESCRITORES ESTATÍSTICOS PARA O DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM ROLAMENTOS DE MÁQUINAS ROTATIVAS

Lucas de Oliveira Soares

Luiz Alberto Pinto
Diego Assereuy Lobão

DOI 10.22533/at.ed.13821130528

SOBRE OS ORGANIZADORES	415
ÍNDICE REMISSIVO.....	416

TÉCNICA PREDITIVA DE SEGUIMENTO DO PONTO DE POTÊNCIA MÁXIMA GLOBAL DE ARRANJOS FV EM SOMBREAMENTO PARCIAL

Data de aceite: 01/05/2021

Paulo Robson Melo Costa

Universidade Federal do Ceará, Campus Sobral, Curso de Engenharia Elétrica
<http://lattes.cnpq.br/2936328394076426>

Lucas Taylan Ponte Medeiros

<http://lattes.cnpq.br/0243246687397887>

Isaac Rocha Machado

<http://lattes.cnpq.br/2956585618746136>

Marcus Rogério de Castro

Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica e de Computação – PPEEC/UFC
<http://lattes.cnpq.br/0396779664792647>

RESUMO: Neste trabalho, é proposta uma técnica de Seguimento do Ponto de Potência Máxima Global (SPPMG) capaz de rastrear o ponto de potência máxima em pouquíssimo tempo mesmo na presença de diversos picos de potência na curva Potência-Tensão do arranjo FV. O SPPMG proposto atua estimando a localização dos possíveis picos de potência, verifica qual deles é o maior e, em seguida, afina o rastreamento sobre o maior dos picos utilizando o algoritmo Perturb & Observe (P&O). Um Modo Noturno é também implementado para a atuação do sistema com a tensão fixa quando a geração FV é baixa ou nula. Os resultados obtidos através de simulação computacional no software PSIM mostram que o sistema FV com o SPPMG

proposto é capaz de injetar na rede elétrica o máximo de potência disponibilizada pelo sistema FV mesmo na ocorrência de sombreamento, melhorando a eficiência de geração do sistema.

PALAVRAS - CHAVE: SPPMG, GMPPT, Sombreamento Parcial

GLOBAL MAXIMUM POWER POINT TRACKING ESTIMATE TECHNIQUE FOR PV ARRAY UNDER PARTIAL SHADING CONDITIONS

ABSTRACT: This paper proposes a Global Maximum Power Point Tracking (GMPPT) technique capable of tracking the maximum power point in a very short time even in the presence of several power peaks in the Power-Voltage curve of the PV Array. The proposed GMPPT estimates the location of possible power peaks, verifies which one is the highest, and then fine-tunes the tracking over the highest of the peaks using the Perturb & Observe (P&O) algorithm. A Nighttime Mode is also implemented to maintain the PV voltage constant when PV generation is low or zero. The results obtained through computer simulation in the PSIM software show that the PV system with the proposed GMPPT is able to inject the maximum power available by the PV system even in the event of partial shading, improving the system generation efficiency.

KEYWORDS: GMPPT, Partial Shading, Solar Energy.

1 | INTRODUÇÃO

A curva Potência-Tensão (P-V) característica de um sistema fotovoltaico depende das condições de operação (irradiância e temperatura) de cada módulo. Quando o nível de irradiância é o mesmo em todos os módulos, o sistema está em condição de sombreamento uniforme (USC – *Uniform Shading Condition*), e a curva P-V possui um único pico de potência máxima (PPM). Quando os módulos estão submetidos a diferentes níveis de irradiância, o sistema está em condição de sombreamento parcial (PSC – *Partial Shading Condition*) e a curva P-V pode possuir vários PPMs, sendo apenas um o pico de potência máxima global (PPMG) e os demais são os picos de potência máxima locais (PPML).

O seguimento do ponto de potência máxima (SPPM ou no inglês MPPT – *Maximum Power Point Tracking*) consiste em variar a tensão do arranjo fotovoltaico até que a máxima potência gerada seja atingida. Muitas técnicas de SPPM foram discutidas na literatura (Esrám e Chapman, 2007), entretanto, algumas podem ficar confinadas em algum PPML durante o rastreamento.

Uma solução adotada para reduzir os efeitos do sombreamento na geração fotovoltaica é chamada *Distributed Maximum Power Point Tracking* (DMPPT). Existem, basicamente, duas abordagens distintas de DMPPT. A primeira é baseada na utilização de conversores c.c.-c.a. dedicados a cada módulo, denominados microinversores. Deste modo, o rastreamento do PPM é feito individualmente para cada módulo FV (Kjaer, Pedersen e Blaabjerg, 2005). A segunda abordagem consiste em utilizar conversores c.c.-c.c. dedicados a cada módulo, realizando SPPM de cada módulo FV e utiliza inversor(es) centralizado(s) (Femia et al., 2008; Walker e Sernia, 2004). Modelar e projetar um sistema fotovoltaico com DMPPT é notavelmente mais complexo do que implementar uma técnica SPPM convencional, além de envolver mais dispositivos e maior custo financeiro (Femia et al., 2017).

Outra alternativa ao problema causado pelo sombreamento parcial é a utilização de algoritmos capazes de identificar o PPM global (PPMG) mesmo quando a curva P-V apresenta vários picos. Esta técnica é denominada Seguimento do Ponto de Potência Máxima Global (SPPMG ou do inglês GMPPT – *Global Maximum Power Point Tracking*). As estratégias já apresentadas pela literatura são as mais diversas, variando em complexidade, velocidade de rastreio, precisão e tipo de aplicação. Estas técnicas podem ser classificadas em três categorias: técnicas baseadas em métodos convencionais, técnicas que utilizam algoritmos de inteligência computacional e técnicas que combinam os métodos convencionais com algoritmos de inteligência computacional.

Dentre as técnicas baseadas em métodos convencionais, Chen *et al.* (2014) estimam a posição dos picos de potência locais por meio da tensão medida em cada um dos módulos e utiliza o algoritmo P&O para afinar o resultado, a proposta é simples e rápida mas necessita de sensores de tensão em cada módulo, o que aumenta a complexidade da

instalação e os custos financeiros para implementação. Fang e Lian (2017) definiram uma região entre 50 e 90% da tensão de circuito aberto (V_{OC}), região com maior probabilidade de localizar o PPMG, essa região é fatiada em partes onde se aplica o P&O. Ghasemi, Foroushani e Parniani (2016) empregaram rampas de tensão em toda a faixa de 0 a V_{OC} , ao invés de degraus durante o SPPMG, isso diminui as oscilações de tensão e garante uma varredura mais rápida na faixa de tensão. Ahmed e Salam (2015) it is widely assumed that the peaks of a partially shaded P-V curve are located at the multiples of $0.8V_{oc}$, where V_{oc} is the open-circuit voltage of the PV module. However, this assumption - known as the $0.8V_{oc}$ model for partial shading - is not necessarily true. If the same model is used to design the maximum power point tracker (MPPT) propuseram uma forma de estimar a localização na curva P-V dos possíveis picos de potência. Tal técnica consiste em uma correção na técnica que utiliza múltiplos de $0,8 \cdot V_{OC}$, cujo erro passa a ser relativamente alto quando o número de módulos é maior do que seis. Ramyar, Iman-eini e Farhangi (2017) utilizaram múltiplos de $0,8 \cdot V_{OC}$ para estimar a localização dos possíveis picos de potência e empregaram o algoritmo P&O, HC e IncCond, respectivamente, para afinar o rastreamento. Patel e Agarwal (2008) empregaram um controlador em malha fechada no conversor c.c.-c.c. intermediário para acelerar o tempo de rastreamento, utilizando o algoritmo P&O onde variações de tensão são aplicadas para o rastreamento não ficar confinado em um pico local. A técnica proposta por Zhu et al. (2016) faz a busca do máximo global continuamente por meio de variações aplicadas a um controlador PI de potência, porém o rastreio é relativamente lento e pode gerar perdas de potência pois é feito continuamente, não avaliando a real necessidade de buscar em toda a curva. Jeyaprabha e Selvakumar (2017) apresentaram um método de compensação de corrente nos módulos sombreados e de compensação de tensão para equalização dos conjuntos de módulos em série, tornando o método complexo e bastante oneroso devido à grande quantidade de componentes, conversores e sensores.

Das técnicas que utilizam algoritmos com inteligência computacional, o algoritmo *Particle Swarm Optimization* (PSO) não depende de informações prévias da folha de dados do fabricante dos módulos FV nem do arranjo e requer baixo custo computacional. Porém, necessita um grande número de interações e produz oscilações na tensão durante a busca (Da Silva et al., 2017). Koad, Zobia e El-Shahat (2017) empregaram a Interpolação Lagrangiana, utilizando informações da folha de dados do fabricante do módulo FV, para estimar e direcionar as partículas iniciais da técnica PSO para pontos próximos dos possíveis picos locais (LI-PSO). O tempo de convergência é reduzido em relação ao PSO tradicional. O algoritmo *Accelerated PSO* (APSO) foi proposto por Rajendran e Srinivasan (2016), as partículas iniciais deixam de ser geradas aleatoriamente e são determinadas por pontos no intervalo de tensão. O fator de velocidade também é alterado para acelerar a convergência. Já a técnica *Differential Evolutionary PSO* (DEPSO) garante uma convergência mais rápida com baixo custo computacional. Porém, gera muita oscilação na tensão do arranjo FV

(Kumar et al., 2017b). Pragallapati, Sen e Agarwal (2017) empregaram a técnica *Adaptive Velocity* PSO (AVPSO) que minimiza as chances das partículas ficarem presas em um máximo local, além de reduzir as oscilações na tensão do arranjo FV pois as partículas tem suas posições classificadas a cada iteração. A técnica *Weibull Pareto Sine-Cosine* Optimization (WPSCO) foi empregada por Kumar et al. (2017a) como SPPMG.

Alguns trabalhos propuseram técnicas híbridas, formadas pela utilização de um método convencional em conjunto com um algoritmo de inteligência computacional a fim de acelerar a convergência do rastreamento ou utiliza-las em condições de sombreamento distintas. Independente do grupo a que pertença, a complexidade da técnica de SPPMG em PSC tende a aumentar quando comparada a técnicas convencionais utilizadas em USC. Nesse sentido, a literatura tem apresentado propostas de detecção de PSC e USC, de forma que a parte mais complexa do SPPMG seja usada apenas em caso de PSC. Assim, o seguimento do PPMG sempre acontece, utilizando as técnicas adequadas que cada tipo de condição de sombreamento exige. Como resultado, o tempo de rastreamento é equilibrado e evita perdas de potência (Manickam et al., 2017; Mohanty, Subudhi e Ray, 2017).

Neste trabalho, é proposto e implementado um algoritmo de SPPMG que atua em duas etapas:

1. Estimação da localização dos possíveis picos de potência na curva *P-V* e verificação de qual desses pontos produz mais potência;
2. Execução do algoritmo P&O a partir do ponto de máxima potência encontrado objetivando refinar o rastreamento e executá-lo continuamente até o próximo ciclo de busca.

Ao mesmo tempo, a técnica proposta, monitora a potência gerada a fim de detectar mudanças significativas nas condições de irradiância e reiniciar a rotina de SPPMG. Para evitar que o sistema fique reiniciando a busca constantemente durante os períodos de baixa irradiância, um modo de operação noturna também é previsto e implementado a fim de manter fixa, em períodos de pouca ou nenhuma irradiância incidente, a tensão do arranjo FV.

2 | EFEITOS DO SOMBREAMENTO PARCIAL

Uma célula FV pode ser representada como mostrado no circuito equivalente na Fig. 1 (Femia *et al.*, 2017). O comportamento da corrente da célula em função da sua tensão (*I-V*) é descrito pela equação de Shockley

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{\eta k_B T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

onde $k_B = 1,3806503 \cdot 10^{-23}$ J/K é a constante de Boltzmann, T é a temperatura na

junção em K, $q = 1,60217646 \cdot 10^{-19}$ C é a carga elementar do elétron, V é a tensão nos terminais da célula, η é o fator de idealidade ($1 \leq \eta \leq 2$), I_0 é a corrente de saturação do diodo e I_{ph} é a corrente fotogerada. R_s e R_p são as resistências série e paralelo, respectivamente.

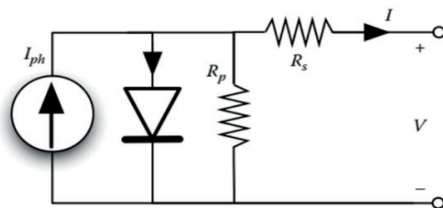


Figura 1 - Circuito equivalente do modelo de um único diodo da célula fotovoltaica.

Quando o sombreamento ocorre uniformemente em todo o módulo (ou arranjo) fotovoltaico, ou seja, mantendo o mesmo nível de irradiância em todas as células, diz-se que o sistema fotovoltaico está em condição de sombreamento uniforme (USC – *Uniform Shading Condition*). O comportamento do sistema FV sob esta condição é exatamente como mostrado na Fig. 2, onde o grau de sombreamento afeta o nível de irradiância, mas não afeta a características I - V e P - V típicas. Desta forma, a curva I - V apresentará sempre apenas um patamar de corrente de curto-circuito e, conseqüentemente, a curva P - V apresentará apenas um pico de potência (PPM). Isto ocorre pois a curva I - V de uma associação de células ou módulos fotovoltaicos se forma como mostrado na Fig. 3, para o caso de todos os módulos estarem em STC.

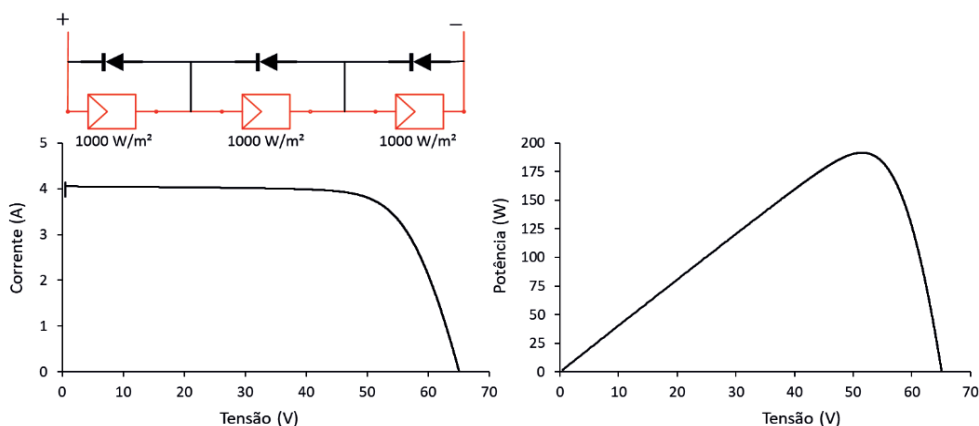


Figura 2 - Curvas I - V e P - V características referente à associação série de três módulos fotovoltaicos em condições de USC.

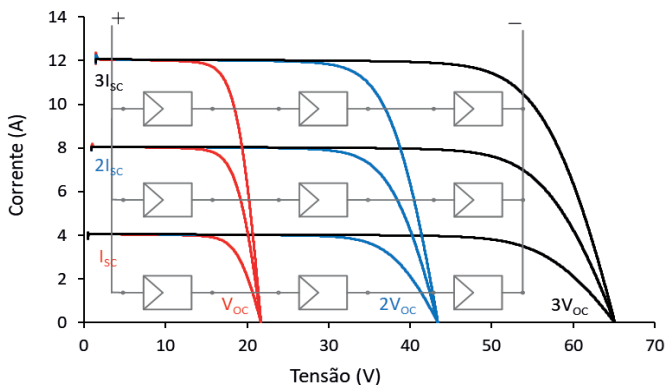


Figura 3 - Curva I - V característica referente à associação mista de três módulos fotovoltaicos em condições de STC.

Por outro lado, o sombreamento parcial (PSC – *Partial Shading Condition*) em um sistema fotovoltaico é uma condição na qual apenas uma certa porção do módulo fotovoltaico (ou arranjo) é sombreada, enquanto outras partes permanecem uniformemente irradiadas. É tipicamente causado pela sombra dos edifícios próximos, árvores, postes, chaminés, cabos aéreos, etc. uma célula menos iluminada limita a corrente de toda a *string* de células correspondente. Como consequência, a célula sombreada pode sofrer sobreaquecimento e eventuais danos. Por esse motivo, diodos de *bypass* são comumente instalados em paralelo (polarização reversa) com um conjunto de células no módulo FV para servirem como um caminho alternativo para a corrente nas células sombreadas (Castañer e Silvestre, 2002).

Se o sistema for submetido a sombreamento parcial, uma quantidade considerável de energia é perdida porque o módulo sombreado é curto-circuitado por seu respectivo diodo de *bypass*, forçando sua tensão (e energia) a zero. Como consequência, a curva I - V apresenta vários patamares de corrente e a curva P - V apresenta vários picos de potência locais (PPML) e um global (PPMG).

Cada *string* de células com um diodo de *bypass* pode produzir um pico de potência na curva P - V se estiver submetido a uma irradiância diferente das demais *strings*. Assim, no caso do arranjo da Fig. 4, como são 3 módulos conectados em série, cada um com um diodo de *bypass*, é possível produzir até 3 (total de diodos de *bypass*) picos de potência na curva P - V do arranjo FV, se cada uma desses módulos estiver submetido a uma irradiância diferente (Markvart e Castañer, 2003).

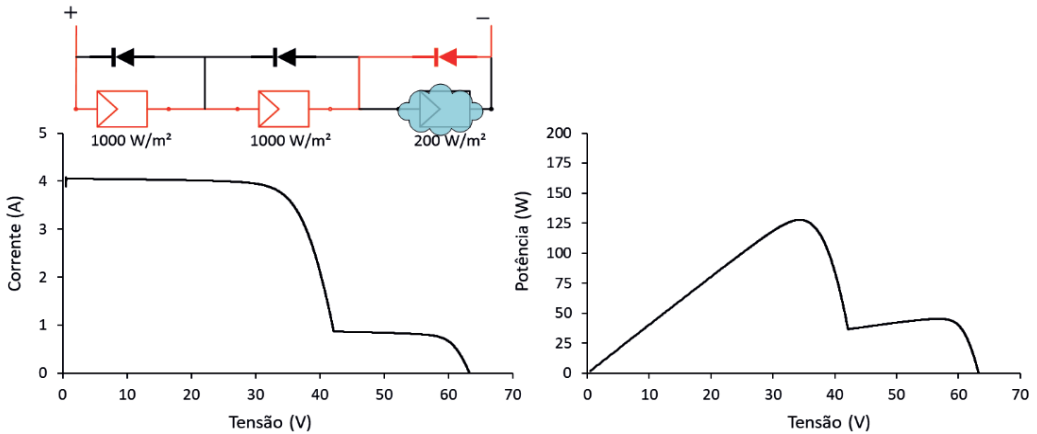


Figura 4 - Curvas $I-V$ e $P-V$ características referentes à associação série de três módulos fotovoltaicos em condições de PSC com um módulo sombreado.

3 I ALGORITMO DE SPPMG PROPOSTO

Neste trabalho, é proposto um algoritmo de SPPMG para um sistema FV. A técnica de SPPMG proposta neste trabalho atua em duas etapas:

1. Estimativa da localização dos possíveis picos de potência na curva $P-V$ e verificação de qual desses pontos produz mais potência;
2. Execução do algoritmo P&O a partir do ponto de máxima potência encontrado objetivando refinar o rastreamento e executá-lo continuamente até o próximo ciclo de busca.

Ao mesmo tempo, a técnica proposta, monitora a potência gerada a fim de detectar mudanças significativas nas condições de irradiância e reiniciar a rotina de SPPMG. Para evitar constantes rastreamentos durante o período de baixa geração, um modo de operação noturna também é previsto e implementado a fim de manter fixa a tensão, em períodos de pouca ou nenhuma luz incidente.

3.1 Estimativa da localização dos possíveis picos de potência

A estimativa da localização dos possíveis picos de potência na curva $P-V$, primeira etapa da técnica de SPPMG apresentada neste trabalho, é baseada na estratégia proposta por Ahmed e Salam (2015) it is widely assumed that the peaks of a partially shaded $P-V$ curve are located at the multiples of $0.8V_{oc}$, where V_{oc} is the open-circuit voltage of the PV module. However, this assumption - known as the $0.8V_{oc}$ model for partial shading - is not necessarily true. If the same model is used to design the maximum power point tracker (MPPT. Esta estratégia consiste numa correção da técnica Tensão de Circuito Aberto Fracionada (*Fractional Open-Circuit Voltage* ou simplesmente $k_1 \cdot V_{oc}$), onde a localização

dos PPMs é estimada por

$$V_{PPM,j} = j \cdot k_1 \cdot V_{OC,m} = j \cdot k_1 \cdot \frac{V_{OC}}{N} \quad (2)$$

onde, N é o número de módulos conectados em série, V_{OC} é a tensão de circuito aberto do arranjo FV, $V_{OC,m}$ é a tensão de circuito aberto de um módulo FV, j representa o número do possível pico (da esquerda para a direita na curva $P-V$) e varia de 1 até N . $V_{PPM,j}$ é a tensão relativa ao j -ésimo PPM. O valor de k_1 , mais comumente utilizado é 0,8. No entanto, é preciso enfatizar que a Eq. (2) passa a apresentar elevados erros de estimação quando o sistema está sob PSC ou quando o número de módulos conectados em série é superior a cinco (Ahmed e Salam, 2015) it is widely assumed that the peaks of a partially shaded P-V curve are located at the multiples of $0.8V_{oc}$, where V_{oc} is the open-circuit voltage of the PV module. However, this assumption - known as the of $0.8V_{oc}$ model for partial shading - is not necessarily true. If the same model is used to design the maximum power point tracker (MPPT).

Observando-se a Fig. 5, nota-se a particularidade das curvas $I-V$ e $P-V$ para um exemplo de arranjo fotovoltaico sob condição de sombreamento parcial. O arranjo em questão é formado por 3 subconjuntos de módulos FV, onde o Subconjunto 1 possui N_1 módulos (cada um com seus diodos de *bypass* internos) conectados em série e todos submetidos a irradiância G_1 . De forma semelhante, são formados os Subconjuntos 2 e 3, com N_2 e N_3 módulos e irradiância G_2 e G_3 , respectivamente. Neste caso temos, $N_1=N_2=N_3$ e $G_1>G_2>G_3$. Como existem três níveis de irradiância, a curva $I-V$ possui 3 patamares de corrente e a curva $P-V$ apresenta 3 picos de potência.

Tomando a Eq. (2), da técnica Tensão de Circuito Aberto Fracionada ou $k_1 \cdot V_{OC}$, pode-se escrever:

$$V_{PPM,1} = k_1 \cdot N_1 \cdot V_{OC,m} \quad (3)$$

Após o primeiro pico (em $V_{PPM,1}$), a corrente decai rapidamente e o segundo patamar de corrente é alcançado, onde V_{sub1} é a tensão que separa a Região 1 da Região 2 (identificadas na Fig. 5). Sendo α uma constante de proporcionalidade, V_{sub1} pode ser escrito da seguinte forma:

$$V_{sub1} = \alpha_1 \cdot N_1 \cdot V_{OC,m} \quad (4)$$

Assim, o segundo pico ocorre em:

$$V_{PPM,2} = V_{sub1} + k_1 \cdot N_2 \cdot V_{OC,m} \quad (5)$$

De forma semelhante, pode-se aproximar a tensão que separa as Regiões 2 e 3 (V_{sub2}), por:

$$V_{sub2} = V_{sub1} + \alpha_2 \cdot N2 \cdot V_{OC,m} \quad (6)$$

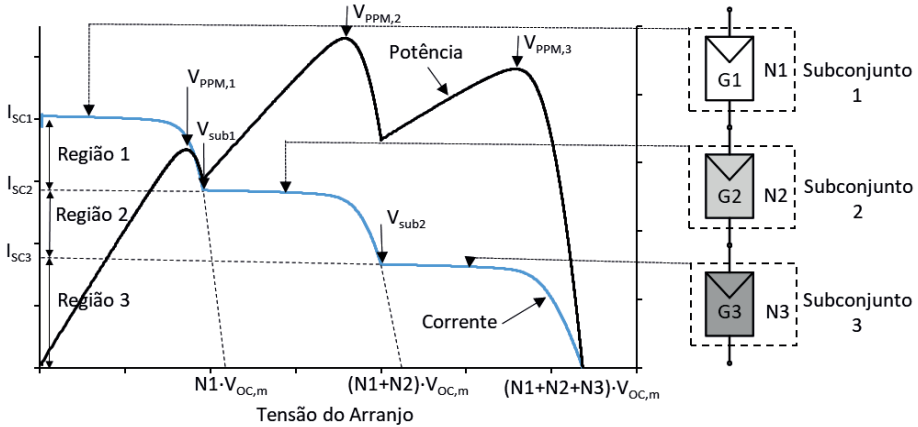


Figura 5 - Curvas P - V e I - V de um arranjo fotovoltaico em condição de sombreamento parcial.

A localização do terceiro pico (em $V_{PPM,3}$) também pode ser aproximada por:

$$V_{PPM,3} = V_{sub2} + k_1 \cdot N3 \cdot V_{OC,m} \quad (7)$$

Os valores de α_1 , α_2 , e etc., dependem da relação entre os patamares de corrente (patamar anterior dividido pelo patamar atual). Quanto maior esta relação, maior é o valor do respectivo α . Para simplificação e evitar que seja realizada uma varredura na curva I - V apenas para determinar os valores destas constantes, pode-se considerar um único valor de α , logo, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$.

Substituindo (4) e (6) em (5) e (7) a fim de encontrar os valores das tensões onde ocorrem os picos de potência estimados, tem-se:

$$V_{PPM,1} = k_1 \cdot N1 \cdot V_{OC,m} \quad (8)$$

$$V_{PPM,2} = \alpha \cdot N1 \cdot V_{OC,m} + k_1 \cdot N2 \cdot V_{OC,m} = (\alpha \cdot N1 + k_1 \cdot N2) \cdot V_{OC,m} \quad (9)$$

$$V_{PPM,3} = \alpha \cdot N1 \cdot V_{OC,m} + \alpha \cdot N2 \cdot V_{OC,m} + k_1 \cdot N3 \cdot V_{OC,m} = [\alpha \cdot (N1 + N2) + k_1 \cdot N3] \cdot V_{OC,m} \quad (10)$$

A Tab. 1 apresenta a comparação entre o cálculo das tensões em cada um dos picos pela Técnica $k_1 \cdot V_{OC}$ e pelo método proposto mostrado acima. Pode-se notar que a técnica $k_1 \cdot V_{OC}$ é um caso particular da técnica proposta, onde $\alpha = k_1$. Porém, esse caso implica também nas igualdades $V_{sub1} = V_{PPM,1}$ e $V_{sub2} = V_{PPM,2}$ que são claramente equivocadas, como

pode ser observado na Fig. 5. A coluna Erro na tabela mostra que o erro da técnica $k_1 \cdot V_{OC}$ é maior para os picos mais à direita na curva e para valores maiores de módulos no arranjo.

Pico	Técnica $k_1 \cdot V_{OC}$	Técnica proposta	Erro
$V_{PPM,1}$	$k_1 \cdot N1 \cdot V_{OC,m}$	$k_1 \cdot N1 \cdot V_{OC,m}$	0
$V_{PPM,2}$	$(N1 + N2) \cdot k_1 \cdot V_{OC,m}$	$(\alpha \cdot N1 + k_1 \cdot N2) \cdot V_{OC,m}$	$(\alpha - k_1) \cdot N1 \cdot V_{OC,m}$
$V_{PPM,3}$	$(N1 + N2 + N3) \cdot k_1 \cdot V_{OC,m}$	$[\alpha \cdot (N1 + N2) + k_1 \cdot N3] \cdot V_{OC,m}$	$(\alpha - k_1) \cdot (N1 + N2) \cdot V_{OC,m}$

Tabela 1 - Comparação entre as técnicas $k_1 \cdot V_{OC}$ e proposta para estimação da localização dos PPM.

Baseado nesta observação, a estimação da localização dos possíveis picos de potência pode ser feita por (11), onde j varia de 1 até o número de módulos conectados em série (N) do arranjo FV.

$$V_{PPM,j} = [\alpha \cdot (j-1) + k_1] \cdot V_{OC,m} = [\alpha \cdot (j-1) + k_1] \frac{V_{OC}}{N} \quad (11)$$

Como já mencionado, o valor de k_1 pode variar de 0,71 a 0,85 (Esrám e Chapman, 2007). Já a constante α pode assumir valores entre 0,8 e 0,97 (Ahmed e Salam, 2015) it is widely assumed that the peaks of a partially shaded P-V curve are located at the multiples of $0.8V_{oc}$, where V_{oc} is the open-circuit voltage of the PV module. However, this assumption - known as the of $0.8V_{oc}$ model for partial shading - is not necessarily true. If the same model is used to design the maximum power point tracker (MPPT).

Ahmed e Salam (2015) it is widely assumed that the peaks of a partially shaded P-V curve are located at the multiples of $0.8V_{oc}$, where V_{oc} is the open-circuit voltage of the PV module. However, this assumption - known as the of $0.8V_{oc}$ model for partial shading - is not necessarily true. If the same model is used to design the maximum power point tracker (MPPT utilizaram α variável em função da irradiância dos módulos, entretanto, o valor da irradiância incidida em cada módulo é uma informação difícil de ser obtida na prática. Mesmo utilizando piranômetros ou células de referência para cada módulo, é possível que a medição destes sensores não reflita a realidade, uma vez que é comum ocorrer sombreamento incidente apenas em parte do módulo. Desta forma, este trabalho propõe a utilização de um valor fixo para α , assim como é feito com a constante k_1 . Assim, ainda é possível realizar uma estimativa mais precisa em comparação com a técnica $k_1 \cdot V_{OC}$.

A obtenção dos parâmetros α e k_1 é realizada a partir da análise das curvas $P-V$ do arranjo fotovoltaico sob diversas condições de sombreamento. Os valores são escolhidos de forma a obter o menor erro de estimativa em diversos padrões de sombreamento. Para o caso de um arranjo fotovoltaico formado pela associação série de 6 módulos *Kyocera*

KC65T, as constantes obtidas são $\alpha = 0,9$ e $k_f = 0,72$.

Para comprovar a estimação da localização dos possíveis PPM por (11) e as constantes obtidas, o erro de estimação da técnica proposta é comparado com erro de estimação da técnica $k_f \cdot V_{OC}$ em (2) com $k_f=0,8$. Os casos de estudo são referentes ao arranjo fotovoltaico formado pela associação série de 6 módulos Kyocera KC65T. Na Tab. 2 são mostrados os padrões de sombreamentos nos Casos de 1 a 5, indicando a irradiância sobre cada um dos módulos do arranjo FV. Os resultados dos erros de estimação são mostrados na Fig. 6.

Padrão de sombreamento	Número do módulo e o respectivo valor de irradiância (W/m ²)					
	1	2	3	4	5	6
Caso 1	1000	1000	1000	400	400	400
Caso 2	1000	1000	700	700	400	400
Caso 3	1000	1000	800	600	400	400
Caso 4	1000	1000	800	600	400	200
Caso 5	1000	850	700	550	400	250

Tabela 2 - Padrões de irradiância para cada um dos seis módulos KC65T do arranjo.

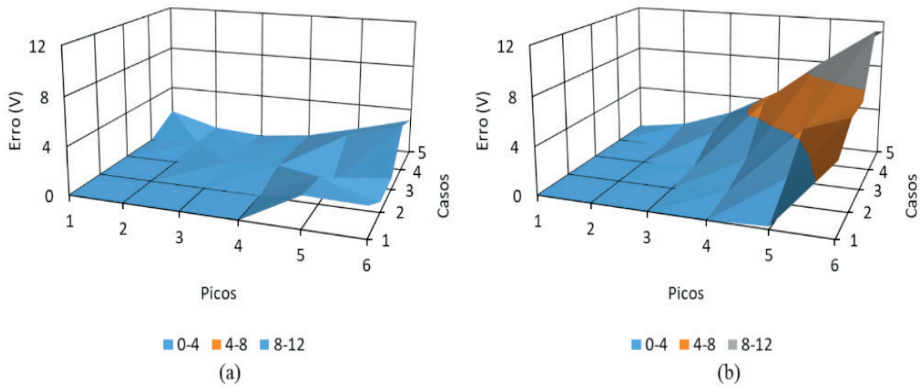


Figura 6 - Comparação do erro de estimação da localização dos PPM da técnica proposta (a) e da técnica $k_f \cdot V_{OC}$ (b).

O erro de estimação mostrado na Fig. 6 é calculado pela diferença absoluta entre o V_{PPM} obtido na simulação e o V_{PPM} estimado, para cada um dos picos.

$$Erro = |V_{simulado} - V_{estimado}| \quad (12)$$

O número máximo de picos de potência possíveis na curva $P-V$ é igual ao número de diodos de *bypass* no arranjo fotovoltaico. Considerando que um módulo FV possui

mais de um diodo de *bypass* e que é possível ocorrer PSC em um único módulo, pode-se reescrever (11) como segue

$$V_{PPM,j} = [\alpha \cdot (j-1) + k_1] \cdot \frac{V_{OC,m}}{N_{db}} = [\alpha \cdot (j-1) + k_1] \frac{V_{OC}}{N \cdot N_{db}} \quad (13)$$

onde, N_{db} é o número de diodos de *bypass* em cada módulo FV e, neste caso, j varia de 1 até $N \cdot N_{db}$. Pode-se utilizar (11) ou (13) para realizar a estimação, sendo recomendada a primeira para arranjos com grande quantidade de módulos e a segunda para arranjos com poucos módulos.

3.2 Algoritmo P&O para afinar o rastreamento

Um algoritmo *Perturb & Observe* pode ser utilizado para afinar o rastreamento do PPMG em torno do ponto estimado. Outra funcionalidade de utilizar este algoritmo é que ele é executado de forma contínua, acompanhando alterações de tensão e potência do PPMG.

A técnica P&O é baseada na seguinte estratégia: o ponto de operação do sistema fotovoltaico é perturbado periodicamente pela alteração da tensão nos terminais do arranjo fotovoltaico, e após cada perturbação, o algoritmo de controle compara os valores da potência gerada pelo sistema antes e depois da perturbação. O sentido da próxima perturbação é alterado caso a perturbação anterior tenha produzido uma variação de potência negativa, como mostrado na Tab. 3. O fluxograma do SPPM baseado em P&O é mostrado na Fig. 7. O intervalo de tempo entre cada iteração é o tempo de perturbação T_p e o valor da perturbação aplicada na tensão é ΔV .

Perturbação	Varição da potência	Próxima perturbação
Positiva	Positiva	Positiva
Positiva	Negativa	Negativa
Negativa	Positiva	Negativa
Negativa	Negativa	Positiva

Tabela 3 – Resumo do algoritmo P&O.

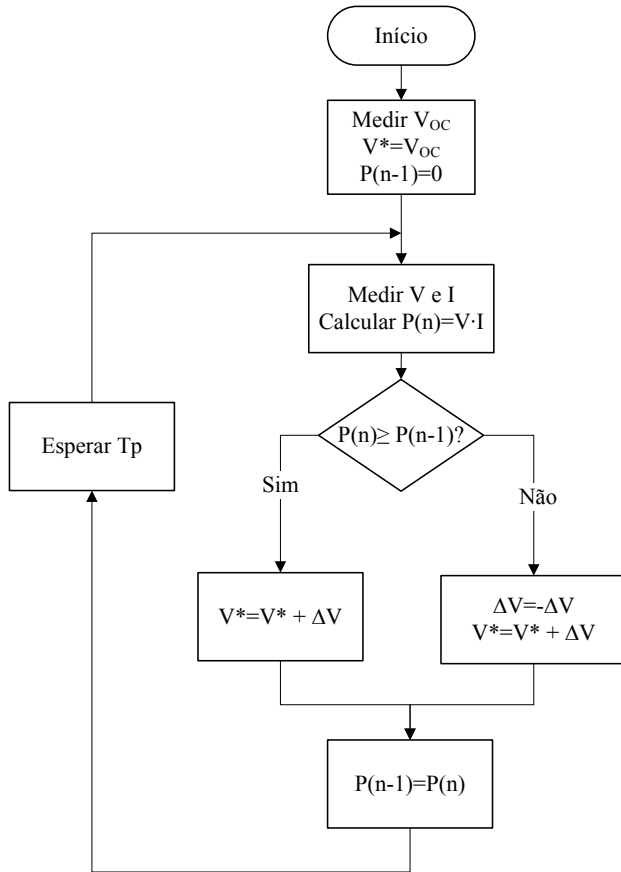


Figura 7 - Exemplo de fluxograma de SPPM baseado no algoritmo *Perturb & Observe*.

A Fig. 8 (a) mostra como o algoritmo *P&O* atua na curva *P-V*, saindo de V_{OC} até alcançar V_{PPM} . No *P&O* a busca é contínua e oscila em torno do pico de potência na curva *P-V*. A característica desta oscilação depende dos parâmetros ΔV e T_p .

O comportamento no domínio do tempo do SPPM baseado em *P&O* é mostrado na Fig. 8 (b). Femia *et al.* (2005) demonstraram que o número mínimo de degraus que garantem uma oscilação periódica e estável ao redor do PPM é igual a três, correspondendo a uma amplitude de $2 \cdot \Delta V$ pico-a-pico e um período de $4 \cdot T_p$. Esta é a condição ideal, mais degraus à esquerda ou à direita do PPM reduziriam a potência FV média. Independente da amplitude ΔV , um comportamento estável de 3 níveis é obtido se o intervalo de tempo T_p for selecionado corretamente. Se for estabelecido um valor muito pequeno, o algoritmo *P&O* pode se confundir e entrar em um ponto de operação instável (Venturini *et al.*, 2008). Por outro lado, um valor muito grande T_p penaliza a velocidade do SPPM.

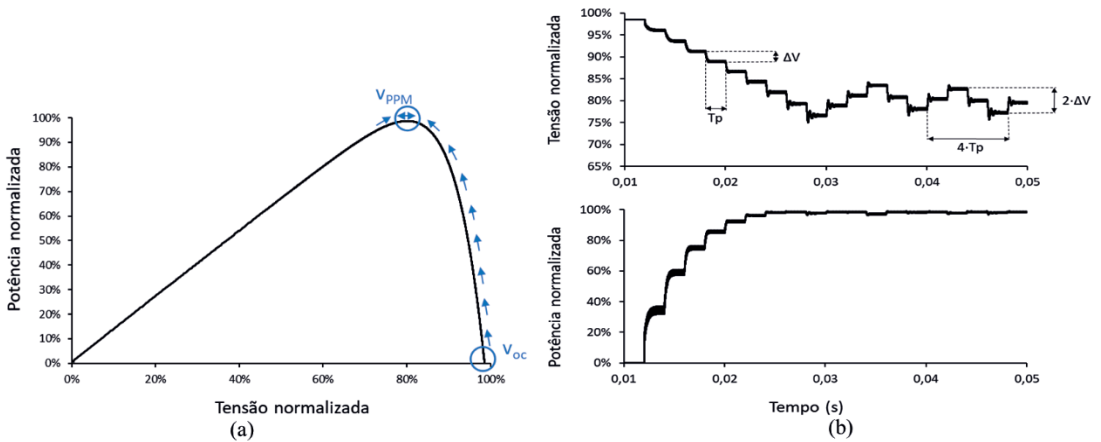


Figura 8 - Comportamento do algoritmo *Perturb & Observe* na curva *P-V* (a) e no domínio do tempo (b).

3.3 Algoritmo de SPPMG proposto

O fluxograma do algoritmo de SPPMG proposto para o sistema FV é apresentado na Fig. 9. O primeiro passo é medir a tensão de circuito aberto V_{OC} , necessária para estimar a localização dos PPM. Em seguida, o algoritmo entra na primeira etapa de rastreamento, iniciando do pico mais à direita na curva, sendo $j=N$. A localização do pico ($V_{PPM,j}$) é estimada por (11). A tensão de referência para o controle da tensão (V_{DC}) recebe os valores de tensão estimados para promover a mudança de tensão no arranjo FV. A potência FV gerada em cada uma das tensões ($P_{FV,j}$) é medida. A variável j , que representa o número do pico atual, é decrementada até que tensão estimada seja menor do que a tensão mínima permissível ao sistema (V_{DCmin}). A partir daí, V_{DC} recebe o valor da tensão que produziu maior potência (V_{PPM}). Já estando bastante próximo do PPMG, a rotina P&O é continuamente executada para afinar o rastreamento. Não investigar toda a curva *P-V* garante maior velocidade do rastreo, uma vez que a região entre 50 e 90% de V_{OC} possui maior probabilidade de compreender o PPMG (Fang e Lian, 2017).

O algoritmo permanece continuamente na segunda etapa executando a função P&O, a cada iteração são verificadas duas condições: se a variação porcentual da potência FV for superior a 10% (durante um intervalo de tempo de 15 ms), indicando uma mudança nas condições atmosféricas, o rastreamento é reiniciado; e se a potência FV for inferior a P_{crit} o sistema passa a operar no **Modo Noturno** com a tensão fixa em V_{DC1} . Os valores de P_{crit} e V_{DC1} dependem das características do sistema, como a potência instalada do sistema fotovoltaico e a tensão eficaz da rede elétrica.

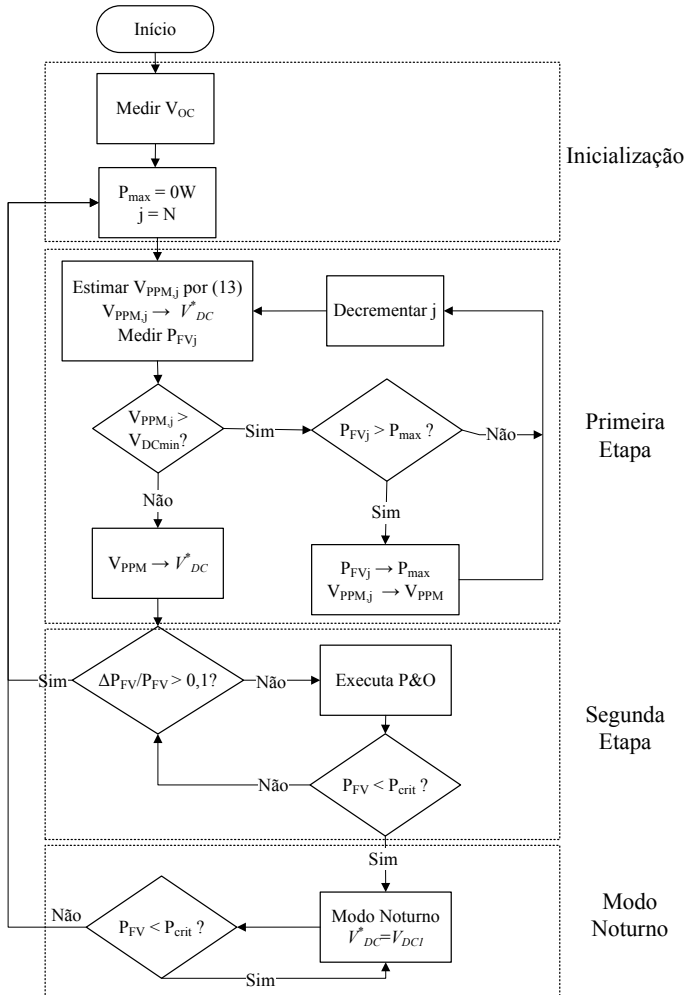


Figura 9 - Fluxograma do algoritmo de SPPMG proposto.

4 | VALIDAÇÃO DO ALGORITMO DE SPPMG PROPOSTO

O algoritmo proposto foi validado por meio de simulações no *software* PSIM v9. Para um arranjo FV formado por seis módulos KC65T conectados em série, utilizou-se os seguintes parâmetros mostrados na Tab. 4 para a técnica de SPPMG proposta.

A Fig. 10 mostra um exemplo de rastreamento do PPMG através do algoritmo de SPPMG proposto. O arranjo FV utilizado corresponde a seis módulos KC65T conectados em série. Até o instante de tempo $t=0,4s$, o sistema está submetido ao Padrão de sombreamento 1 com curva $P-V$ mostrada Fig. 10 (a) e a seguinte disposição: 2 módulos com 1000 W/m^2 , 2 módulos com 700 W/m^2 e 2 módulos com 500 W/m^2 . Depois do instante de tempo $t=0,4s$, o sistema sofre transição para o Padrão de sombreamento 2 com curva $P-V$ mostrada

Fig. 10 (b) e a seguinte disposição: 2 módulos com 1000 W/m^2 , 2 módulos com 700 W/m^2 e 2 módulos com 400 W/m^2 . Em ambos os intervalos de tempo é considerado que a temperatura na junção da célula permanece constante com $T=47^\circ\text{C}$.

Parâmetro	Símbolo	Valor
Constantes para estimação dos PPMs	α	0,90
	k_I	0,72
Variação de tensão do P&O	ΔV	0,25 V
Intervalo entre as perturbações do P&O	T_p	3 ms
Tensão mínima	V_{DCmin}	65,3 V
Potência para entrar no Modo Noturno	P_{crit}	15 W
Tensão de referência (Modo Noturno)	V_{DCI}	100 V

Tabela 4 - Parâmetros do SPPMG proposto para o arranjo FV formado seis módulos KC65T conectados em série.

As Figs. 10 (c) e (d) e mostram a potência e a tensão do arranjo FV durante a execução do SPPMG, respectivamente. A técnica de SPPMG proposta investiga os locais prováveis de surgirem os PPMs, dentro da faixa de tensão permissível, e retorna para o PPMG. Dessa forma, o sistema FV sempre atua no PPMG, não importando a condição de sombreamento que o arranjo FV está exposto. Nota-se que o sistema também responde rapidamente na transição de níveis de radiação. No instante $t=0,4s$, o algoritmo detecta a mudança nas condições de irradiância pela verificação da variação da potência gerada, saindo da rotina P&O e reiniciando a busca nos possíveis PPMs.

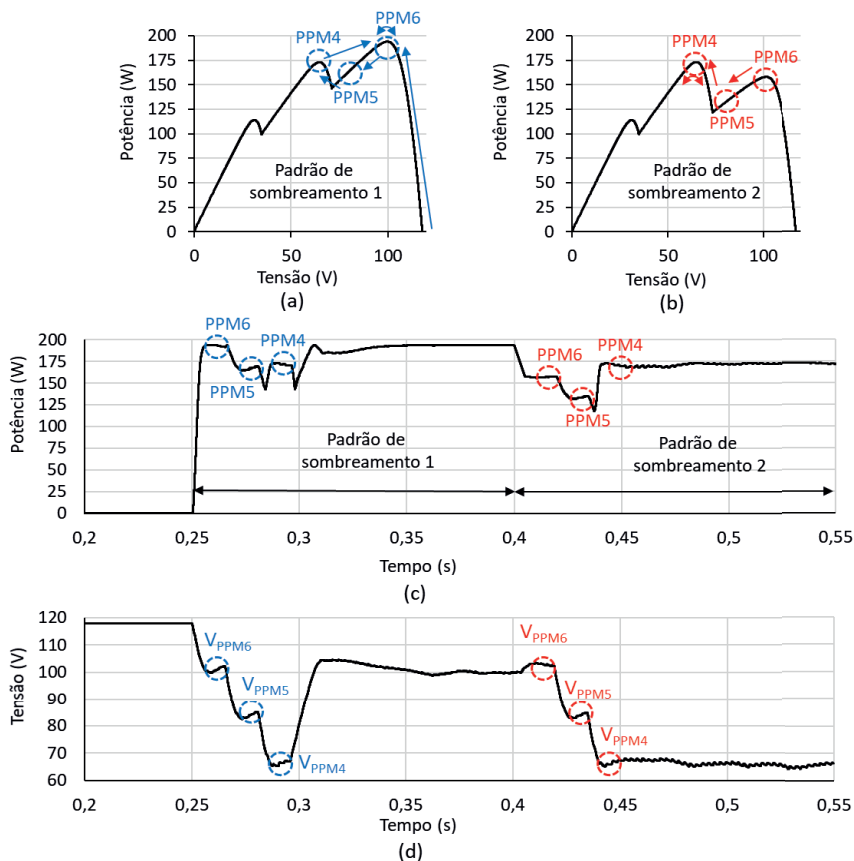


Figura 10 - Exemplo de rastreo do PPMG utilizando o algoritmo de SPPMG proposto.

As seguintes vantagens da técnica de SPPMG proposta podem ser destacadas: Simplicidade; Baixo custo computacional; Salta diretamente para os pontos onde poderiam surgir os picos de potência; Precisão; Detecção de mudança nas condições de irradiação; Modo noturno.

51 CONCLUSÃO

Neste trabalho, um novo algoritmo de SPPMG, que estima de forma aproximada e bastante eficiente a localização dos possíveis picos de potência na curva P - V do arranjo FV, foi proposto. Diversas condições de sombreamento uniforme e parcial foram aplicadas mostrando que o algoritmo é capaz de garantir que o máximo de potência disponível pelo arranjo FV seja extraído. Diferentemente das técnicas de SPPM convencionais utilizadas, o algoritmo de SPPMG evita que o sistema fotovoltaico fique preso sobre um pico local. Além do mais, a estratégia proposta possui baixo tempo de rastreamento e produz pouca

oscilação na tensão (inferior a 1%).

A fim de otimizar a operação de busca do SPPMG, um critério para identificar mudanças nas condições de irradiância e refazer o rastreamento foi estabelecido.

Os resultados obtidos mostraram que o algoritmo de SPPMG pode ser empregado com eficiência no sistema FV mesmo na ocorrência de sombreamento parcial, contribuindo significativamente na melhoria da geração fotovoltaica.

REFERÊNCIAS

- Ahmed, J., Salam, Z., 2015. An improved method to predict the position of maximum power point during partial shading for PV arrays. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 11, n. 6, p. 1378–1387
- Castañer, L., Silvestre, S., 2002. *Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice®*. [s.l.] Wiley.
- Chen, K. et al, 2014. An Improved MPPT Controller for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 5, n. 3, p. 978–985.
- Da Silva, S. A. O. et al, 2017. Feed-forward DC-bus control loop applied to a single-phase grid-connected PV system operating with PSO-based MPPT technique and active power-line conditioning. *IET Renewable Power Generation*, v. 11, n. 1, p. 183–193.
- Esrām, T., Chapman, P. L., 2007. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, v. 22, n. 2, p. 439–449.
- Fang, G.-J., Lian, K.-L., 2017. A maximum power point tracking method based on multiple perturb-and-observe method for overcoming solar partial shaded problems. 2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP).
- Femia, N. et al, 2005. Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 20, n. 4, p. 963–973.
- Femia, N. et al, 2008. Distributed maximum power point tracking of photovoltaic arrays: Novel approach and system analysis. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 55, n. 7, p. 2610–2621.
- Femia, N. et al. *Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems*.
- Ghasemi, M. A., Foroushani, H. M., Parniani, M., 2016. Partial Shading Detection and Smooth Maximum Power Point Tracking of PV Arrays Under PSC. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 31, n. 9, p. 6281–6292.
- Jeyaprabha, S. B., Selvakumar, A. I., 2017. Model-Based MPPT for Shaded and Mismatched Modules of Photovoltaic Farm. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 8, n. 4, p. 1763–1771.
- Kjaer, S. B., Pedersen, J. K., Blaabjerg, F., 2005. A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 41, n. 5, p. 1292–1306.

- Koad, R. B. A., Zobaa, A. F., El-shahat, A, 2017. A Novel MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 8, n. 2, p. 468–476.
- Kumar, N. et al, 2017a. Peak power detection of PS solar PV panel by using WPSCO. *IET Renewable Power Generation*, v. 11, n. 4, p. 480–489.
- Kumar, N. et al, 2017b. Rapid MPPT for Uniformly and Partial Shaded PV System by Using JayaDE Algorithm in Highly Fluctuating Atmospheric Conditions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 13, n. 5, p. 2406–2416.
- Manickam, C. et al, 2017. Fireworks Enriched P&O Algorithm for GMPPT and Detection of Partial Shading in PV Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 32, n. 6, p. 4432–4443.
- Markvart, T., Castañer, L, 2003. *Practical Handbook of Photovoltaics*. [s.l.] Elsevier.
- Mohanty, S., Subudhi, B., Ray, P. K, 2017. A Grey Wolf-Assisted Perturb & Observe MPPT Algorithm for a PV System. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, v. 32, n. 1, p. 340–347.
- Patel, H., Agarwal, V, 2008. Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.
- Pragallapati, N., Sen, T., Agarwal, V, 2017. Adaptive Velocity PSO for Global Maximum Power Control of a PV Array Under Nonuniform Irradiation Conditions. *IEEE Journal of Photovoltaics*, v. 7, n. 2, p. 624–639.
- Rajendran, S., Srinivasan, H, 2016. Simplified accelerated particle swarm optimization algorithm for efficient maximum power point tracking in partially shaded photovoltaic systems. *IET Renewable Power Generation*, v. 10, n. 9, p. 1340–1347.
- Ramyar, A., Iman-eini, H., Farhangi, S, 2017. Global Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Arrays Under Partial Shading Conditions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 64, n. 4, p. 2855–2864.
- Venturini, R. P. et al, 2017. Analysis of limit cycle oscillations in maximum power point tracking algorithms. 2008 IEEE Power Electronics Specialists Conference.
- Walker, G. R., Sernia, P. C, 2004. Cascaded DC–DC Converter Connection of Photovoltaic Modules. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 19, n. 4, p. 1130–1139.
- Zhu, Q. et al, 2016. Research and Test of Power-Loop-Based Dynamic Multi-Peak MPPT Algorithm. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 63, n. 12, p. 7349–7359.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aprendizagem 33, 238, 239, 251, 332, 350, 351, 352, 357, 359, 361, 362

ATP 156, 157, 158, 159, 170, 171, 173, 176, 177, 179, 189, 191, 192, 195, 196, 198, 255

Autonomia veicular 221

B

Backflashover 157, 163, 169, 170, 171, 172, 181, 182, 183, 184, 185, 190

C

Cargas Variáveis 76, 92

Célula fotovoltaica 61, 115, 116, 129, 145

Confiabilidade 2, 142, 143, 145, 151, 152

Conversores 8, 58, 59, 85, 86, 207, 208, 214, 216, 219

D

Dados Meteorológicos 38, 42, 44, 54

Descarbonização 14, 16, 17, 18, 23

Descargas Atmosféricas 156, 157, 170, 171, 174, 176, 183, 185, 189, 191, 193, 195, 204

Desempenho 5, 7, 6, 7, 47, 54, 76, 77, 78, 80, 86, 91, 92, 113, 117, 125, 127, 142, 145, 147, 151, 153, 157, 170, 171, 172, 176, 178, 185, 190, 197, 208, 212, 219, 224, 225, 226, 229, 232, 233, 234, 237, 251, 320, 321, 322, 323, 332, 348, 349, 395, 400, 402, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 413

Desenvolvimento 6, 1, 2, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 28, 30, 31, 37, 38, 42, 45, 51, 76, 94, 111, 114, 130, 143, 153, 208, 209, 212, 213, 219, 220, 223, 229, 236, 252, 258, 263, 264, 268, 269, 275, 277, 282, 289, 296, 307, 308, 320, 322, 323, 333, 334, 348, 351, 352, 357, 361, 364, 365, 367, 368, 370, 372, 374, 376, 388, 389, 391, 398, 400, 404

E

Eficiência Energética 6, 16, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 45, 209, 219, 222, 237, 363, 365, 367, 374, 378, 380, 387, 390

Energia fotovoltaica 7, 40, 77, 96, 113, 129, 130, 131, 135, 137, 374

Energia Solar 16, 30, 33, 34, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 55, 56, 77, 78, 95, 130, 133, 138, 140, 141, 143, 152, 208, 219, 287, 294, 297, 298, 301, 308, 320, 335, 336, 337, 341, 344

F

Fontes Renováveis 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 77, 115, 131, 143

Frenagem Regenerativa 8, 221, 222, 223, 236, 237

G

Geração de Trajetória 239

GMPPT 57, 58, 75

I

Inversores 8, 136, 138, 207, 208, 210

Irradiação Incidente 44, 55

M

Manipulador Robótico 238, 239

Módulo fotovoltaico 62, 76, 77, 78, 84, 90, 91, 117, 119, 129, 131, 145, 146, 150, 151, 290

Módulos Fotovoltaicos 7, 33, 34, 61, 62, 63, 76, 77, 79, 83, 92, 99, 107, 110, 117, 122, 124, 130, 131, 135, 142, 143, 145, 146, 147, 149, 151, 152, 153

P

Painéis Fotovoltaicos 7, 44, 47, 51, 55, 76, 77, 83, 97, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 139, 140

Parâmetros elétricos do solo 156, 170, 171, 172, 180, 181, 182, 184, 185, 191, 198, 200, 201, 203

Permissividade do solo 157, 171, 178, 185, 189, 190, 197, 203

Pesquisa 5, 6, 23, 25, 29, 30, 31, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 56, 96, 132, 143, 152, 222, 266, 268, 276, 277, 278, 298, 305, 350, 352, 362, 371, 372, 375, 379, 381, 382, 398, 400, 404

Planejamento de Caminho 239

Prevenção de Colisão 239

Q

Qualidade de Energia 41, 113

R

Reforço 238, 239, 361

Resistividade do solo 156, 157, 170, 171, 172, 173, 177, 181, 182, 183, 184, 185, 189, 190, 191, 192, 193, 196, 198, 200, 203, 204

Robótica 1, 251

S

Sensores 6, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 39, 40, 58, 59, 66, 80, 104, 105, 119, 208, 287, 288, 289, 290, 300, 396, 403

Setor Elétrico 6, 14, 24, 25, 26, 27, 37

Sinais 1, 2, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 28, 105, 213, 215, 216, 254, 256, 259, 266, 267, 271, 275,

279, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 412

Sistemas de aterramento 157, 170, 171, 177, 190, 191, 196, 198, 203

Sistema Solar Fotovoltaico (FV) 113

Sombreamento Parcial 6, 57, 58, 60, 62, 64, 65, 74, 84

SPPMG 57, 58, 59, 60, 63, 70, 71, 72, 73, 74

T

Topologia de Estágio Único 113, 122, 126

Traçador de curva I-V 6, 76, 77

Transição Energética 6, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29

Trilhas de Caracol 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153

V

Veículo Elétrico 8, 207, 208, 209, 210, 212, 217, 219, 221, 222, 223, 224, 236, 237

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br