

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 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

CAPÍTULO 17

CONTROLE DE PRECISÃO PARA PRÓTESES MECÂNICAS

Data de aceite: 01/05/2021

Data de submissão: 05/02/2021

Haniel Nunes Pereira Pinheiro

Faculdade de Tecnologia de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/3486359065204982>

Ronaldo Domingues Mansano

Universidade de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/5052583113565041>
<https://orcid.org/0000-0002-9567-1813>

RESUMO: No presente trabalho é demonstrado o desenvolvimento de um controle eletrônico que permite transformar uma prótese mecânica em uma prótese biônica. Este sistema envolve eletromiografia e comando de voz, ambos acionados de modo independente, o que pode facilitar a adaptação do paciente além de permitir customização por parte dele. O intuito é abranger as diversas condições de lesão que um usuário próstético pode apresentar, e em contrapartida apresentar baixo custo, tornando o sistema facilmente reprodutível e de fácil manutenção. Neste projeto não foi desenvolvido nem estudado o design mecânico da prótese. Foi utilizado um modelo gratuito da *ONG EXIII* chamado *Hackberry*, reproduzido com auxílio de uma impressora 3D. Os resultados são satisfatórios e demonstram que um controle eletrônico de 300 reais é suficientemente bom para controlar movimentos simples do dia a dia.

PALAVRAS - CHAVE: Próteses, Arduino, eletromiografia.

PRECISION CONTROL FOR PROSTHESIS

ABSTRACT: The present work shows the development of an electronic control, that is capable to transform a mechanical prosthesis into a bionic prosthesis. This system mixture electromyography and voice control techniques to activate the actuators. Both options are independently controlled. This can reduce the time to adaptation and turn the system more customizable. The patient that prefer voice commanders, can use this, disabling the EMG. Or vice-versa. The intention is cover the various conditions of lesion that a prosthetic can present, and, in counterpart, do this with low-cost and good performance. In this job we not do studies about the mechanical design of the prosthesis neither mechanical resistance tests. We use a free model designed by the japanese non-governmental organization 'exiii' called 'Hackberry', licensed in creative commons license type. The prototype was replicated with help of a 3d printer. The results are very satisfactory and show that a control of 40-50 dollars can recreate the daily life essential moves.

KEYWORDS: Electromyography, Arduino, prosthesis.

1 | INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos a tecnologia de semicondutores foi se aprimorando cada vez mais. Hoje, pequenos chips, contendo

estruturas micrométricas, são capazes de executar as mais diversas tarefas e funções. Graças a esse avanço e a produção em larga escala, é possível obter um microcontrolador por preço acessível, independentemente do local do planeta onde você esteja. Pensando nesses avanços e nas necessidades cruciais da sociedade - principalmente da brasileira - nasceu a ideia de contribuir criando um sistema de controle para tornar próteses mecânicas em próteses biônicas, de modo que seja possível executar com precisão movimentos pré-estabelecidos.

As próteses biônicas já existem e vêm ganhando mercado desde o início do século 21. Empresas como *Open Bionics*, *Naked Prosthesis*, *Arm Dynamics*, *Shadow Robots*, entre outras já desenvolvem avanços nessa área e possuem próteses muito precisas disponíveis comercialmente. O grande empecilho para a maioria dos amputados adquirirem um equipamento deste tipo é o elevado custo, e por esta razão, nosso foco é demonstrar como uma prótese puramente mecânica pode ser adaptada para se tornar biônica utilizando componentes de baixo custo. Para isto, foi utilizado uma placa baseada no Arduino Nano (chip ATmega328P), um módulo Bluetooth HC-06, servos motores do tipo SG-90, controlados com sistema PWM e capazes de fazer rotações em 180°, alguns resistores e potenciômetros e um módulo de acionamento eletromiográfico *Muscle Sensor V3.0* da empresa *Advancer Technologies* - um agregado de amplificadores operacionais, instrumentais, filtros passivos e ativos, capaz de amplificar o sinal muscular e detectar quando o músculo está relaxado ou contraído. O detalhamento da montagem será destacado mais a frente. É importante que o módulo de eletromiografia utilize poucos eletrodos, pois isso reduz o tempo de fisioterapia necessário para o usuário se adaptar à prótese. [LAU]

Para desenvolver o sistema, uma prótese de licença aberta e gratuita, extraída do site da ONG japonesa *EXIII*, chamada *Hackberry* (ver figura 1), foi reproduzida com o auxílio de uma impressora 3D. A qualidade mecânica da reprodução não foi feita com exatidão, mas como o objetivo é desenvolver as técnicas de acionamento e controle, a qualidade mecânica não foi considerada nesse trabalho, e portanto, mesmo com alguns defeitos o modelo foi mantido.



Figura 1 – Prótese exiii Hackberry.

Fonte: <http://exiii-hackberry.com/>

Para facilitar a compreensão da montagem, será explicado nas seções seguintes o funcionamento do sistema eletromiográfico e sua interação em conjunto com o sistema de controle por voz. Todos os materiais utilizados nesse projeto foram custeados com auxílio de uma bolsa do CNPQ. Agradecemos o órgão pelo incentivo.

2 | ENTENDENDO A ELETROMIOGRAFIA

A eletromiografia consiste em captar o sinal elétrico dos músculos, proveniente de junções neuromusculares. Analisando esses sinais pode-se extrair características do estado muscular, e identificar problemas no sistema nervoso ou motor. Em nosso caso, a técnica será utilizada para identificar o estado muscular com o intuito de permitir um acionamento quando o músculo é contraído.

A origem da técnica tem princípio no estudo da eletricidade no peixe elétrico em 1666, por Francesco Redi. Em 1792 Luigi Galvani descobriu que a eletricidade é capaz de provocar contrações musculares. Isso ocorreu devido ao contato de um metal carregado eletricamente com a coxa de uma rã morta. A partir deste momento, começaram os estudos da eletricidade galvânica, que, após alguns anos, foram decifradas pelo próprio Galvani, em tratar-se de reações químicas. Após um século, em 1849, Emil du Bois-Reymond, aprofundou as pesquisas no conceito da bioeletricidade e chegou a conclusão de que seria possível medir a eletricidade produzida por um músculo. Este experimento foi realizado em 1890 por Étienne Jules-Marey, que introduziu o termo eletromiografia [HUSSAIN, REAZ, MOHD-YASIN].

Com o avanço das tecnologias a partir de 1900, o estudo da capacitância e da indutância permitiu o aprimoramento dos eletrodos. Com isso, a técnica de mensuração dos sinais biocorporais se aprimorou ainda mais e a eletromiografia gradativamente migrou de interna, onde o eletrodo penetrava no músculo (também chamada de técnica invasiva), para eletromiografia de superfície (técnica não invasiva). Devido à evolução da capacidade de integração dos circuitos, graças à microeletrônica, os dispositivos SMD permitiram a criação de equipamentos de medidas bioelétricas como EMG, ECG, EEG, entre outros, em versão portátil, alimentados à bateria, pilha, ou pela própria energia térmica humana tornando a mensuração mais fácil.

Para entender o sinal da eletromiografia, será explicado parcialmente, como o corpo gera o movimento.

1- O cérebro processa a indução do movimento e através do córtex motor primário, libera acetilcolina (neurotransmissor) para uma estreita faixa de neurônios, responsáveis por mover o músculo desejado.

2- O sinal de acetilcolina chega à junção neuromuscular atravessando bulbo, medula, coluna vertebral e parte do corpo, e ao entrar em contato com as paredes da membrana celular, permite que os canais de íons Na^+ e K^+ se abram, e com isso, o potencial

de membrana é variado, conforme ilustrado pela figura 2-a). Este é transmitido pelos túbulos T até o receptor DHP.

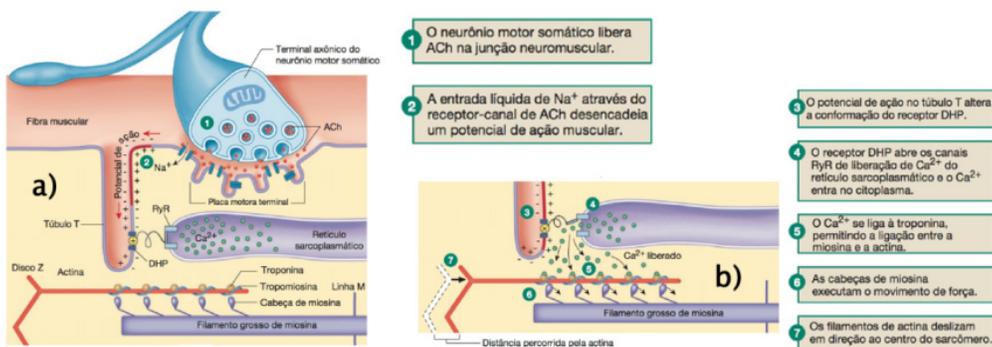


Figura 2 – Potencial de ação irradiado na junção neuromuscular.

Fonte: Adaptado da figura presente na página 418 de SILVERTHORN.

3- Ao ter sua polaridade variada o DHP sofre uma alteração em sua forma, e por ação mecânica (figura 2-b), abre o canal do sarcoplasma para que os íons Ca^{2+} entrem no citoplasma da célula muscular. Estes íons Ca^{2+} vão se unir à troponina, esta vai gerar uma contração na tropomiosina, que permitirá que a miosina se una à actina. Após esta união o filamento de miosina que estava fixo e em uma posição não natural da fibra, consegue se firmar na actina e libera um íon fosfato de creatina (Pi).

4- Após liberar o íon fosfato e a ligação com a molécula de actina estar firmada a molécula de miosina consegue realizar uma rotação, trazendo a molécula de actina para traz, como o movimento de puxar uma corda. Ao fazer este movimento ela libera a molécula de ADP contida em seu interior devido ao processo de hidrólise da ATP.

5- O filamento de actina fica preso à miosina naquela posição até que a miosina absorva outra molécula de ATP, hidrolise-a em ADP + Pi. E então, com o Cálcio proveniente dos sarcoplasma (liberados sobre ação dos neurotransmissores, ou seja, sinal cerebral do movimento), o movimento possa ser feito novamente [SILVERTHORN].

O potencial de ação produzido na membrana pela polarização gerada através dos canais iônicos, citada no passo 2, é possível de ser medido. É esse potencial que a técnica de eletromiografia mensura. Na figura 3 é demonstrado o espectro, em milivolts por milissegundos, de um potencial de ação muscular.

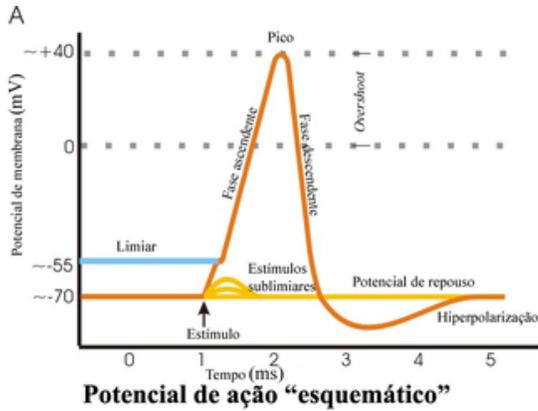


Figura 3 – Demonstração de um potencial de ação muscular.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Potencial_de_ação

3 I O CIRCUITO ELETRÔNICO PARA A ELETROMIOGRAFIA.

Devido ao potencial de ação muscular possuir baixa voltagem, da ordem de milivolts, é difícil fazer uma medida superficial com um voltímetro ou osciloscópio diretamente, mesmo utilizando eletrodos na interface com a pele para reduzir a resistência. Desse modo, usa-se um circuito amplificador para poder melhorar a resolução do sinal e do espectro de onda, como demonstrado na figura 4. O objetivo desta seção não é explicar em detalhes o circuito utilizado no projeto, há uma postagem no portal *Instructables* [INSTRUCTABLES] criada pelo autor do módulo utilizado neste projeto, onde é explicado o passo a passo para criação de um eletromiógrafo. Mas, seguindo a analogia da figura 4, pode-se explorar muitas topologias de circuitos. [WEBSTER].

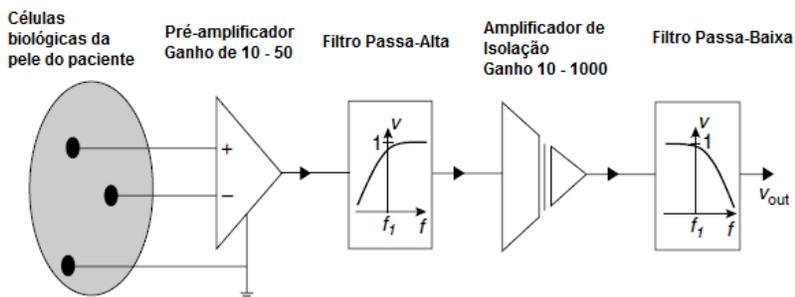


Figura 4 – Exemplo de um esquema geral para mensurar sinais elétricos do corpo.

Fonte: Adaptado de [BRONZINO].

4 | COMPONENTES E MONTAGEM.

Antes de iniciar as etapas de explicação da montagem, será descrito na tabela 1 a seguir a lista dos materiais utilizados.

Quantidade	Nome do componente
1	Arduino Nano
1	Módulo Bluetooth HC-06
1	Sensor EMG Muscle Sensor V3.0
3	Servo Motor SG-90
1	Potenciômetro 10k Ω Linear(B)
1	Potenciômetro 1k Ω Linear(B)
3	Resistores de 1k Ω
1	Fonte de tensão de 12V 1ª
1	Fonte de tensão 5V 2ª

Tabela 1 – Lista de materiais

Primeiro obteve-se a réplica da prótese citada na introdução com o auxílio de uma impressora 3D. Na figura 5 é mostrada parte da montagem. O tutorial para realizar construção da prótese é fornecido pela própria organização que a desenvolveu e explica detalhadamente como unir cada parte. Devido a falhas na impressão, a qualidade visual da prótese não ficou boa.



Figura 5 – Montagem da mão mecânica.

Fonte: Autor.

5 | CIRCUITO

Após a obtenção das partes e da montagem, iniciou-se o desenvolvimento do circuito. Decidiu-se dividir a montagem do circuito eletrônico em alguns blocos para facilitar o desenvolvimento. São eles: bloco 1, teste e configuração dos motores; bloco 2, configuração do módulo Bluetooth e do reconhecimento de palavras; bloco 3, teste e configuração do sensor mioelétrico; bloco 4, integrar e testar o funcionamento dos 3 blocos em conjunto; bloco 5, criar os controles de posição dos movimentos e integrar o sistema à prótese.

5.1 Bloco 1

Servos motores trabalham com ciclos de modulação por largura de pulso, pwm em inglês. Tem-se dois modos de utilizá-los no Arduino. Um é aproveitar as saídas digitais identificadas como PWM e utilizá-las em conjunto com a biblioteca Servo.h. Outro é criar um loop de chaveamento das porta com o uso das funções: laço de repetição, delayMicroseconds() e digitalWrite(). Neste projeto, optou-se pela segunda opção. A folha de dados (datasheet) do servo motor especifica como o PWM deve trabalhar para que o motor varie de posição. Basta configurar o sistema de modo que fique 'm' milissegundos em estado HIGH e 'n' milissegundos em estado LOW, de modo que 'm'+ 'n' defina o período de acionamento(T). Em nosso caso, T é 20ms e 'n' oscilou entre 1, 1,5 e 2ms para cada posição, -90°, 0° e +90°, respectivamente,

5.2 Bloco 2

Após ter conseguido definir os movimentos do servo motor, avançou-se para o desenvolvimento da comunicação via Bluetooth entre o Arduino e o celular. Para isto, utilizou-se do módulo HC-06. O Arduino por padrão tem seus pinos de comunicação RX e TX, responsáveis por fazer comunicações seriais com outros dispositivos, incluindo esse. Optou-se por utilizar o módulo em portas alternativas a estas padronizadas para o Rx / Tx, pois desse modo a comunicação USB continuaria disponível, permitindo utilizar a conexão ao computador para fazer modificações no código ou até avaliar informações do sensor EMG através do monitor da IDE [ARDUINO]. Para realizar essa adaptação de outros pinos para uma comunicação serial foi utilizada a biblioteca SoftwareSerial.h capaz de fazer essa portabilidade.

Definido os pinos da comunicação com o módulo Bluetooth, é necessário testá-los. O módulo trabalha com tensão de 3,3V, portanto deve-se atentar à voltagem de saída dos pinos de comunicação do Arduino (5V), sendo necessário criar um divisor de tensão na saída do pino escolhido como Tx (responsável pela transmissão ao módulo).

Para testar o sinal, o aplicativo BT Voice Control (Android) [SimpleLabsIn] vai ser utilizado. Com ele é possível enviar palavras para o Arduino. Associando estas à restrições(if

e else), é possível determinar quando um comando deve ser executado pela prótese.

5.3 Bloco 3

O sensor mioelétrico, muscle sensor v3.0, trabalha com alimentação positiva e negativa. O valor de alimentação simétrica indicado pelo fabricante é igual ou superior a $\pm 5V$. Para os testes realizados neste trabalho, não foram utilizadas baterias. Uma fonte de 12V foi utilizada em conjunto com o potenciômetro de 10k Ω para criar uma simetria, gerando $\pm 6V$. Após isso, basta plugar os eletrodos na placa e o sensor já está pronto para uso.

O circuito acompanha um resistor variável do tipo SMD que controla o ganho da última etapa de amplificação, permitindo facilitar a medida no caso de sinais de baixa amplitude. O sinal de saída varia de 0 a 5V como desejado para o Arduino, e pode ser lido do terminal SIG através de uma porta analógica. O terminal GND deve ser associado ao GND do circuito. Por fim, basta utilizar o comando `analogRead()` para efetuar a leitura do sinal, que poderá ser monitorada via IDE (monitor serial). Ao tocar nos eletrodos o valor vai variar.

5.4 Bloco 4

Após cada parte do circuito estar projetada e testada, faz-se a conexão de ambas ao microcontrolador para um teste em conjunto. Como o módulo muscular é polarizado pelo toque dos dedos, os testes desta etapa foram feitos de modo similar ao da etapa anterior. Ao dizer ‘indicador’ no aplicativo, o microcontrolador ativa a porta do sinal pwm, e estabelece uma posição inicial. Após 1 segundo, ele desativa a porta para que o motor não fique sendo acionado o tempo todo. Quando o sinal do músculo for menor do que a referência (valor lógico criado com o potenciômetro de 1k Ω e a fonte de tensão de 5V – basta ligar em uma entrada analógica), o ciclo pwm muda, alterando a posição do motor. A porta é então desativada e até que haja outro acionamento o motor fica nessa posição.

5.5 Bloco 5

Por fim, após todas as etapas anteriores funcionarem corretamente, conecta-se os terminais dos servos motores, fixados na mão, ao circuito e começa-se a projetar as posições. Foram idealizados os seguintes movimentos: apenas do dedão, definido pela palavra ‘dedão’; apenas do indicador, definido pela palavra ‘indicador’; abrir e fechar a mão em forma de punho, definido pela palavra ‘punho’; pinçar, definido pela palavra ‘pinça’; ligar, definido pela palavra ‘liga’; e desligar, definido pela palavra ‘desliga’.

Estabeleceu-se que para trocar de posição a ser executada, deve-se dizer a palavra ‘liga’. A prótese então reproduz o último movimento escolhido. Escolhe-se o novo movimento, dizendo a palavra-chave que o seleciona, como ‘punho’ por exemplo. A prótese reproduz o movimento, mostrando o que foi escolhido. Este sendo o correto, diz-se ‘desliga’ e pode-se reproduzi-lo com a contração muscular. Sendo o incorreto, diz-se outra palavra-chave, até se achar o que se quer.

Para executar os testes corretamente utilizou-se de eletrodos descartáveis de gel, pois providenciam melhor fixação. Os testes foram realizados no grupo muscular do antebraço, mas qualquer músculo que seja bem controlado pelo próstético poderá ser utilizado. O eletrodo de referência deve ser posicionado em um local que não contenha músculos, para que estes não interfiram no acionamento através de uma contração secundária e para que as cargas superficiais e a resistência da pele não sejam levadas em consideração na amplificação, podendo gerar ruído no sinal e acionamentos incorretos. A figura 6 demonstra locais para posicionamento correto dos eletrodos. O ponto sinalizado pela cor azul é um local alternativo onde os fios sinalizados pelas cores, verde e vermelho, podem ser conectados. Estes fios são os responsáveis por captarem o sinal enquanto aquele de cor amarela capta o potencial de referência.



Figura 6 – Eletrodos posicionados no braço.

Fonte: Autores.

Ao posicionar os eletrodos metálicos nos auxiliares de gel, o sistema irá medir as diferenças entre os potenciais. Estes valores variam por influência de diversos fatores - quanto maior o músculo maior a quantidade de junções neuromusculares que o corpo utiliza para polariza-lo, o que muda seu potencial em relação a um menor, além disso, as condições da pele como suor, pelos, gordura e camadas de células mortas também influenciam. Para resolver esse problema de oscilação do sinal, o potenciômetro citado anteriormente foi configurado de modo que, se o valor de referência dele for menor do que o sinal enviado pela placa mioelétrica + 50 o led 13 do Arduino irá apagar e o microcontrolador irá acionar a prótese. Caso contrário, permanecerá aceso, e enquanto neste estado, o microcontrolador não aciona os motores. O valor 50 é somado à referência para evitar

acionamentos involuntários, visto que o sinal muscular oscila em algumas dezenas de unidades constantemente. Este valor deve ser ajustado experimentalmente. Na figura 7 é apresentado o desenho esquemático final do circuito.

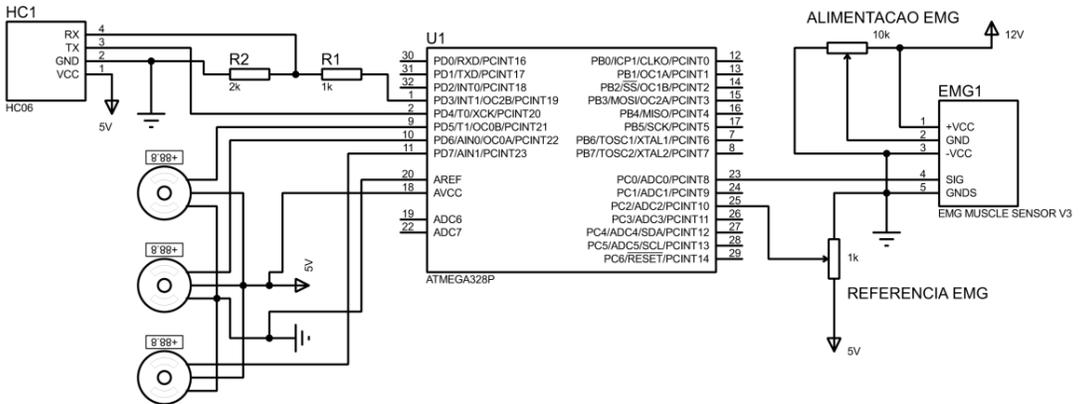


Figura 7 – Diagrama esquemático do circuito.

Fonte: Autores.

Verificou-se que cada motor estava consumindo entre 400 e 600 mA, e para acionar 3 motores seria necessário mais que 1 A de corrente. As baterias ou fontes utilizadas para acioná-los devem ser capazes de fornecer no mínimo 2A ao circuito.

6 | RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados obtidos após a etapa final de montagem são demonstrados através das figuras 8 e 9. As figuras apresentam apenas as posições mais complexas, “pinçar” e “punho”, que já demonstram o funcionamento do dedão e do indicador em sua ativação, provando que as outras duas posições, representadas pelo nome dos respectivos dedos também funcionam. Na figura 8 é demonstrado o acionamento da posição ‘pinçar’ quando o músculo é contraído.



Figura 8 – Eletrodos fixados e acionamento da posição pinçar.

Fonte: Autores.

Conforme explicado no tópico anterior quando o músculo é contraído o sinal do sensor fica menor que o da referência, o led apaga e a mão executa o comando (abrir ou fechar). Na figura 9 b) o comando já foi executado, o led 13 acendeu novamente pois o músculo já relaxou. Na figura 9 a) é ilustrada a posição “punho” no estado aberto.

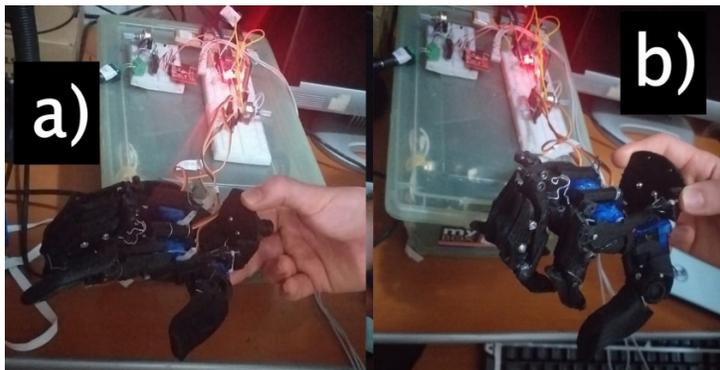


Figura 9– Posição punho quando acionada.

Fonte: Autores.

Ao se tentar carregar coisas ou segurar objetos com a prótese, dois obstáculos interferiram. O primeiro é que a má impressão da prótese danificou algumas estruturas das junções dos dedos e o movimento destes, em algumas situações, trava. O segundo, é que

os motores só apresentam 2kgf sendo necessária uma força de 4kgf ou maior para cada dedo de modo a replicar a força humana. Como o objetivo do trabalho é o desenvolvimento do controle eletrônico, não se projetou uma nova prótese, mas, esta não satisfaz as necessidades de um possível usuário.

Analisando o sistema eletrônico, percebe-se que este funcionou conforme o esperado. Possui fácil controle e atende às expectativas idealizadas. Mas, em situação ideal, como esta onde se realizou os estudos, não é possível prever as falhas e as dificuldades que o sistema terá ao ser utilizado por um próstético em seu cotidiano. Portanto, a análise feita neste trabalho é parcial e não compreende os problemas gerados pela rotina de um usuário, que incluem:

- artefatos produzidos por suor ou deslocamento e que geram acionamentos incorretos.
- desconforto no uso da prótese por muitas horas.
- defeito dos motores ou da estrutura quando submetidos a determinado stress.
- dificuldade de carregar uma carga por muito tempo.

Esses e outros fatores precisam ser estudados em um projeto mais robusto, envolvendo um paciente, para que o sistema seja aprimorado além das condições ideais de uso. Deste modo é possível desenvolver uma prótese direcionada a ele, com os tamanhos proporcionais ao seu corpo, e com toda a caracterização eletrônica em função das necessidades diárias, incluindo compartimentos hermeticamente fechados, pensando em dias chuvosos ou interação com a água, sistema de transmissão de força melhor desenvolvido, de modo a balancear o peso total da prótese com a capacidade da mesma, análise de tração e compressão de cada dedo, controle de pressão na ponta do dedo, sensação de toque, entre outros sistemas possíveis de serem desenvolvidos.

7 | CONCLUSÃO

Conclui-se com a realização deste projeto que a dificuldade e a complexidade por detrás do desenvolvimento de próteses biônicas em ambientes ideais são muito baixas, visto que os comandos respondem exatamente da forma que eles são idealizados. As dificuldades encontradas foram facilmente resolvidas, levando em conta que o sistema todo foi criado em meio a uma pandemia. A verdadeira complexidade se dá em condições reais de uso, não exploradas aqui, e, portanto, não totalmente entendidas.

O sistema atual ainda poderia ter sido aprimorado com redes neurais, mas este tipo de aprimoramento visa o controle do acionamento em meio a artefatos de movimento e de suor, que possam polarizar o eletrodo incorretamente. Como os testes deste trabalho foram realizados em regime estático, e com apenas dois eletrodos, não houve a detecção de artefatos e, portanto, não foi possível gerar este sistema. Ainda assim, mesmo que

fossem simulados propositalmente, servindo de base para a criação da rede, não haveria a garantia de que, quando usado por um usuário real, se comporte de forma correta. As características biocorporais variam de pessoa para pessoa e a dinâmica imposta ao sistema varia de tarefa para tarefa. Portanto, o uso de redes neurais para controle da atuação deve ser personalizado para cada indivíduo e tarefa, atendendo a necessidades específicas [BAETA].

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPQ, pela bolsa de categoria PIBITI. Graças a ela foi possível bancar os custos do projeto. Agradecemos à Universidade de São Paulo, USP, à Faculdade de Tecnologia de São Paulo, FATEC-SP e a todos que colaboraram de alguma forma com o projeto.

REFERÊNCIAS

Arduino. **IDE Arduino Software**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/main/software>>. Último acesso em: 25 jan. 2021.

BAETA, C. A. **Proyecto Roujin: Entorno experimental para pruebas de control con señales bioeléctricas**. 2015. 71 h. Tesis (Graduación em Ingeniería Informática) – Grupo de Informática Gráfica Avanzada, Universidade Zaragoza, Saragoça, 2015.

BRONZINO, J. D. **The Biomedical Engineering Handbook: Medical Devices and Systems**. 3ª edição. Florida: CRC Press, 2006. Cap 47, p. 904-917.

Instructables. **Muscle EMG Sensor's for a Microcontroller**. Disponível em: <www.instructables.com/id/Muscle-EMG-Sensor-for-a-Microcontroller/>. Último acesso em: 25 jan. 2021.

LAU, B. G. **An intelligent Prosthetic Hand using Hybrid Actuation and Myoelectric Control**. 2009. Cap. 3 P. 49.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana: uma abordagem integrada**. 5ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2010, n. 1, cap 9, p. 296-330.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana: uma abordagem integrada**. 5ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2010, n. 2, cap 12, p. 406-445.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana: uma abordagem integrada**. 5ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2010, n. 3, cap 13, p. 446-466.

SimpleLabsIN, **BT Voice Serial**. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=robotspace.simplelabs.amr_voice&hl=pt_BR>. Último acesso em: 25 jan. 2021.

REAZ, M.B.I. HUSSAIN, M.S. MOHD-YASIN, F. **Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications.** NCBI, v. 8, 2006, p. 11-35, 23 mar. 2006.

WEBSTER, J. G. **Medical Instrumentation: Application and design.** 4ª edição. John Wiley & Sons, 2010. Cap 5, p. 189-240.

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