

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 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
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. Eloi 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. Aleksandro 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 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 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 Atílio 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

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

Data de aceite: 01/05/2021

Data de submissão: 05/02/2021

Matheus Silva Pestana

Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia do Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/5711361444291978>

Danúbia Soares Pires

Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia do Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/4739495583287970>

Orlando Donato Rocha Filho

Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia do Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/7455720877184126>

RESUMO: A Aprendizagem Ativa se caracteriza como uma técnica de ensino-aprendizagem voltada para a solução de problemas próximos do real ou simulados por especialistas de cada área de conhecimento, com temas multidisciplinares. Além disso, quando comparada a técnicas tradicionais de ensino, sua eficácia pode ser até duas vezes maior. Diante disso, o uso de métodos de ensino aprendizagem em salas de aula de faculdades, centros de ensino e de pesquisa nas áreas de engenharia, economia, administração, tecnologia da informação e medicina se difundiu pelo mundo. Como as ferramentas usadas por engenheiros e

estudantes são de natureza numérica, isto é, são apresentados dados de entrada, iterados por plataformas em curtos intervalos de tempo e o resultado é apresentado por uma função de dados de saída versus tempo. Tais resultados não ajudam os usuários a entender a natureza dos circuitos lineares, pois não é contemplado o passo a passo da resolução dos circuitos, de acordo com os teoremas e métodos observados na literatura. Nesse sentido, foi construída uma plataforma didática para permitir a simulação passo a passo dos circuitos elétricos, utilizando software de modelagem e simulação para aprimorar o processo didático da disciplina de circuitos elétricos. Os resultados sobre o uso dessa plataforma didática por estudantes de engenharia mostram a eficiência, uma vez que é permitido observar todas as etapas da solução de circuitos elétricos.

PALAVRAS - CHAVE: Circuitos Elétricos Aplicados; Simulação Didática; Plataforma Computacional; Aprendizagem Ativa; Simulação.

IMPLEMENTATION OF A COMPUTATIONAL DIDACTIC PLATFORM APPLIED TO ELECTRICAL CIRCUITS ANALYSIS IN AN OPEN SOURCE ENVIRONMENT - SCIENTIFIC LABORATORY (SCILAB)

ABSTRACT: Active Learning is characterized as a teaching-learning technique aimed at solving problems close to the real thing or simulated by specialists in each area of knowledge, with multidisciplinary themes. In addition, when compared to traditional teaching techniques, its effectiveness can be up to twice as effective.

In view of this, its use of teaching and learning methods in college classrooms, teaching and research centers in the area of engineering, economics, administration, information technology and medicine has spread throughout the world. As the tools used by engineers and students are numerical in nature, i.e., input data is presented, iterated by platforms at short intervals of time, and its result is presented by an output data function versus time. Such results do not help users to understand the nature of linear circuits, as the resolution of circuits is not contemplated step by step, according to the theorems and methods observed in the literature. In this sense, a didactic platform was built to allow the step-by-step simulation of electrical circuits, using modeling and simulation software to improve the didactic process of the electrical circuit discipline. The results on the use of this didactic platform by engineering students show the efficiency, since it is allowed to observe all the steps of the electric circuits solution.

KEYWORDS: Applied Electrical Circuits; Didactic simulation; Computational platform; Active Learning; Simulation.

1 | INTRODUÇÃO

A educação superior brasileira tem passado por uma série de adaptações e transformações, com o objetivo bem específico de promover uma formação acadêmica voltada para o desenvolvimento de experiência colaborativa, metodologias on-line e ensino diferenciado, em especial, na educação 4.0, (GABRIEL, 2017). Esses pilares propiciam ao estudante autonomia e elaboração de conhecimento durante o processo de ensino com a resolução de problemas típicos de suas atividades acadêmicas, fazendo com que o papel dos alunos não seja mais passivo, mas ativo no processo de ensino-aprendizagem, se envolvendo em atividades cada vez mais complexas, possibilitando a tomada de decisões e avaliação de resultados (NAN, 2019).

A Aprendizagem Ativa se caracteriza como uma técnica de ensino-aprendizagem voltada para a solução de problemas próximos do real ou simulados por especialistas de cada área de conhecimento, com temas multidisciplinares. A Aprendizagem Baseada em Problemas ou *Problem Based Learning* é desenvolvida em universidades americanas, tais como, *MIT*, *Harvard* e *Stanford*, nas quais as relações de sala de aula foram repensadas, adotando uma abordagem pedagógica voltada para a solução de problemas, possibilitando aos estudantes aquisição de conhecimento de forma ampliada, minimizando a ocorrência de uma educação fragmentada (Farias, 2015). Com essa abordagem, os estudantes desenvolvem o processamento cognitivo e os conhecimentos prévios são somados às reflexões críticas feitas diante dos problemas propostos. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Ministério (BRASIL, 2018) incentiva a utilização de técnicas de Aprendizagem Ativa, a fim de desenvolver competências e habilidades na formação dos estudantes, de forma geral, beneficiando o pensamento crítico, a instrução de atividades, engajamento e comprometimento. Além disso, metodologias de Aprendizagem Ativa representam uma eficácia duas vezes maior quando comparadas ao modelo de aula

tradicional, tais métodos de Aprendizagem Ativa e Aprendizagem Baseada em Problemas são aplicados em diversas áreas de conhecimento, como engenharias, administração, tecnologia da informação, medicina, ciência política e negócios, (KAZERUNI, 2018). O uso de software no ambiente acadêmico permite a construção de conhecimentos em larga escala, promovendo maior interação entre os alunos e os materiais publicados em sala de aula, livros e materiais didáticos. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo facilitar o processo de ensino-aprendizagem de alunos durante a disciplina de Circuitos Elétricos, reduzindo as dificuldades dos discentes na análise e compreensão na resolução de problemas propostos. Seu desenvolvimento em plataforma de código aberto facilita a sua utilização e aplicabilidade em centros educacionais, faculdades e universidades, reduzindo a complexidade da disciplina e aumentando a capacidade de trabalho multidisciplinar.

Neste contexto, o uso desses recursos é apresentado como uma alternativa viável para reduzir as dificuldades de compreensão, aumentar a assimilação de conceitos e melhorar a interação entre os alunos e as ferramentas computacionais.

2 | DEFINIÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Em uma pesquisa na página do *Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE*, com a palavra-chave “*Circuitos Elétricos*”, observa-se um amplo uso do termo em pesquisas realizadas nos anos de 2010 a 2020. Até o ano de 2020, houveram em torno de 133.109 publicações, incluindo artigos de congressos e revistas especializadas, entre os quais, pode-se citar: em (KULGINA, 2019), foi desenvolvido um módulo amigável que pode facilitar a análise dos circuitos elétricos utilizando softwares fechados, a fim de ajudar os alunos a entender os cálculos realizados durante a solução de problemas propostos; em (SHAPOVALOV, 2019), foi apresentado o modo de formação do sistema de equações diferenciais, que descreve um circuito linear com indutâncias variáveis pelo método de tensões nodais; em (SADIKU, 2013), foi descrito uma formulação sistemática para os Teoremas de *Kirchhoff* para a tensão e a corrente, tais conhecimentos podem ser úteis em sistemas de proteção; em (ZEGGAI, 2019) foi observada que a análise de curto-circuito fornece as informações necessárias para determinar se as capacidades de interrupção dos componentes do sistema de energia são adequadas, o suficiente, para proteger um sistema de energia.

Diante desses pressupostos, buscou-se o uso de técnicas de computação aplicadas à disciplina de Circuitos Elétricos, uma vez que possui um conteúdo rico em formulações matemáticas e possibilita o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias, via softwares livres como o *SciLab*, software de modelagem e simulação empregado em diversas áreas das ciências exatas, como engenharias, petroquímica, meteorologia e indústria automobilística, na busca por solução de cálculos numéricos que possuem certo grau de complexidade utilizando lógica computacional. Os simuladores têm um importante papel

na produção de conhecimento, isto é, através deles é possível criar um elo entre a matéria exposta em livros, materiais didáticos e salas de aula com os conhecimentos práticos da área de Engenharia Elétrica.

As ferramentas de simulação de domínio de professores e estudantes de Engenharia Elétrica, como o *Proteus* e *Multisim*, são de natureza numérica, ou seja, o usuário apresenta os dados de entrada, eles são iterados ao circuito e, então, é apresentado um vetor como resposta e um gráfico plotado com a relação dados de saída versus tempo. Tais resultados não ajudam os usuários a compreender a natureza dos circuitos como sistemas lineares. Além disso, muitas plataformas são licenciadas em suas versões mais abrangentes, impossibilitando o aluno de ter o simulador em seus notebooks ou computadores pessoais, somado a isto, não permitem a inserção de outros elementos de análise. Nesse sentido, desenvolveu-se uma ferramenta computacional de simulação que possui o passo a passo na resolução de problemas típicos da disciplina de Circuitos Elétricos, aplicada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão durante os anos de 2019 e 2020.

3 I SIMULAÇÃO DE APLICAÇÕES DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

As técnicas fundamentais usadas na análise de Circuitos Elétricos são as leis de Ohm e Kirchhoff, descritas em praticamente todos os livros de Engenharia Elétrica (BOYLESTAD, 2012), (DORF, 2016), (JOHNSON, 1994), (NILSSON, 2009) e (SADIKU, 2013). Como os circuitos elétricos são constituídos por diversos elementos, algumas sistemáticas são necessárias na análise, isto é, após a verificação na literatura base, desenvolveu-se uma ferramenta computacional de simulação de caráter interativo, corrigindo as limitações dos simuladores existentes em relação à dispersão de dados para o usuário, além de ser desenvolvido em plataforma aberta para modelagem e simulação. Nas subseções serão apresentadas algumas aplicações da plataforma.

3.1 Análise de Circuito de Primeira Ordem

Quando se associam elementos como capacitores e indutores, conforme a figura 1, o circuito passa a apresentar equações diferenciais que descrevem o funcionamento de seus componentes. A partir disso, as relações de corrente e tensão são representadas pelas equações (1) e (2), respectivamente, (NILSSON, 2009).

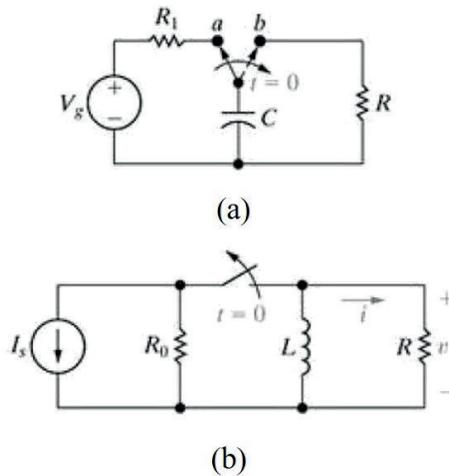


Figura 1. (a) Circuito composto por Resistor e Capacitor (RC) (b) Circuito composto por Resistor e Indutor (RL)

Fonte: NILSSON, 2009.

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

onde denomina-se C como capacitância e L como indutância.

Os Circuitos Elétricos de Primeira Ordem apresentam o chaveamento, representado por uma dependência temporal, para tempo de carga e descarga dos elementos indutivos e capacitivos. Diante disso, a resposta do circuito para a excitação da fonte de tensão e corrente para circuito resistivo-capacitivo (RC) e resistivo-indutivo (RL) são dadas pelas equações (3) e (4), respectivamente, (SADIKU, 2013). Para tal implementação, utiliza-se o seguinte algoritmo descrito no Algoritmo 1.

$$v(t) = V_0 e^{-RC/\tau} \quad (3)$$

$$i(t) = I_0 e^{-R/L \tau} \quad (4)$$

onde τ é a constante de tempo; V_0 e I_0 são as tensões e correntes iniciais para os modelos analisados, respectivamente.

Algoritmo 1: Análise de Circuito de Primeira Ordem

Informar o tipo de circuito analisado: RC ou RL

Caso 1: Circuito RC

Informar a tensão inicial do circuito

Informar o valor de R

Informar o valor de C

Calcular a constante de tempo

Exibir os resultados na tela

Caso 2: Circuito RL

Informar a tensão inicial do circuito

Informar o valor de R

Informar o valor de L

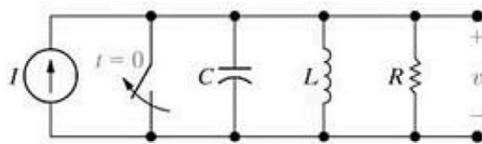
Calcular a constante de tempo

Exibir os resultados

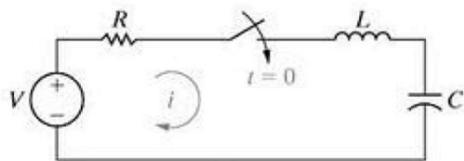
Finalizar a rotina

3.2 Análise de Circuito de Segunda Ordem

Ao associar resistores, capacitores e indutores, o circuito em análise passa a ser caracterizado por uma equação diferencial de segunda ordem. O circuito, com a presença dos dois elementos de armazenamento de energia, pode assumir duas formas, em paralelo ou em série, representadas pela figura 2, respectivamente. A disposição em que os elementos se encontram no circuito altera a forma de calcular a resposta do sistema a uma excitação inicial, seja por uma fonte tensão ou corrente. Pela característica quadrática da configuração em série e em paralelo, dadas pelas equações (5) e (6), respectivamente.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Circuito RLC em paralelo (b) Circuito RLC em série.

Fonte: NILSSON, 2009.

$$s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC} = 0 \quad (5)$$

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0 \quad (6)$$

Pela característica quadrática da equação (5) para o caso em série e a equação (6) para o caso em paralelo, pode-se extrair raízes, expressas pelas equações (7) e (8).

$$s_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (7)$$

$$s_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (8)$$

onde α e ω_0 são as frequências de Neper ou fator de amortecimento e a frequência ressonante, respectivamente. As frequências de Neper para o caso série e paralelo e a frequência ressonante, são expressas pelas equações (9), (10) e (11), respectivamente;

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{1}{2RC} \quad (10)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (11)$$

Os valores numéricos encontrados determinam o tipo de amortecimento à excitação inicial da fonte de tensão ou corrente para o circuito, como podem ser observados na Tabela 1.

Caso	Resposta do circuito
$\alpha > \omega_0$	Super amortecida
$\alpha = \omega_0$	Criticamente amortecida
$\alpha < \omega_0$	Sub-amortecida

Para tal implementação, utiliza-se o seguinte algoritmo descrito no Algoritmo 2.

Algoritmo 2: Análise de Circuito de Segunda Ordem

Informar a disposição dos elementos do circuito analisado

Informar os valores de tensão ou corrente inicial

Calcular as frequências de Neper e de ressonância

Caso 1: $\alpha > \omega_0$ (Super amortecida)

Calcular as raízes da equação característica

Calcular os coeficientes da equação característica

Exibir os resultados

Caso 2: $a = \omega_0$ (Criticamente amortecida)

Calcular as raízes da equação característica

Calcular os coeficientes da equação característica

Exibir os resultados

Caso 3: $a < \omega_0$ (Sub-amortecida)

Calcular as raízes da equação característica

Calcular os coeficientes da equação característica

Exibir os resultados

Finalizar a rotina

4 I RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Com base na seção anterior, implementou-se uma plataforma didática para simulação computacional para análise de circuitos elétricos. A modelagem de formulações matemáticas em rotinas computacionais possibilita que os estudantes trabalhem a multidisciplinidade durante o curso. Utilizando os conceitos de Aprendizagem Ativa, cada aplicação que será descrita apresentou um objetivo específico, propiciando o desenvolvimento de habilidades de análise, construção de formulações matemáticas e interpretação de gráficos relacionados a cada tópico apresentado.

4.1 Análise de Circuito de Primeira Ordem

Como demonstrado na Subseção 3.1, os circuitos analisados apresentam capacitores e indutores, tais elementos apresentam característica exponencial, especificadas pelas equações (1) e (2). Como peculiaridade observa-se a dependência temporal para carregamento, analisada em instantes de tempo menor e maior que 0 segundos. Neste circuito, o estudante precisa ter os conhecimentos de equações diferenciais de primeira ordem, sistema de unidades, constantes e notações exponenciais, além das condições iniciais de tensão ou corrente, possibilitando aos alunos revisar assuntos iniciais, por conseguinte, trabalhar a multidisciplinaridade entre os conhecimentos e aplicação de conceitos de análise de circuitos elétricos. Para o seguinte arranjo de circuito, pode-se exemplificar com dados (para o caso de circuitos RL e RC em paralelo), rotina computacional e gráficos (figuras (3 (a), (b), (c), (d) e (e)) e (4)), apresentados a seguir.

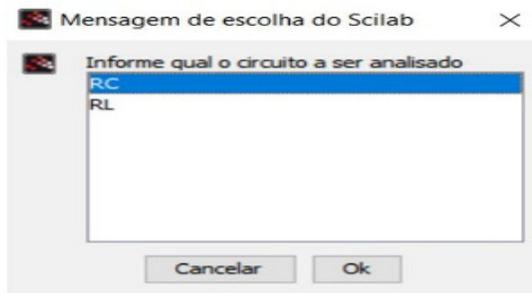
Dados experimentais

Caso 1: Circuito RL

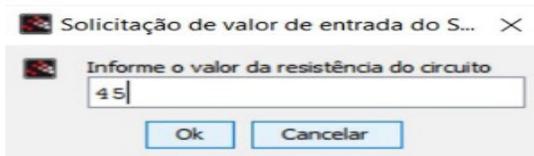
Corrente inicial de 0 A; Corrente final de 15 A; $R = 45 \Omega$; $L = 90 \text{ mH}$.

Caso 2: Circuito RC

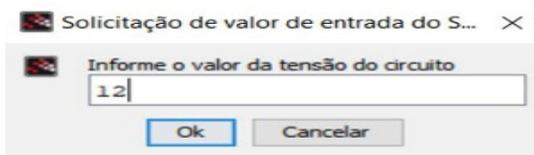
Tensão inicial de 0 V; Tensão final de 12 V; $R = 45 \Omega$; $C = 0.2 \mu\text{F}$.



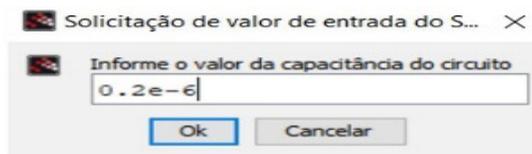
(a)



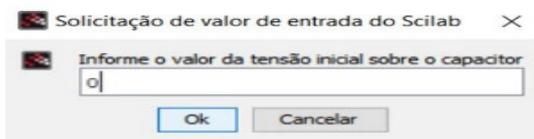
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3. Caixas de diálogo utilizadas pelos usuários.

Fonte: Arquivo pessoal.

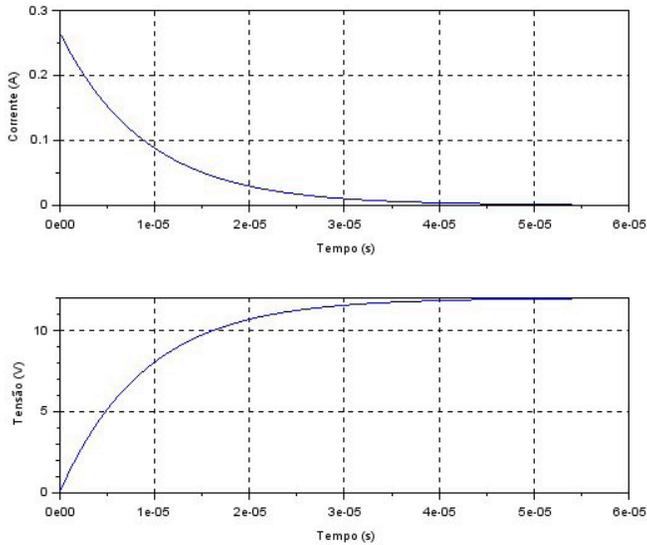


Figura 4. Resultado computacional para o circuito RL.

Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 Análise de Circuito de Segunda Ordem

Por fim, ao analisar o item descrito na Subseção 3.2, os circuitos apresentam os três elementos descritos anteriormente a saber, resistores, indutores e capacitores. A característica exponencial é observada através das equações (7) e (8), apresentando uma dependência de dois termos matemáticos, a e ω_0 , frequências de Neper e de ressonância, respectivamente. De acordo com os valores encontrados para ambos os termos, pode-se obter três tipos diferentes de resposta, a saber, Super amortecida, Criticamente Amortecida ou Sub-amortecida. Por meio dos conceitos de Aprendizagem Ativa, na análise de circuito de segunda ordem, o estudante utiliza conceitos de equações diferenciais de segunda ordem, operações matriciais, análise de circuitos mais complexos, com a finalidade de calcular a equação característica em função da corrente ou tensão inicial. Pode-se exemplificar através dos dados apresentados a seguir, a rotina computacional e respectivos gráficos (figuras (5 (a), (b), (c), (d) e (e))), (6 (a), (b), (c), (d) e (e)), (7) e (8)).

Dados experimentais

Caso 1: Circuito RCL em paralelo

Corrente inicial de 0 A; Tensão inicial de 0 V; Corrente final = 15 A; $R = 480 \Omega$; $L = 90 \text{ H}$; $C = 0.2 \mu\text{F}$.

Caso 2: Circuito RCL em série

Tensão inicial de 0 V; Corrente inicial de 0 A; Tensão final de 15 V; $R = 750 \Omega$; $L = 25 \text{ H}$; $C = 0.2 \mu\text{F}$.

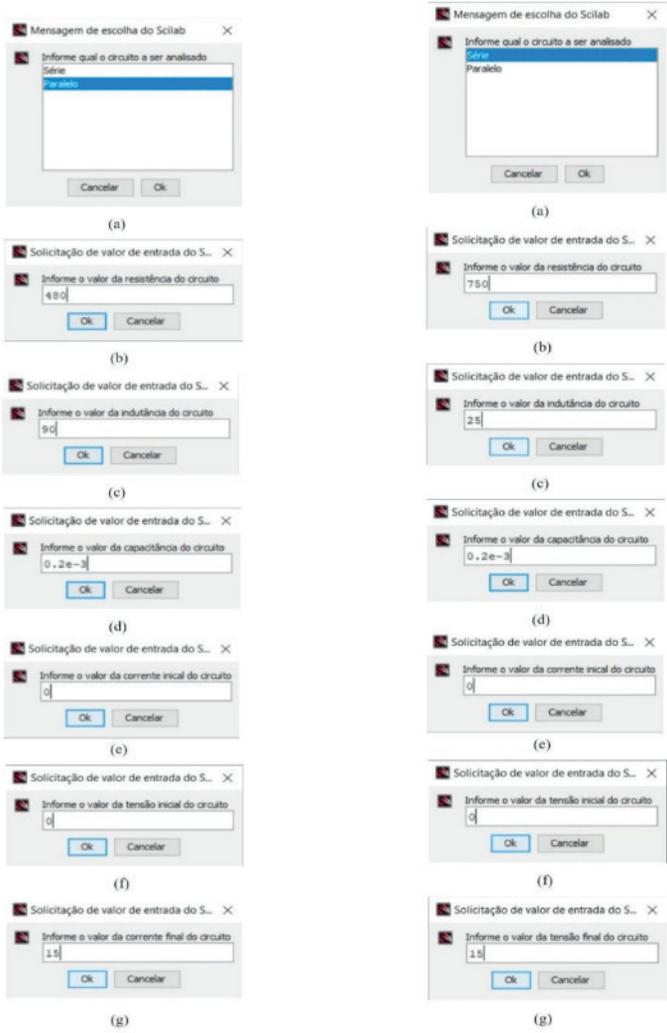


Figura 5 e 6. Caixas de diálogo utilizadas pelos usuários para o circuito RLC Paralelo e Série.

Fonte: Arquivo pessoal

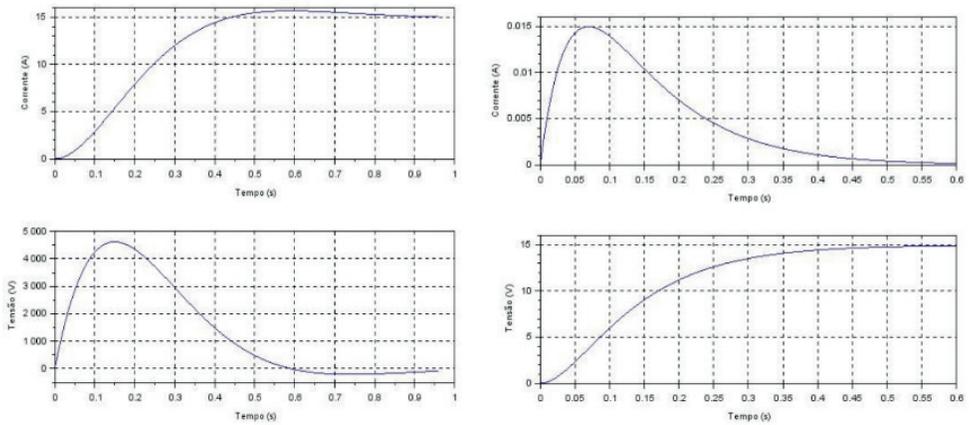


Figura 7 e 8: Resultado computacional para o circuito RLC em paralelo (à esquerda) e RLC em série (à direita)

Fonte: Arquivo pessoal.

5 | CONCLUSÃO

O desenvolvimento da plataforma didática para simulação computacional, utilizada em análise de circuitos elétricos, propicia o conhecimento, discussão, multidisciplinaridade, aplicação e reflexão sobre o uso de técnicas de Aprendizagem Ativa. Ao ser inserida na disciplina de Circuitos Elétricos do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, a ferramenta computacional permitiu maior autonomia para os estudantes, seja na resolução dos problemas propostos em sala de aula, como também, no aprendizado e na percepção da importância de cada teorema de análise de circuitos, bem como, de cada etapa seguida por cada um destes teoremas, o que contribuiu para o fortalecimento do ensino, em especial, no contexto de aulas remotas e/ou on-line.

Observou-se que, com a aplicação da aprendizagem baseada em problemas, obteve-se a construção de conhecimentos de forma multidisciplinar, reforço dos conceitos passados em sala de aula, interação entre alunos de forma colaborativa, desenvolvimento de estratégias e melhora significativa no processo de ensino-aprendizagem. A nova concepção pedagógica será aplicada de forma gradual em demais disciplinas, dando continuidade à discussão da temática de Aprendizagem Ativa, incentivando a interação no ambiente acadêmico entre alunos e professores em disciplinas e projetos para cursos superiores nas instituições de ensino e podendo ser posteriormente replicada em outros ambientes, aumentando sua gama de aplicações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Monte Castelo e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro e fomento para este presente estudo.

REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. **Introdução a análise de circuitos**. Rio de Janeiro, Pearson Prentice Hall, 2012.

BRASIL, Ministério da Educação. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. Brasília, Senado Federal, 2018.

DORF, R.; SVODODA, J. **Introdução aos Circuitos Elétricos**. Rio de Janeiro. LTC, 2016.

FARIAS, P.; MARTIN, A.; CRISTO, C. **Aprendizagem ativa na educação em saúde: Percurso histórico e aplicações**. Rev. bras. Educ. Med, 2015.

GABRIEL, M. **Você, Eu e os Robôs - Pequeno Manual do Mundo Digital**. São Paulo, GEN, 2017.

JOHNSON, D.; HILBURN, J.; JOHNSON, J. **Fundamentos de análise de circuitos elétricos**. Rio de Janeiro, LTC, 1994.

KAZERUNI, N.; LABOY, A.; HESS, H. **Designing a hybrid engineering course combining case-based and lecture-based teaching**. IEEE, 2018.

KULGINA, A.; SHAROVA, D.; VOSTRIKOV, A.; PROKOFEVA, E. **Development of software module for the analysis of electrical circuits**. IEEE - 2019 International Conference On Numerical Simulation Of Optoelectronic Devices (NUSOD), 2019.

NAN, B. **As metodologias ativas e a promoção da automação de estudantes**. Semira Ciênc Soc Hum, 2019.

NILSSON, J.; RIEDEL, S. **Circuitos elétricos**. Rio de Janeiro, Pearson Prentice Hall, 2009.

SADIKU, M.; ALEXANDER, C. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. Porto Alegre, AMGH, 2013.

SHAPOVALOV, Y.; BACHYK, D.; ROMANO, R.; CHABAN, K. **Modeling linear electrical circuits with time - variable inductances by the frequency symbolic method**. IEEE - 2019 IEEE 15th International Conference On The Experience Of Designing And Application Of Cad Systems (CADSM), 2019.

ZEGGAI, A.; BENHAMIDA, F. **Nucleic acid content of microscope**. Nature, 135, 7–9, 2019.

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.arenaeditora.com.br

 contato@arenaeditora.com.br

 @arenaeditora

 www.facebook.com/arenaeditora.com.br