

**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](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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**

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

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

**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**

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>415</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>416</b>

# CAPÍTULO 3

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

*Data de aceite: 01/05/2021*

**Pedro Henrique Melo Costa**

**Thiago Melo de Lima**

**Antonio Carlos Alves de Farias**

**Rennard de Oliveira Brito**

**RESUMO:** O Projeto de Eficiência Energética e Uso Racional de Energia Elétrica na UFAC – Universidade Federal do Acre é resultado de uma iniciativa da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, através da Chamada de Projetos de EE Prioritário e P&D Estratégico nº 01/2016 – “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”, a qual estimulava as distribuidoras de energia elétricas brasileiras investissem os recursos provenientes do PEE – Programa Nacional de Eficiência Energética, em projetos que tivessem como beneficiárias as instituições públicas de ensino superior que alinhassem as efficientizações energéticas com ações de pesquisa e desenvolvimento com o intuito de selecionar projetos pilotos e demonstrativos em que suas execuções fornecessem subsídios importantes para a formulação de políticas públicas de combate ao desperdício de energia elétrica em unidades consumidoras da administração pública. Nesse interim, a Energisa Acre (na época Eletroacre) com a parceria do CEEAC – Centro de Excelência em Energia do Acre

concebeu o Projeto para atender à UFAC, maior e mais importante instituição superior de ensino do estado, sendo aprovado pela ANEEL. Com um investimento total de R\$ 2.171.205,50 (sendo que as ações de P&D totalizam R\$ 1.064.668,00 e as de EE R\$ 1.106.537,50) o Projeto está em execução, tendo seu encerramento previsto para fevereiro de 2020, quando será finalizada a substituição das 14.255 lâmpadas do campus Rio Branco da UFAC, por lâmpadas de LED, mais modernas e eficientes energeticamente, além da ligação dos 496 painéis solares fotovoltaicos (sendo 264 no telhado e 232 no solo) à rede de energia elétrica, o que representa uma geração de 181,04 kWp de energia, sendo até o momento a maior usina solar fotovoltaica instalada em uma instituição pública do estado, trazendo redução de consumo de energia da universidade.

**PALAVRAS - CHAVE:** Energia Solar, Eficiência Energética, Pesquisa e Desenvolvimento.

### ENERGY EFFICIENCY, RESEARCH AND DEVELOPMENT AND PHOTOVOLTAIC GENERATION AT UFAC (FEDERAL UNIVERSITY OF ACRE)

**ABSTRACT:** The Energy Efficiency and Rational Use of Electricity Project at UFAC - Federal University of Acre is the result of an initiative by ANEEL - National Electric Energy Agency, through the Call for Priority EE Projects and Strategic R&D nº 01/2016 - “Efficiency Energy and Minigeneration in Public Institutions of Higher Education”, which encouraged Brazilian electric energy distributors to invest the resources from the PEE - National Energy Efficiency Program, in projects that benefited public higher education

institutions that aligned energy efficiency with research and development actions in order to select pilot and demonstration projects in which their execution would provide important subsidies for the formulation of public policies to combat the waste of electricity in public administration consumer units. In the meantime, Energisa Acre (at the time Eletroacre) in partnership with CEEAC - Center for Excellence in Energy in Acre conceived the Project to serve UFAC, the largest and most important higher education institution in the state, being approved by ANEEL. With a total investment of R \$ 2,171,205.50 (with R&D actions totaling R \$ 1,064,668.00 and EE R \$ 1,106,537.50), the Project is in progress, and its closure is scheduled for February 2020, when the replacement of 14,255 lamps on the Rio Branco campus of UFAC will be completed by LED lamps, which are more modern and energy efficient, in addition to the connection of 496 photovoltaic solar panels (264 on the roof and 232 on the ground) to the grid. of electricity, which represents a generation of 181.04 kWp of energy, being the largest solar photovoltaic plant installed in a public institution in the state so far, reducing the university's energy consumption.

**KEYWORDS:** Solar Energy, Energy Efficiency, Research and Development.

## 1 | INTRODUÇÃO

A ANEEL, por meio da CHAMADA N°. 001/2016 PROJETO PRIORITÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ESTRATÉGICO DE P&D: “EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MINIGERAÇÃO EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS DE EDUCAÇÃO SUPERIOR” buscou a implementação de projetos que possibilitassem a troca de equipamentos energeticamente ineficientes por outros mais eficientes, e que incentivassem a mudança de hábito de consumo de professores, alunos e funcionários das instituições de educação, a implantação de minigeração de energia elétrica nas Instituições Públicas de Educação Superior, a redução nas contas de energia elétrica dessas instituições, assim como uma nova forma de gestão energética, por meio de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação, entre outras ações de capacitação profissional, além de buscar criar uma cultura de eficiência energética na formação de futuros profissionais, tendo em vista que tal cultura é de grande relevância para a sociedade como um todo.

Diante do cenário instigado pela ANEEL por meio da Chamada nº 001/2016, a Energisa Acre (na época Eletrocre) em parceria com a CEEAC propôs o projeto para atender a UFAC, tendo como beneficiário o campus Rio Branco, trabalhando em duas frentes, a saber:

- PEE, cujo objetivo geral é a reduzir o consumo de energia elétrica da unidade consumidora em questão;
- P&D, cujo objetivo geral é disseminar a cultura de eficiência energética no âmbito acadêmico, através do aumento do conhecimento do tema por meio da monitoração do consumo próprio, estudos dos hábitos regionais de consumo, estudos e monitoração da rede elétrica interna, pesquisas de potenciais para geração por fontes alternativas, fomento a inovação e desenvolvimento tecno-

lógico de automação.

## 2 I INICIATIVAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O programa de eficiência energética regulado pela ANEEL (PEE) tem como objetivo principal promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia, por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício de energia e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Busca-se, em última instância, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando a demanda por equipamentos energeticamente eficientes e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

Diante desse cenário é que foram pautadas todas as iniciativas de eficiência energética do Projeto de Eficiência Energética e Uso Racional de Energia Elétrica na UFAC, que abrangem a eficientização do sistema de iluminação da UFAC Campus Rio Branco e a implantação de geração distribuída, visando a redução de consumo de energia da referida unidade consumidora.

### 2.1 Objetivo

O objetivo do projeto aprovado é a redução de consumo de energia na unidade consumidora da UFAC, Campus Rio Branco, possibilitada pelo *retrofit* dos sistemas de iluminação e a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, além de ações de fomento aos conceitos de eficiência energética voltadas aos usuários do campus (alunos, professores, servidores e sociedade em geral) quanto a importância do uso racional da energia elétrica.

### 2.2 Retrofit dos sistemas de iluminação

O sistema de iluminação do campus Rio Branco da UFAC abrangia diversos tipos de lâmpadas, das mais variadas tecnologias e condições de utilização, que estão sendo substituídas por 14.255 lâmpadas/luminárias do tipo LED com potências equivalentes, mais modernas e com menor consumo de energia elétrica, além de uma menor necessidade de investimento em sua manutenção, tendo em vista que essa tipologia não necessita da utilização de reatores e entrega um maior conforto visual aos usuários, com fluxo luminoso equivalente e menor consumo de energia, se comparadas com tecnologias antecessoras.

Nos ambientes internos, caracterizados como prédios administrativos e prédios acadêmicos, eram utilizadas lâmpadas do tipo fluorescentes compactas e tubulares, com potências que variavam de 20 W a 32 W e reatores de 3 W. Já nos ambientes externos, tais como áreas esportivas, as lâmpadas mais utilizadas eram as de alta pressão (vapor de sódio, vapor de mercúrio e vapores metálicos) variando 50 W chegando até 400 W, acrescidas ainda as perdas de seus respectivos reatores.

## 2.3 Implantação da Usina Solar Fotovoltaica

O projeto é uma iniciativa importantíssima no sentido de que se trata da maior planta de geração de energia elétrica a partir da energia solar a ser implantada em instituições públicas no estado do Acre, o que dá um caráter de boa aplicabilidade em termos de se avaliar o potencial impacto dessa fonte renovável na região, questão que é reforçada a partir da previsão de competências locais por meio da capacitação dos grupos de pesquisadores e alunos, tendo como base a experiência prática de aplicação da usina fotovoltaica no ambiente da universidade.

Ao todo, foram instalados 496 módulos fotovoltaicos, divididos em 3 plantas, sendo uma na cobertura do edifício que abriga o CEEAC, com 264 módulos e duas no solo, que juntas somam 232 módulos, os três geradores juntos possuem uma potência instalada de 181,04 kWp.

A divisão da usina em 3 plantas deu-se por conta de critérios educacionais, tendo em vista que as plantas no solo facilitam o acesso de alunos e professores aos módulos fotovoltaicos, potencializando o processo de ensino-aprendizagem, também objeto do Projeto.

A Figura 1 apresenta a localização do gerador localizado nas proximidades da biblioteca central que, além de sua função natural de produção de energia elétrica (7.352 kWh/mês), é considerado um marco na instalação de geradores fotovoltaicos conectados à rede dentro do campus universitário.



Figura 1: Gerador de 60,59 kWp, localizado nas intermediações da biblioteca central da universidade.

A Figura 2 apresenta os dois geradores localizados no CEEAC que quando conectados à rede compensarão o montante de 14714 kWh/mês.

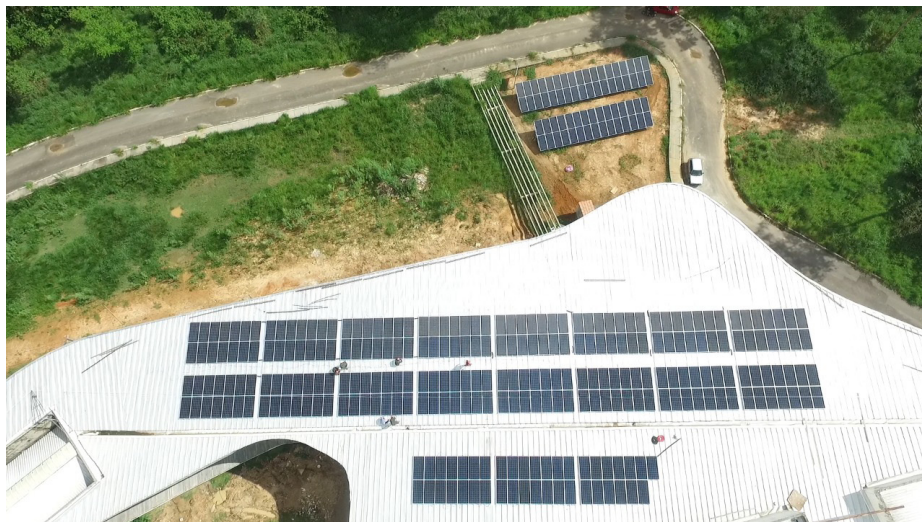


Figura 2: Geradores de 24,09 kWp (solo) e 96,36 kWp (cobertura).

Sendo o CEEAC um centro de pesquisa que está inserido no contexto da universidade, e que tem como principais objetivos a capacitação de recursos humanos e a atração de pesquisadores relacionados as áreas de geração, transmissão, distribuição e meio ambiente, segregou-se a geração de modo que em um futuro próximo, profissionais sejam capacitados para o mercado emergente da energia solar. O laboratório externo do CEEAC (LE – CEEAC), como foi intitulado, poderá ser usado como ferramenta de testes de diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos (monocristalino, policristalino, silício amorfo, etc), além de permitir experimentos quanto ao posicionamento dos módulos em relação ao norte geográfico, para produção de estudos relacionados as perdas por inclinação (Lima, 2019).



Figura 3: LE-CEEAC (24,09 kWp).

Cada gerador possui um sistema de monitoramento detalhado, onde além dos dados de geração (tensão, corrente, potência, etc.) é possível obter dados de temperatura do módulo de referência, temperatura ambiente, intensidade dos ventos sobre o gerador e irradiação no plano inclinado. Através desses dados medidos é possível produzir relatórios e realizar pesquisas de cunho científico e tecnológico caracterizando o potencial de geração da região.

#### **2.4 Ações de Treinamento e Capacitação**

Buscando fomentar entre os usuários do campus Rio Branco da UFAC a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica, inclusive como uma forma de potencializar os resultados do projeto foram realizadas ações de treinamento e capacitação em formato de minicursos, cujo público alvo são os funcionários de todas as unidades abrangidas pelo Projeto de eficiência energética, com a carga horária total de 9 (nove) horas de minicurso, ministrados por engenheiros da Energisa Acre e do CEEAC.

#### **2.5 Investimento**

As ações previstas totalizam R\$ 1.106.537,50 (um milhão, cento e seis mil, quinhentos e trinta e sete reais e cinquenta centavos), contemplando a aquisição de materiais e equipamentos, assim como pelo pagamento dos serviços necessários para suas respectivas instalações.

#### **2.6 Resultados Esperados**

A expectativa da economia de energia foi calculada a partir da diferença entre a energia consumida pelo sistema atual, através da realização do diagnóstico energético, e

da projeção de redução no consumo de energia após as ações de eficiência energética. Sendo a energia consumida o simples produto entre a potência instalada e o ciclo de funcionamento dos equipamentos.

Da mesma forma, a redução de demanda na ponta foi calculada a partir da diferença entre a demanda média na ponta do sistema atual e a demanda média na ponta do sistema após a intervenção. Este parâmetro é determinado a partir do produto entre a potência instalada e o fator de coincidência na ponta (fator referente a potência demandada pelo equipamento no horário de ponta).

ILUMINAÇÃO - RESULTADOS ESPERADOS - EX ANTE				TOTAL		
21	Redução de demanda na ponta		kW	$RDP_j$	116,61	
22	Custo evitado de demanda (CED) =	390,85	%	$RDP_j\%$	41,41%	
23	Energia economizada		MWh/ano	$EE_j$	313,79	
24	Custo da energia evitada (CEE) =	265,34	%	$EE_j\%$	41,46%	
Benefício anualizado iluminação - Ex ante				R\$	$B_{ILUM}$	128.836,83

Tabela 1 – Redução de demanda na ponta e energia economizada (iluminação).

SISTEMA FOTOVOLTAICO - RESULTADOS ESPERADOS				TOTAL		
Redução de demanda na ponta			kW	$RDP$	746,25	
Custo evitado de demanda (CED) =		390,85				
Energia economizada			MWh/ano	$EE$	112,32	
Custo da energia evitada (CEE) =		265,34				
Benefício anualizado da geração incentivada - Ex ante				R\$	$B_{FONTES}$	23.967,19

Tabela 2 – Redução de demanda na ponta e energia economizada (sistema fotovoltaico).

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO - EX ANTE						
Uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	$CA_{r,PEE}$ Custo anualizado PEE	$BA_r$ Benefício anualizado total	$RCD_{PEE}$ Por uso final PEE	$RCD_{PEE}$
Iluminação	313,79	116,61	R\$ 57.075,37	R\$ 128.836,83	0,44	0,75
Condicionamento ambiental	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes Incentivadas	112,32	746,25	R\$ 57.311,13	R\$ 23.967,19	2,39	
<b>Total</b>	<b>426,11</b>	<b>862,86</b>	<b>R\$ 114.386,49</b>	<b>R\$ 152.804,01</b>	<b>0,75</b>	

Tabela 3 – Relação custo-benefício.



### 3 I INICIATIVAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

O programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor de energia elétrica tem o objetivo de alocar adequadamente recursos humanos e financeiros em projetos que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais de energia. Busca-se promover a cultura da inovação, estimulando a pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico brasileiro, criando novos equipamentos e aprimorando a prestação de serviços que contribuam para a segurança do fornecimento de energia elétrica, a modicidade tarifária, a diminuição do impacto ambiental do setor e da dependência tecnológica do país.

Diante desse cenário é que foram pautadas todas as iniciativas de pesquisa e desenvolvimento do Projeto de Eficiência Energética e Uso Racional de Energia Elétrica na UFAC, que abrangem implantar no campus um projeto piloto de gestão e gerenciamento de energia e um centro de monitoramento em tempo real do consumo próprio e grandezas elétricas, desenvolver softwares e equipamentos de baixo custo para automação dos sistemas de iluminação e refrigeração, além de avaliar os resultados da experiência da Usina Solar Fotovoltaica implantada no projeto de Eficiência Energética e analisar os Impactos da Geração Própria no Sistema de Distribuição.

#### 3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do Projeto de Eficiência Energética e Uso Racional de Energia Elétrica na UFAC no que diz respeito às ações de pesquisa e desenvolvimento é disseminar a cultura de eficiência energética no âmbito acadêmico, através do aumento do conhecimento do tema por meio da monitoração do consumo próprio, estudos dos hábitos regionais de consumo, estudos e monitoração da rede elétrica interna, pesquisas de potenciais para geração por fontes alternativas, fomento a inovação e desenvolvimento tecnológico de automação.

#### 3.2 Objetivos Específicos

As iniciativas de pesquisa e desenvolvimento do Projeto contemplam:

- Implantar projeto piloto de gestão e gerenciamento de energia, com a criação de grupo interdisciplinar de gestão energética;
- Avaliar os resultados da experiência da usina solar fotovoltaica implantada no projeto de eficiência energética;
- Estudar os impactos da geração própria no sistema de distribuição;
- Implantar centro de monitoração em tempo real do consumo próprio e grandezas elétricas;

- Desenvolver softwares e equipamentos de baixo custo para automação dos sistemas de iluminação e refrigeração;
- Implantar rede de coleta de dados meteorológicos e solarimétricos e reunir as informações em banco de dados para suporte à pesquisas futuras;
- Fomentar na comunidade acadêmica publicações técnico-científicas para divulgação das ações e desenvolvimentos realizados no âmbito do Projeto.

### 3.3 Protótipo de automação

Dentro do Projeto foi previsto o desenvolvimento de um protótipo de automação capaz de reduzir o desperdício de energia elétrica em um local pré-estabelecido e proporcionar eficiência energética. Neste aspecto, centrais de automação comerciais foram pesquisadas a fim de que fosse desenvolvido algo semelhante, utilizando-se de tecnologia de baixo custo e o envolvimento dos alunos de graduação de engenharia elétrica da universidade (Bezerra, 2019).

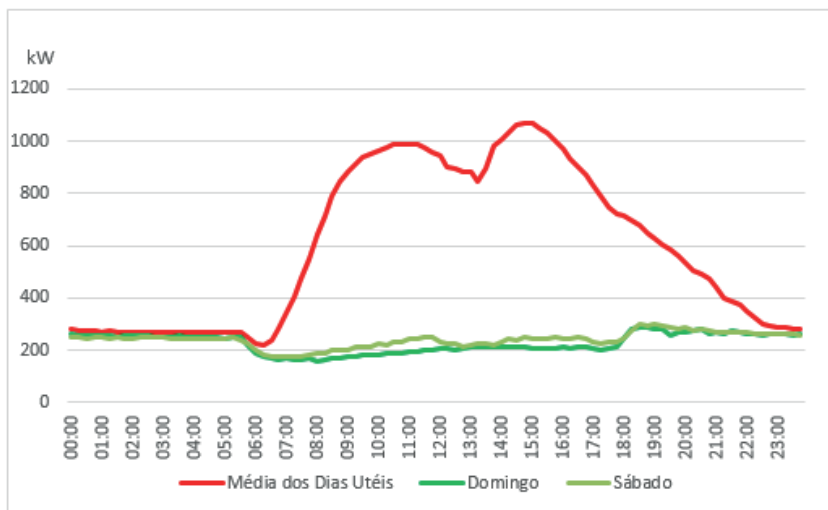


Figura 4: Curva de carga típica da universidade para um período de sete dias.

A Figura 4 apresenta a curva de carga típica para o campus Rio Branco. As curvas para os dias úteis e final de semana foram plotadas através dos pontos obtidos na tabulação de dados da memória de massa obtida junto a administração da universidade.

A curva representa toda a potência ativa consumida durante as horas do dia. Através disto é possível inferir que, o consumo inicia as 7h, e se entende até as 23h, tendo os seus principais picos de consumo entre 9h e 11h, e 14h as 16h. Um ponto a se considerar nesta curva, é que, no período de intervalo entre os turnos, não existe um decréscimo abrupto da

energia consumida. No intervalo entre 12h e 14h a redução é de 200 kW, o que equivale somente à 18,2% da potência no seu maior pico (1.100 kW).

Para isto, as programações implementadas no protótipo visam principalmente as partes da curva de consumo, onde em teoria, deveria haver um decrescimento. O protótipo apresentado na Figura 5 conta com um microcontrolador com capacidade de processamento suficiente para gerenciar dados adquiridos pelos sensores (corrente, tensão e de presença do tipo PI) e enviar dados aos circuitos de iluminação e refrigeração que os acione ou desligue.



Figura 5: Protótipo de automação produzido.

O protótipo além do display, que mostra dados de potência ativa, envia dados para um servidor da internet que permite o monitoramento em tempo real do consumo, além de revelar características sobre o uso do ambiente, formando um banco de dados importante que pode subsidiar pesquisas futuras. Em fase experimental, o protótipo foi instalado em uma sala de aula (Figura 6) para que fossem feitas avaliações iniciais.



Figura 6: Instalação do protótipo em sala aula. Em laranja os sensores de presença do tipo PI, em amarelo o protótipo de automação.

A depender dos resultados positivos da implementação do protótipo, alunos do curso de engenharia elétrica pretendem dar continuidade ao projeto através da aplicação de funções mais complexas, como o controle de luminosidade em áreas externas (corredores) e a aplicação em setores da administração.

### 3.4 Estações solarimétricas

Buscando a introdução da pesquisa de cunho científico aliada aos objetivos do projeto, foram previstas as instalações de 3 estações solarimétricas em diferentes localidades do Acre (Cruzeiro do Sul, Rio Branco e Brasiléia), e especificamente dentro do território da universidade. As estações em sua forma operativa oferecem subsídios para a estimação do potencial de geração de energia fotovoltaica dos campi. As estações são padronizadas (Figura 7) e foram projetadas para operarem de maneira autônoma tanto pelo provimento de energia elétrica quando para o envio de dados.

As estações implantadas atendem todos os requisitos previstos nas notas emitidas pela ANEEL (2016) e EPE (2017), quanto as especificações técnicas mínimas recomendadas para a validação de estudos produzidos a partir dos dados coletados. Os sensores presentes nas estações são: piranômetro, anemômetro, pluviômetro, barômetro e termo-higrômetro, através destes sensores é possível efetuar medidas de grandezas como radiação, direção e intensidade dos ventos, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar.

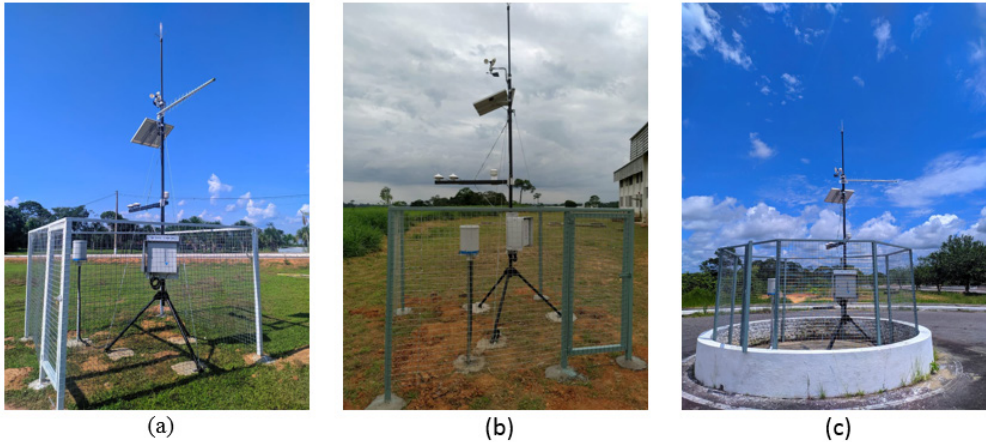


Figura 7: Estações solarimétricas instaladas. Rio Branco (a), Brasília (b) e Cruzeiro do Sul (c).

### 3.5 Resultados esperados

O Projeto de Eficiência Energética e Uso Racional de Energia Elétrica na UFAC espera entregar não só para a comunidade acadêmica da própria universidade, mas para a sociedade acreana, os seguintes resultados:

- Instituição de forma permanente do grupo de gestão energética com a participação efetiva de representantes das áreas técnicas (engenharias elétrica, civil e arquitetura), áreas de meio ambiente, administração do campus (prefeitura, reitoria, planejamento) sob a coordenação do CEEAC;
- Pesquisa comportamental dos hábitos regionais de consumo e de pequenas ações (baixo custo) que podem gerar grandes resultados;
- Publicação com os resultados da experiência de implantação da 1ª usina solar fotovoltaica da universidade;
- Artigos técnicos e trabalhos de conclusão de curso sobre os impactos da geração distribuída no sistema de distribuição;
- Laboratório com aquisição de dados remotos de medições de grandezas elétricas da rede de distribuição, geração distribuída e das cargas;
- Relatório técnico e trabalhos de conclusão de curso sobre a qualidade de energia;
- Relatório técnico de acompanhamento da evolução das perdas técnicas, carregamentos dos circuitos e transformadores, perfil de tensão dos alimentadores

- Capacitação do laboratório de eletrônica e informática para desenvolvimento de softwares e equipamentos de baixo custo para automação dos sistemas de iluminação e refrigeração;
- Sistema informatizado para suporte a pesquisa com base de dados meteorológicos e solarimétricos das estações instaladas nas unidades da UFAC no interior do estado;
- Capacitação de alunos e professores;
- Publicações técnico-científicas para divulgação das ações e desenvolvimentos realizados no âmbito do projeto.

### 3.6 Investimento

Os custos referentes às ações de P&D no Projeto de Eficiência Energética e Uso Racional de Energia Elétrica na UFAC totalizam R\$ 1.270.668,00 (hum milhão, sessenta e quatro mil, seiscentos e sessenta e oito reais).

## 4 | CONCLUSÃO

Assim como a ANEEL na época da avaliação, percebeu-se no Projeto de Eficiência Energética e Uso Racional de Energia Elétrica na UFAC como altamente promissor tendo em vista que a introdução da geração distribuída no campus de Rio Branco da Universidade Federal do Acre proporcionará, além da redução da fatura de energia, uma experiência em ações de eficiência energética e GD, com envolvimento dos funcionários, professores e alunos, que poderá ser replicada em outras instituições do estado, carente em ações nesse sentido.

O projeto é altamente inovador, tendo em vista que a instalação de um sistema de minigeração fotovoltaica no campus da universidade, acoplado com ações de eficiência energética, e ainda provendo insumos técnicos para atividade de P&D.

A aplicabilidade da tecnologia no campus da universidade é importante para a região, que pode servir como referência para novos projetos, considerando as características regionais da Amazônia.

Quanto à necessidade de apoio do PEE, este é imprescindível para a UFAC, que embora conte com corpo técnico especializado e apto, os investimentos necessários são vultosos para serem assumidos pela universidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à Jessica, minha inspiradora companheira e aos meus pais, pelo apoio incondicional. Quero aproveitar para reconhecer o incentivo dado pela professora Leonarda Cajuaz, que durante a disciplina que lecionou na especialização em eficiência energética na Universidade de Fortaleza – Unifor me instigou a elaborar

esse artigo e submetê-lo para avaliação da comissão julgadora do VIII CBENS. Agradeço ainda aos diretores da Energisa Acre, a todos os membros da coordenação de eficiência energética do Grupo Energisa, assim como aos corpos técnicos da UFAC e do CEEAC.

## REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional De Energia Elétrica. Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE, Versão revisada e aprovada pela Resolução Normativa nº 830, de 23/10/2018.

ANEEL – Agência Nacional De Energia Elétrica. Nota Técnica nº 603/2016-SCG/ANEEL de 25 de agosto de 2016. Referente à emissão de Resolução Normativa com objetivo de aprimorar os requisitos de medição de irradiância solar necessários à emissão de outorgas de autorização para implantação e exploração de centrais geradoras fotovoltaicas, de que trata a Resolução Normativa nº 676, de 25 de agosto de 2015. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2016/002/resultado/nt\\_604af2508.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2016/002/resultado/nt_604af2508.pdf)>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica nº EPE-DEE-RE-065/2013-r4 de 04 de agosto de 2017. Documento que tem por objetivo apresentar as instruções para solicitação de cadastramento de empreendimentos fotovoltaicos com vistas à obtenção de Habilitação Técnica da EPE, para participação nos leilões de compra de energia elétrica, para o Sistema Interligado Nacional – SIN, onde serão celebrados contratos de comercialização no Ambiente de Contratação Regulada – ACR. Disponível em <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de-energia/Documents/Instrucoes/EPE-DEE-065\\_2013\\_R4\\_2017\\_UFV.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de-energia/Documents/Instrucoes/EPE-DEE-065_2013_R4_2017_UFV.pdf)>. Acesso em: 04 de novembro de 2019.

Bezerra, D. B. G., 2019. Aplicação de um Protótipo de Automação Elétrica de Baixo Custo Como Método De Eficiência Energética. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

Lima, L. M. S., 2019. Estudo de Caso da Inserção de Minigeração Fotovoltaica na Rede de Distribuição de Energia Elétrica do Campus Rio Branco da Ufac usando OPENDSS. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2019.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

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

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

Autonomia veicular 221

### B

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

### C

Cargas Variáveis 76, 92

Célula fotovoltaica 61, 115, 116, 129, 145

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

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

### D

Dados Meteorológicos 38, 42, 44, 54

Descarbonização 14, 16, 17, 18, 23

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

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

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

### E

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

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

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

### F

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

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



## **G**

Geração de Trajetória 239

*GMPPT* 57, 58, 75

## **I**

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

Irradiação Incidente 44, 55

## **M**

Manipulador Robótico 238, 239

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

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

## **P**

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

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

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

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

Planejamento de Caminho 239

Prevenção de Colisão 239

## **Q**

*Qualidade de Energia* 41, 113

## **R**

Reforço 238, 239, 361

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

Robótica 1, 251

## **S**

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

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

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

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

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

*Sistema Solar Fotovoltaico (FV)* 113

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

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

## **T**

*Topologia de Estágio Único* 113, 122, 126

Traçador de curva I-V 6, 76, 77

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

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

## **V**

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

# ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)