

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 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 Atilio Vingert

Giuseppe Guilherme Mergener Vingert

Luiz Carlos Gertz

Alessandro Sarmiento dos Santos

José Lesina Cezar

Patrice Monteiro de Aquim

Jonathan Moling

Gabriel Mateus Neumann

Nickolas Augusto Both

Monir Goethel Borba

Lirio Schaeffer

DOI 10.22533/at.ed.13821130514

CAPÍTULO 15..... 221

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

Gabriel Silva de Marchi Benedito

Daniel Augusto Pagi Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.13821130515

CAPÍTULO 16..... 238

PATH PLANNING COLLISION AVOIDANCE USING REINFORCEMENT LEARNING

Josias Guimarães Batista

Emerson Verar Aragão Dias

Felipe José de Sousa Vasconcelos

Kaio Martins Ramos

Darielson Araújo de Souza

José Leonardo Nunes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.13821130516

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

CAPÍTULO 23.....335

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

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

DOI 10.22533/at.ed.13821130523

CAPÍTULO 24.....350

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

Matheus Silva Pestana
Danúbia Soares Pires
Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.13821130524

CAPÍTULO 25.....363

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

Mauricio Andrade Nascimento
Ednildo Andrade Torres

DOI 10.22533/at.ed.13821130525

CAPÍTULO 26.....391

MONITORAÇÃO REMOTA DE RESERVATÓRIOS LÍQUIDOS UTILIZANDO O MÓDULO ESP32-LoRa

Maria Eduarda Aparecida Gil
Thiago Timoteo Henrique
Getúlio Teruo Tateoki

DOI 10.22533/at.ed.13821130526

CAPÍTULO 27.....397

S.A.C SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO CICLISTA

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

DOI 10.22533/at.ed.13821130527

CAPÍTULO 28.....402

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

Lucas de Oliveira Soares

Luiz Alberto Pinto
Diego Assereuy Lobão

DOI 10.22533/at.ed.13821130528

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

CAPÍTULO 14

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

Data de aceite: 01/05/2021

Data de submissão: 12/02/2021

José Lesina Cezar

Universidade Luterana do Brasil
Canoas – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3060084863419387>

Moisés de Mattos Dias

Universidade Feevale
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4783579164324276>

Patrice Monteiro de Aquim

Universidade Feevale
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7098931445685566>

Niklaus Veit Lauxen

Universidade Feevale
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3363430496789436>

Jonathan Moling

Universidade Feevale
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul

Marco Antônio Fröhlich

Universidade Feevale
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0997561864604119>

Gabriel Mateus Neumann

Universidade Feevale
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4982023301602745>

Claudionor Atilio Vingert

Agrovec Máquinas Agrícolas
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/5967130460475115>

Nickolas Augusto Both

Universidade Feevale
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7216092205680987>

Giuseppe Guilherme Mergener Vingert

Agrovec Máquinas Agrícolas
Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul

Monir Goethel Borba

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3052881710498127>

Luiz Carlos Gertz

Universidade Luterana do Brasil
Canoas – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1346776082936013>

Lirio Schaeffer

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1093242836059112>

Alessandro Sarmiento dos Santos

JSA Engenharia
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7436926625308553>

RESUMO: A Universidade Feevale em parceria com Agrovec, JSA Engenharia e o setor de Engenharia Automotiva da ULBRA, está desenvolvendo um Veículo Elétrico Híbrido, no

qual, o motor a combustão atualmente utilizado, está sendo substituído por um Motor Síncrono Trifásico, a partir de um Inversor e baterias. Cita-se que o motor utilizado atualmente, é de 13 HP, à gasolina de uma motocicleta no qual foram implantadas algumas adequações. Desta forma, o novo Veículo em desenvolvimento, possui um Gerador a combustão (Biodiesel e Biometano) e módulo solar, ambos para carga da bateria, havendo ainda a possibilidade de as baterias serem carregadas pela rede elétrica. As baterias compreendem um banco de 4 baterias convencionais de chumbo-ácido, ligadas em série para uma tensão de 48V. Assim, o presente trabalho tem por objetivo, além da apresentação do projeto de todo o sistema de controle, a metodologia utilizada para montagem das placas de circuitos elétricos e eletrônicos, bem como suas instalações no veículo proposto. O controlador consiste basicamente de retificadores CA-CC da rede elétrica e a partir do gerador à biometano e biodiesel, controlador de carga para as baterias a partir dos retificadores e módulos solar, inversor trifásico, e sensores diversos para monitoração de todas as grandezas elétricas envolvidas. Importante salientar que o projeto se encontra nas etapas finais de montagens.

PALAVRAS - CHAVE: Veículo elétrico, energia solar, conversores, inversores.

CONVERTERS AND INVERTERS FOR ACTIVATION AND CONTROL OF A HYBRID ELECTRIC VEHICLE

ABSTRACT: The Feevale University in partnership with Agrovec, JSA Engineering and ULBRA's Automotive Engineering sector is developing a hybrid electric vehicle. The currently used combustion engine is being replaced by a three-phase synchronous motor starting from an inverter and batteries. It is said that the engine currently used is 13 HP, with gasoline from a motorcycle in which some adjustments have been implemented. Thus, the new vehicle under development, has a combustion generator (biodiesel and biomethane) and solar module, both for charging the battery, with the possibility of the batteries being charged by the power grid. The batteries comprise a bank of 4 conventional lead-acid batteries, connected in series for a voltage of 48V. Thus, the present work aims, in addition to presenting the design of the entire control system, the methodology used for assembling the electrical and electronic circuit boards, as well as their installations in the proposed vehicle. The controller basically consists of AC-DC rectifiers from the electrical network and from the biomethane and biodiesel generator, charge controller for batteries from the solar rectifiers and modules, three-phase inverter, and various sensors for monitoring all the electrical quantities involved. It is important to note that the project is in the final stages of assembly.

KEYWORDS: Electric vehicle, solar energy, converters, inverters.

1 | INTRODUÇÃO

Com o surgimento dos motores elétricos na segunda metade do século XIX, seguido da invenção das baterias recarregáveis, o inglês David Salomons criou o que viria a ser um dos primeiros exemplares de veículos elétricos funcionais. As primeiras características deste tipo de veículo já ficaram destacadas, baixo ruído, bom desempenho, mas autonomia reduzida em demasia. A produção de veículos elétricos com baterias recarregáveis se

manteve forte até o final da primeira década do século XX, porém com a expansão dos postos de combustíveis, o alto custo da energia elétrica e o sistema de produção em massa do recém criado modelo T, por Henry Ford, minaram as vendas dos veículos elétricos e o interesse público pela sua utilização (BRUNETTI).

Na segunda metade do século XX, com a crise do petróleo, o interesse público voltou os olhos a novos conceitos de propulsão, com o intuito de se tornar independente do petróleo, com isto as já grandes montadoras iniciaram o desenvolvimento de veículos 100 % elétricos e híbridos. Ao decorrer dos anos 80, a preocupação com a independência do petróleo se somou a questões ambientais, e a não poluição se tornou a principal preocupação nos novos projetos, porém a produção e comercialização destes veículos não era economicamente viável até que em 1997 a Audi e a Toyota iniciaram a produção em série de modelos híbridos (BRUNETTI).

Nos veículos híbridos os motores a combustão participam diretamente da propulsão, tendo auxílio dos motores elétricos que também funcionam como geradores em momentos de frenagem. Motores a combustão que não participam diretamente da propulsão devem ser chamados de *range extender* ou extensor de autonomia. Os extensores de autonomia são uma parte de um veículo elétrico, são responsáveis por alimentar as baterias quando estas apresentarem tensão abaixo de um valor pré-estipulado. De modo geral funcionam de forma independente do usuário, onde um gerenciador eletrônico comanda a rotação ideal e o momento em que é ligado e desligado. Três conceitos podem ser levados em conta na escolha do extensor de autonomia (MARTINS):

- O veículo deve manter as características tidas como normais, e o extensor de autonomia deve ser um motor comercial ligado a um gerador;
- O extensor de autonomia deve possuir a mais alta eficiência energética disponível em motores de combustão interna;
- Como não há funcionamento constante do extensor de autonomia, este deve priorizar por ter peso e volume reduzidos.

O primeiro conceito já é utilizado comercialmente pela General Motors, lançado em 2010 o Volt (Ampera na Europa), utiliza um motor de 4 cilindros em linha e 1.5 litros de capacidade cúbica, com rotação variando conforme as necessidades de operação. Para o segundo conceito há a necessidade de utilização de ciclos termodinâmicos de maior eficiência, tais como ciclo Miller ou Atkinson. Neste conceito os motores trabalham a rotações constantes e são otimizados para tal regime. Para o último conceito há a necessidade de motores com alta potência específica, neste caso normalmente opta-se pela utilização de motores do tipo Wankel ou de microturbinas a gás (MARTINS).

O grupo GM desenvolveu o motor GM Volt, no qual o gerador do conjunto exposto localizado dentro da caixa de mudanças, de forma que o volume total do conjunto não seja superior ao já encontrado em veículos convencionais.

As máquinas elétricas rotativas são dispositivos eletromecânicos que convertem energia elétrica em energia mecânica ou vice-versa, com diversas possibilidades de aplicação. Um gerador é capaz de converter a energia mecânica fornecida através de um eixo em energia elétrica, funcionando através do princípio do campo eletromagnético, onde um condutor ao se mover em um campo magnético, gera uma força eletromotriz que é induzida aos terminais. Um motor elétrico converte a energia elétrica em mecânica, utilizando o preceito inverso do gerador (CORREIA).

O princípio de funcionamento das máquinas elétricas pouco se alterou ao passar dos anos, mantendo características semelhantes às utilizadas no final do século XIX. Porém com os avanços tecnológicos na área dos materiais, foi possível desenvolver máquinas elétricas com peso reduzido, diminuindo a relação peso/potência (BARROS).

As novas tecnologias empregadas na fabricação dos componentes internos das máquinas elétricas reduziram os espaços ocupados em cerca de 60%, o que acabou por popularizar o uso de máquinas elétricas em aplicações industriais e residenciais. As máquinas elétricas são classificadas em variadas categorias tais como frequência de rotação do eixo, princípio de conversão de energia, modelo de corrente elétrica utilizado e das particularidades de construção do rotor e estator. (BARROS).

Em um veículo elétrico-híbrido no qual geradores e motores trifásicos de tensão alternada estão ligados a fontes de tensão contínua, como baterias, alguns dispositivos elétricos-eletrônicos estão envolvidos. A seguir uma nomenclatura usual para cada dispositivo (HART):

- Conversor CC-CC: Conversão de níveis de tensão contínua. Como exemplo, controlador de carga e carregador de baterias a partir de painéis solar
- Conversor CA-CA: Conversão de níveis de tensão alternada. Como exemplo, em Aero geradores que geram tensão e frequência variáveis, de acordo com a velocidade dos ventos, deve-se adequar os níveis de tensão à rede. Outro exemplo são inversores para motores, capaz de gerar amplitudes e frequências variáveis para acionamento de motores com variação de velocidade. Um conversor CA-CA, basicamente é constituído de um retificador, um oscilador e um dispositivo reforçador de corrente.
- Inversor CC-CA. Gerar uma tensão alternada a partir de tensão contínua. Como exemplo gerar tensão alternada trifásica ou monofásica a partir de baterias. Em um conversor CA-CA sempre haverá um inversor.
- Retificador CA-CC. Gerar um nível de tensão contínua a partir de uma tensão alternada. Em um conversor CA-CC sempre haverá um Retificador.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Estrutura do Veículo e Diagrama Elétrico

A Agrovec é uma empresa de pequeno porte do sul do Brasil, a qual, já há alguns anos fabrica veículos para aplicação agrícola, conforme pode ser observado na figura 1. Atualmente, estes veículos possuem tração a partir de motor de motocicleta à gasolina, com algumas adaptações na transmissão. Assim, este trabalho por objetivo a substituição deste motor à gasolina por um sistema elétrico híbrido. Participam ainda deste projeto o Setor de Automotiva da ULBRA e a JSA Engenharia.



Figura 1 – Modelos de veículos produzidos pela Agrovec

O novo veículo será traçado por um motor elétrico síncrono trifásico de 9 kW ou 12 HP, acoplado diretamente na caixa de engrenagens. O rotor do motor elétrico será construído a partir de ferro sinterizado e ímãs permanentes de NdFeB utilizando-se os processos da metalurgia do pó. O veículo, por ser híbrido, terá um grupo motor-gerador ou gerador à combustão, ou seja, um gerador elétrico acoplado a um motor à combustão, o qual será adaptado de um motor à diesel de 5 kW para biometano e biodiesel. A energia elétrica gerada pelo gerador à combustão, a partir de retificador e um conversor CC-CC ou Controlador de Carga, irá carregar uma Bateria de alta amperagem. Um módulo solar com película flexível montado no teto da cabine também carregará a bateria a partir de controlador de carga. O motor elétrico que irá tracionar o veículo será alimentado pela bateria, a partir de um inversor trifásico. Haverá ainda a possibilidade de a bateria ser carregada a partir da rede elétrica. A figura 2 mostra o Diagrama em Blocos deste acionamento.

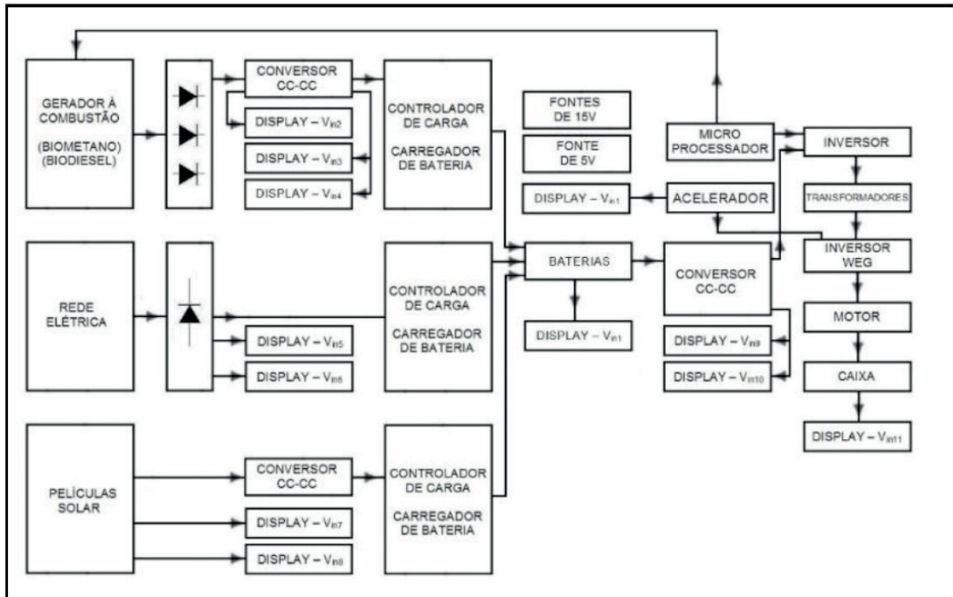


Figura 2 – Diagrama em Blocos do Acionamento para o Veículo Elétrico Híbrido

2.2 Montagens Mecânicas do Motor e Fontes

O motor síncrono trifásico de 9 kW a ser utilizado para tração do veículo elétrico híbrido, foi montado sobre uma base de um motor de indução trifásico 4 polos, 10 CV, fabricado pela Voges Motores, do qual foram aproveitados, a carcaça, as chapas do núcleo do estator, o eixo, rolamentos e tampas, que são peças comuns para vários tipos de motores AC (corrente alternada). O desenvolvimento consistiu em fabricar um novo rotor a partir de material sinterizado de alta resistividade elétrica (e não chapas como os motores convencionais) embutindo-se ímãs permanentes de NdFeB de elevada retentividade e coercitividade (figura 3-a). Além de um novo rotor, também o estator foi rebobinado (figura 3-b) a fim de suportar os novos níveis de tensão e fluxo magnético de entreferro, bem como as novas potências envolvidas. Nesta configuração, é possível modificar um motor de indução comum em um motor trifásico de alto desempenho e rendimento. O motor foi montado e pintado (figura 3-c), e acoplado na caixa de câmbio (de Chevette) adaptada ao veículo (figuras 3-d e 3-e). Nos testes em bancada o motor desenvolveu uma potência de 9 kW, a uma velocidade de 3.000 RPM, e rendimento de 94%.

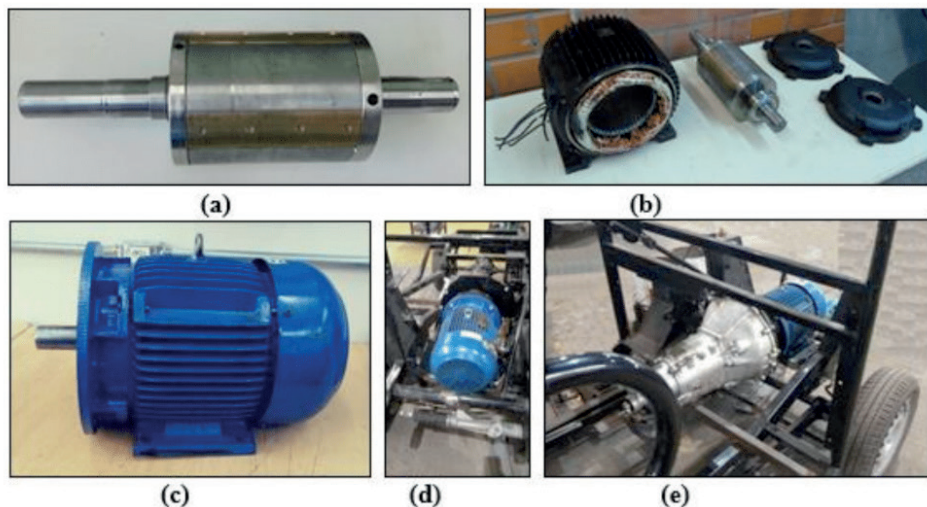


Figura 3 – Motor elétrico síncrono trifásico para tração do veículo – (a) Rotor sinterizado – (b) Estator e Tampas – (c) Motor Montado e Pintado – (d) Motor montado no Veículo – (e) Detalhe da Caixa de Câmbio

O mesclador é um misturador ar-gás também conhecido, e tem como função principal realizar a correta mistura entre o ar que está sendo admitido pelo motor e o gás que está sendo usado como combustível. Após o desenvolvimento em CAD do mesclador, é realizada uma simulação de fluxo de ar, através de um software de simulação como o Solidworks Flow Simulation, e para a fabricação da peça pode-se utilizar o alumínio, e a manufatura através do processo de usinagem, em uma fresadora CNC.

Dentre as muitas tecnologias já disponíveis na área de células solares, pode-se destacar um grupo específico de células chamado células fotovoltaicas de filmes finos. No veículo será utilizado 3 películas flexíveis Eifeland SP-37 18V 100 Wp com 28 células monocristalinas, coladas em uma chapa de aço curvada, instalada no teto do veículo.

Conforme mostra o diagrama esquemático da figura 2, 3 fontes carregam as baterias, a saber, o gerador à combustão (biodiesel e biometano), o módulo solar, e a rede elétrica. observa-se que os sinais, após a retificação (gerador e rede), um controlador de carga (MPPT / Solar Charge Controller), carrega as baterias. Cita-se que este controlador, apesar da citação solar, pode ser utilizado para outros tipos de dispositivos para carga de bateria, desde que os níveis de tensão e corrente estejam adequados. Com relação ao Inversor, o qual aciona o motor elétrico do veículo, conforme mostra o digrama esquemático da figura 2, a tensão do banco de baterias é elevada (Conversor CC-CC elevador), passa por um inversor trifásico e após, alimenta o inversor / WEG CFW-08 de 10 kW.

2.3 Cargas das Baterias

Conforme mostra o diagrama esquemático da figura 2, três fontes carregam as baterias a partir dos controladores de carga. Contudo, para que as tensões sejam colocadas na entrada dos controladores, estas devem ser ajustadas, a partir de circuitos retificadores e conversores CC-CC. Assim, as figuras 4,5 e 6 mostram estes circuitos.

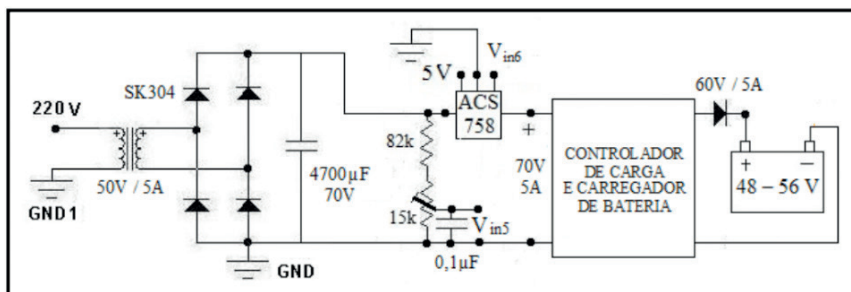


Figura 4 – Carregador de baterias a partir da rede elétrica

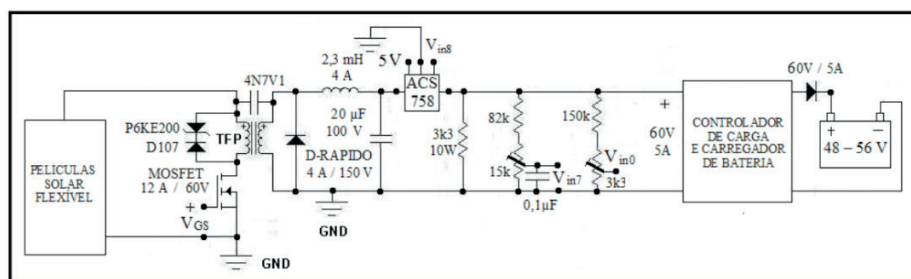


Figura 5 – Conversor CC-CC elevador e para carga das baterias a partir do painel de módulos solar flexíveis

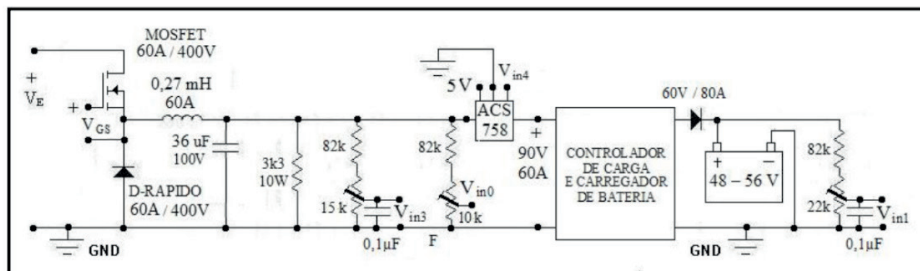


Figura 6 – Conversor CC-CC rebaixador para carga das baterias do gerador à combustão

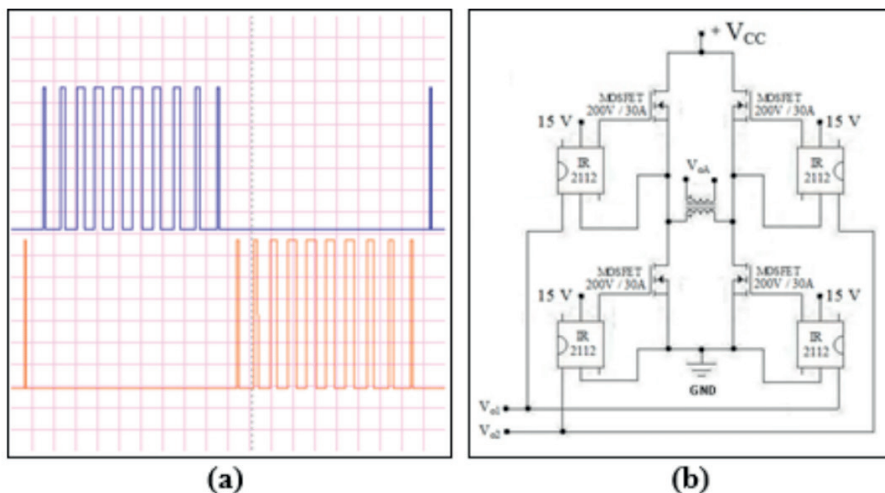


Figura 8 – Inversor de frequência trifásico – (a) modulação por largura de pulso para aproximação de ondas senoidais – (b) circuito elétrico por fase

O trem de pulsos para todos os conversores CC-CC foram gerados a partir de um circuito integrado dedicado, o TL 494, o qual é muito utilizado para circuitos PWM. Para alimentação dos diversos circuitos indicados anteriormente, foi desenvolvida uma placa com 3 fontes CC, de 5,12 e 15 V. Também foi desenvolvida uma segunda placa com o microprocessador PIC16F28A para adequar alguns sinais de V_{in} e outros controles do veículo.

2.5 Painel de Controle

Os displays de V_{in1} até V_{in10} (figura 9-a) indicam valores diversos de tensão e corrente. Os 5 controladores para carga das baterias solar charge controller, o inversor CFW 08 da WEG, e os displays, serão fixados no gabinete do painel de controle, conforme mostram as figuras 9-b (layout) e 9-c (painel em montagem). As placas eletrônicas desenvolvidas (conversores, inversor, fontes e microprocessadores), e os transformadores serão fixados no interior deste painel. A figura 10-a mostra onde este painel será fixado no veículo, bem como as baterias. As figuras 10-b, 10-c e 10-d mostram fotos detalhadas de algumas partes do Veículo em montagem final.



Figura 9 – Painel de Controle e Monitoração – (a) Disposição dos Displays – (b) Lay Out – (c) Parcialmente montado

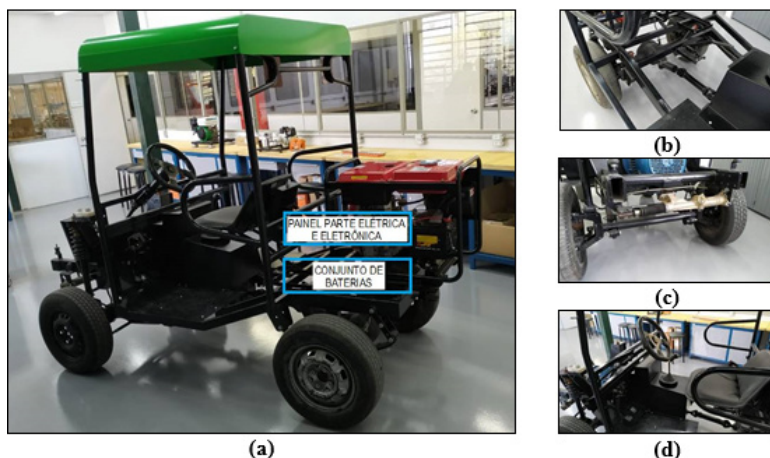


Figura 10 – Detalhamento Montagens do Veículo – (a) Localização do Painel de Controle e Baterias – (b) Transmissão – (c) Suspensão – (d) Direção

3 | RESULTADOS PRELIMINARES

Algumas partes mecânicas, bem como as placas que compõe o painel de controle do veículo elétrico híbrido, apesar de estarem todas projetadas, estão em fase de montagens e testes. Para os testes da carga das baterias pela rede elétrica foi montada uma placa protótipo e testada em bancada, conforme mostra a figura 11-a. Uma placa experimental do conversor CC-CC rebaixador foi montada para testes em baixa tensão e corrente (figura 11-b), ou seja, a partir de componentes de menor potência. Para os testes da placa da carga das baterias pela rede, o transformador (127 / 220 V : 24V+24 V) foi ligado à rede de 127 V, resultando em uma tensão de entrada, na placa de retificação, de 48 V. Após o processo de retificação obteve-se, na saída da placa, uma tensão aproximada de 63 V, pode ser visualizado na figura 14-a. Pode-se observar no display do controlador MPPT um sol com uma seta em direção a uma bateria. Sendo assim o controlador está indicando que o mesmo está efetuando uma carga nas baterias, em um sistema com 4 baterias ligadas

em série.

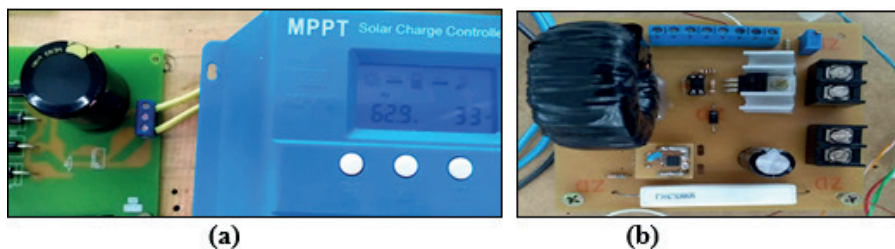


Figura 11 – Placas em Testes – (a) Carregador das Baterias pela Rede – (b) Conversor CC-CC rebaixador

Para os testes da placa preliminar do conversor CC-CC, utilizou-se um gerador digital, capaz de gerar uma onda quadrada, com variação do tempo de ligado e desligado (t_{on} e t_{off}), ou seja, do *duty cycle*, bem como ampla variação da frequência. Uma placa de testes da parte de potência do Inversor foi montada (figura 12). Para a medição da tensão do barramento CC foi utilizado um multímetro portátil ANENG modelo AN870. Para medição da tensão de saída do inversor e do formato de onda, foram utilizados um multímetro de bancada KEYSIGHT modelo U3401A e um osciloscópio RIGOL modelo DS1054Z.

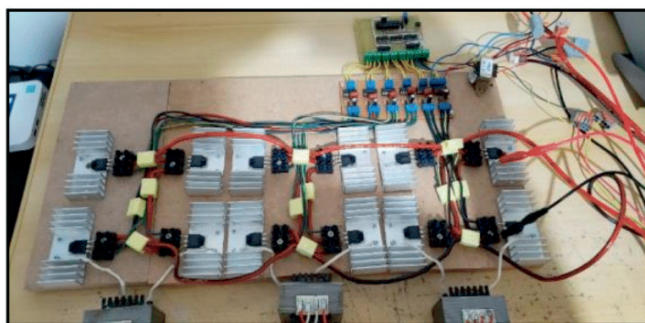


Figura 12 – Setup de teste do inversor

As medições feitas foram do formato de onda da modulação PWM na saída da placa do processador e da tensão de saída do inversor após o filtro de saída. A figura 13-a mostra o formato de onda da saída do inversor. Fase R em amarelo, fase S em azul claro e fase T em roxo. A figura 13-b mostra o formato de onda da saída do inversor mostrando as três fases separadas.



Figura 13 – Formato de onda da saída do inversor – (a) Fase R em amarelo, fase S em azul claro e fase T em roxo – (b) As três fases separadas

4 | CONCLUSÕES

Conforme se pode observar nos resultados indicados, tanto os Conversores CC-CC quanto o inversor funcionaram perfeitamente. No estágio atual do desenvolvimento do projeto, estão sendo montadas as placas definitivas. Após estas serão testadas, fixadas no gabinete do painel de controle, que por sua vez será instalado no veículo. Finalmente o veículo será testado rodando. Cita-se que o motor trifásico, também já foi testado em bancada e o mesmo desenvolver aproximadamente 9 kW. Os resultados dos testes do veículo elétrico híbrido, bem como seu desempenho, velocidade e autonomia serão divulgados em futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

BARROS, Benjamim Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis. **Eficiência Energética: Técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos**. São Paulo: Érica, 2015. 152 p.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna: volume 2**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2012. 485 p. 2 v.

CORREIA, Pedro António Abreu. **Avaliação do desempenho de um carro elétrico com máquina DC e máquina AC**. 2018. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica-telecomunicações, Universidade da Madeira, Funchal, 2018.

GRUPO DE ENERGIA ESCOLA POLITÉCNICA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – GEPEA. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. 2012.

HART, Daniel W. **Eletrônica de Potência**. São Paulo, MCGRAW HILL -, 2011. 504p.

Motores de Combustão Interna: Quarta Edição, Revista e aumentada. 4. ed. Porto: Publindústria, 2013. 473 p.

RISSO, Marcelo Luiz. **O desenvolvimento da indústria de veículos elétricos no Brasil: O papel das políticas públicas**. 2018. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Departamento de Administração - Ppg, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

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