

Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-013-8

DOI 10.22533/at.ed.138211305

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricitista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
FUSÃO DE SENSORES INERCIAIS BASEADA EM FILTRO DE KALMAN Carolina Barbosa Amaro Dias DOI 10.22533/at.ed.1382113051	
CAPÍTULO 2	14
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PRINCIPAIS DESAFIOS E OPORTUNIDADES Laura Vieira Maia de Sousa Paula Meyer Soares DOI 10.22533/at.ed.1382113052	
CAPÍTULO 3	30
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA UFAC (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE) Pedro Henrique Melo Costa Thiago Melo de Lima Antonio Carlos Alves de Farias Rennard de Oliveira Brito DOI 10.22533/at.ed.1382113053	
CAPÍTULO 4	44
ANÁLISE DOS ASPECTOS SAZONAIS DA NEBULOSIDADE NO PROJETO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS FIXAS EM BRASÍLIA/DF Licinius Dimitri Sá de Alcantara Mayara Soares Campos DOI 10.22533/at.ed.1382113054	
CAPÍTULO 5	57
TÉCNICA PREDITIVA DE SEGUIMENTO DO PONTO DE POTÊNCIA MÁXIMA GLOBAL DE ARRANJOS FV EM SOMBREAMENTO PARCIAL Paulo Robson Melo Costa Lucas Taylan Ponte Medeiros Isaac Rocha Machado Marcus Rogério de Castro DOI 10.22533/at.ed.1382113055	
CAPÍTULO 6	76
ANÁLISE DE TOPOLOGIAS EM TRAÇADOR DE CURVA I-V APLICADOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo Arthur Vinicius dos Santos Lopes Adson Bezerra Moreira DOI 10.22533/at.ed.1382113056	

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

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130512

CAPÍTULO 13..... 189

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

Felipe Mendes de Vasconcellos

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130513

CAPÍTULO 14..... 207

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

Moisés de Mattos Dias

Niklaus Veit Lauxen

Marco Antônio Fröhlich

Claudionor Atílio Vingert

Giuseppe Guilherme Mergener Vingert

Luiz Carlos Gertz

Alessandro Sarmiento dos Santos

José Lesina Cezar

Patrice Monteiro de Aquim

Jonathan Moling

Gabriel Mateus Neumann

Nickolas Augusto Both

Monir Goethel Borba

Lirio Schaeffer

DOI 10.22533/at.ed.13821130514

CAPÍTULO 15..... 221

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

Gabriel Silva de Marchi Benedito

Daniel Augusto Pagi Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.13821130515

CAPÍTULO 16..... 238

PATH PLANNING COLLISION AVOIDANCE USING REINFORCEMENT LEARNING

Josias Guimarães Batista

Emerson Verar Aragão Dias

Felipe José de Sousa Vasconcelos

Kaio Martins Ramos

Darielson Araújo de Souza

José Leonardo Nunes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.13821130516

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

CAPÍTULO 23.....335

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

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

DOI 10.22533/at.ed.13821130523

CAPÍTULO 24.....350

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

Matheus Silva Pestana
Danúbia Soares Pires
Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.13821130524

CAPÍTULO 25.....363

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

Mauricio Andrade Nascimento
Ednildo Andrade Torres

DOI 10.22533/at.ed.13821130525

CAPÍTULO 26.....391

MONITORAÇÃO REMOTA DE RESERVATÓRIOS LÍQUIDOS UTILIZANDO O MÓDULO ESP32-LoRa

Maria Eduarda Aparecida Gil
Thiago Timoteo Henrique
Getúlio Teruo Tateoki

DOI 10.22533/at.ed.13821130526

CAPÍTULO 27.....397

S.A.C SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO CICLISTA

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

DOI 10.22533/at.ed.13821130527

CAPÍTULO 28.....402

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

Lucas de Oliveira Soares

Luiz Alberto Pinto
Diego Assereuy Lobão

DOI 10.22533/at.ed.13821130528

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

ESTUDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Data de aceite: 01/05/2021

André Favetta

(FHO | Fundação Hermínio Ometto)
<http://lattes.cnpq.br/1729555107293893>

Daniel Augusto Pagi Ferreira

(FHO | Fundação Hermínio Ometto)
<http://lattes.cnpq.br/1526589803122442>

Maurício José Bordon

(FHO | Fundação Hermínio Ometto)
<http://lattes.cnpq.br/7915640635397001>

RESUMO: Os impactos ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis na geração de energia em nosso planeta estão fazendo com que se busque novas alternativas para a geração com menor agressão ao meio ambiente. Dentre as alternativas existentes a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos vem ganhando importância global, visto que o sol é a principal fonte de energia em nosso planeta. A geração de energia fotovoltaica é talvez uma das mais promissoras quando se trata de energia renovável e capaz de produzir economia nas faturas de energia para os consumidores finais. Diante disso, o objetivo deste trabalho é determinar dentre cinco tecnologias comerciais de painéis fotovoltaicos o melhor modelo a ser implantado num sistema de minigeração de energia elétrica em uma instituição de ensino superior (IES), de forma a economizar na fatura de energia elétrica e

contribuir com a sustentabilidade do planeta. O presente trabalho foi realizado através de pesquisas sobre as tecnologias existentes de painéis fotovoltaicos comerciais, *softwares* de dimensionamentos e métodos de análise de viabilidade financeira. O resultado obtido foi a escolha de um painel que, dentre os estudados, proporcionou uma maior geração de energia, um menor custo de implantação, melhor viabilidade financeira e a contribuição ambiental esperado de sistemas fotovoltaicos.

PALAVRAS - CHAVE: Energia fotovoltaica, Módulo fotovoltaico, Célula fotovoltaica.

ABSTRACT: The environmental impacts caused using fossil fuels for power generation on our planet are causing the search for less aggressive new alternatives. Among the existing alternatives, the power generation through photovoltaic panels has been gaining global importance since the sun is the main source of energy on our planet. The generation of photovoltaic energy is perhaps one of the most promising when it comes to renewable energy and it can reduce costs in energy bills. Therefore, the purpose of this article is to determine among five commercial technologies of photovoltaic panels, the best model to be deployed in a solar mini-generation system for a higher education institution, aiming at the economy energy bills and the contribution to the sustainability of the planet. This work was carried out through research on the existing technologies of commercial photovoltaic panels, sizing software and methods of financial viability analysis. The result obtained was the choice of a panel that, among those studied, provided greater

power generation, lower cost of deployment, better financial viability and the environmental contribution expected by photovoltaic systems.

KEYWORDS: Photovoltaic energy, Photovoltaic module, Photovoltaic cell.

1 | INTRODUÇÃO

Com o aumento acelerado da demanda de energia elétrica no mundo, a necessidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis e a preferência por fontes de energia que não poluem, têm levado a busca de novas fontes de energia para a geração de eletricidade (VILLALVA, 2015).

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, fonte inesgotável na Terra, tanto como fonte de calor quanto de luz, hoje é uma das alternativas energéticas mais promissoras para fornecer a energia necessária ao desenvolvimento humano. Deve-se lembrar que o sol é responsável pelo nascimento de praticamente todas as fontes de energia na Terra (CRESESB, 2014).

Diferente dos sistemas de produção de energia solar térmica, os fotovoltaicos captam a luz solar diretamente e produzem tensão e corrente, logo, potência. Essa potência elétrica é direcionada para baterias que armazenam energia fornecida no período de luz. Ainda, a potência pode ser direcionada para a rede elétrica, e gerar créditos de energia injetada na rede. Isso contribuiu para que a adoção/utilização da energia solar fotovoltaica sofresse um aumento considerável em todo o mundo. (VILLALVA, 2015).

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo deste trabalho é comparar as tecnologias dos módulos fotovoltaicos, definindo a mais viável a ser implantada em uma instituição de ensino superior (IES). Para isso é necessário que a revisão bibliográfica aborde os conceitos de energia fotovoltaica, os benefícios que ela proporciona, a influência que a temperatura e a radiação exercem sobre os módulos fotovoltaicos, e as tecnologias disponíveis no mercado.

2.1 Energia solar fotovoltaica

Energia solar fotovoltaica é obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade. O efeito fotovoltaico relatado por Edmond Becquerel, em 1839, provoca uma diferença de potencial nos terminais de uma célula de material semicondutor motivada por absorção de luz. (CRESESB, 2014).

A energia solar fotovoltaica possui a facilidade de poder ser utilizada em todo o território brasileiro, já que o país tem o privilégio de conter elevadas taxas de irradiação solar em todas as regiões. Com as dimensões territoriais e as altas taxas de irradiação solar, é plausível esperar que o Brasil venha a possuir geração fotovoltaica com potencial ao menos dez vezes maior que a Alemanha atualmente (VILLALVA, 2015).

2.2 Benefícios financeiros

A criação da Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012, trouxe benefícios financeiros aos brasileiros usuários do sistema elétrico que, por sua vez, construísssem em suas propriedades uma microgeração distribuída com potência instalada menor ou igual a 75kW, ou uma minigeração distribuída com potência instalada maior que 75kW e menor ou igual a 3MW de energia vinda de fontes renováveis. (ANEEL, 2012).

A Resolução Normativa 482 de 2012, atualizada posteriormente pela Resolução Normativa 687 de 24 de novembro de 2015, proporcionou ao consumidor gerador de energia fotovoltaica, o benefício de injetar na rede da distribuidora a energia ativa que não estiver sendo consumida. Essa energia é cedida como empréstimo e gerará créditos a serem utilizados em até 60 meses pelo consumidor (ANEEL, 2015).

2.3 Radiação solar

A energia do sol é transmitida ao planeta em forma de radiação eletromagnética através do espaço, composta por ondas eletromagnéticas de comprimento de onda e frequências diferentes. A energia transmitida por uma onda está associada à sua frequência, ou seja, quanto maior a frequência, maior também será a energia transmitida (VILLALVA, 2015).

Considerando a radiação solar que chega à Terra incidindo sobre uma superfície para geração de energia, verifica-se que essa radiação é constituída por uma componente direta e outra difusa. Se a superfície estiver inclinada em relação ao horizonte, ocorrerá também uma terceira componente, que será refletida pelo ambiente do entorno, intitulado de “albedo” (CRESESB, 2014).

Uma nova tecnologia de painéis fotovoltaicos capta essa energia refletida através do albedo e potencializam a geração de energia elétrica. Esses painéis são conhecidos como bifaciais pois, possuem células fotovoltaicas em ambos os lados do painel.

2.3.1 Irradiância

A irradiância, ou irradiação, é a grandeza que quantifica a radiação solar, sendo expressa em W/m^2 (Watt por metro quadrado). Essa grandeza é útil na avaliação de eficiência das células e módulos fotovoltaicos, uma vez que a indústria fotovoltaica adotou como valor padrão $1000W/m^2$. (VILLALVA, 2015).

2.3.2 Influência da radiação e temperatura nos painéis fotovoltaicos

Para que o módulo fotovoltaico gere energia elétrica, é necessário que a radiação solar incida sobre suas células. A máxima potência que um módulo fotovoltaico pode fornecer, varia proporcionalmente com a irradiância recebida: quanto menor a irradiância, menor será a potência fornecida pelo módulo. A temperatura do módulo influencia na tensão fornecida por ele e, por consequência, na potência fornecida (VILLALVA, 2015).

2.4 Células fotovoltaicas

Segundo Ely e Swart (2014), existem três gerações de células solares fotovoltaica. A primeira geração é correspondente ao silício cristalino (c-Si) que, por sua vez, é dividida em duas cadeias produtivas: a de silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). A segunda geração é baseada nos filmes finos inorgânicos como o telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e silício amorfo (a-Si).

As próximas subseções apresentarão maiores detalhes das gerações e tecnologias de células fotovoltaicas.

2.4.1 Células fotovoltaicas de primeira geração

O silício monocristalino (m-Si) é produzido utilizando silício ultrapuro aquecido em altas temperaturas e passado por um processo de formação de cristal, sendo o produto desse processo um lingote de m-Si com uma única estrutura cristalina. A célula de m-Si são as mais eficientes disponíveis comercialmente com eficiências de 14% a 18% (VILLALVA, 2015).

O lingote de silício policristalino (p-Si) é formado por um aglomerado de pequenos cristais, com diferentes tamanhos e orientações. Diferentemente do m-Si, o p-Si não tem aparência homogênea nem brilhante, e suas células podem apresentar manchas em sua pigmentação (VILLALVA, 2015).

Essas células possuem eficiências entre 13% e 15%, ligeiramente inferior às monocristalinas (PINHO e GALDINO, 2014).

2.4.2 Células fotovoltaicas de segunda geração

Os filmes finos são uma tecnologia recente que, diferentemente das células cristalinas, são fabricados pela deposição de finas camadas de silício sobre uma base. Apesar do custo relativamente baixo, esses dispositivos de filmes finos têm baixa eficiência em relação as tecnologias cristalinas, (entre 7,9% e 9,5%). Normalmente esses painéis são encontrados no mercado com potências que variam de 50W a 110W (VILLALVA, 2015).

3 | METODOLOGIA

Para determinar a extensão do parque gerador necessário, foi dado início a pesquisa em datasheets de painéis fotovoltaicos para selecionar os que melhores se aplicam ao sistema. Realizou-se o levantamento dos dados solarimétricos, geográficos, e energéticos do local, visando atender a necessidade de demanda de consumo em uma IES.

Os dados energéticos foram coletados entre os anos de 2018 e 2019 em um período de 12 meses. Por se tratar de uma instituição de ensino há de se salientar a ocorrência de

sazonalidade no consumo de energia durante o ano devido ao período de férias, que foi constatada durante o estudo das faturas de energia elétrica da IES.

Como forma de auxílio nos estudos, utilizou-se o software para projetos de sistemas fotovoltaicos PVsyst de origem suíça, esse software pode ser adquirido através do site www.pvsyst.com.

3.1 Dados geográficos

AIES está localizada no interior do estado de São Paulo, com coordenadas geográficas de latitude 22,4005° e longitude 47,349°. As pesquisas pelos dados solarimétricos foram realizadas nas bases de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), National Renewable Energy Laboratory (NREL) e na base de dados Meteororm através do software PVsyst. Adotou-se a base mais conservadora, com irradiação global horizontal anual média de 4,74 kWh/m².dia.

3.2 Dados energéticos

Com o levantamento das contas de energia elétrica, foi determinado o consumo anual de energia, o grupo de tensão e tarifas aplicáveis. Dessa forma, este trabalho considera as tarifas do grupo A4 (consumidores atendidos em média tensão), modalidade tarifária horo-sazonal verde, com demanda de potência contratada de 1000kW independente das horas de utilização, tarifação de horário fora de ponta e horário de ponta, e nos períodos de estiagem acrescido de uma das bandeiras tarifárias, amarela, vermelha 1 ou vermelha 2.

Visto que a IES é faturada pela distribuidora de energia pelo valor da energia consumida, já que o valor de demanda de potência é fixo, e existe a sazonalidade de consumo nos períodos mensais, o presente trabalho se baseará no consumo de energia anual.

3.3 Dados dos painéis solares

Como base de estudos neste trabalho, foram utilizados cinco modelos de painéis fotovoltaicos: quatro da primeira geração de células fotovoltaicas (c-Si), e um da segunda geração (CdTe), conforme apresentado na Tabela 1.

Marca	Modelo	Tecnologia	Potência (W)
Canadian Solar	BiHiKu – CS3W-420MB-AG	m-Si - Bifacial	420
	BiHiKu – CS3W-410PB-AG	p-Si - Bifacial	410
	KuMax – CS3U-395P	p-Si	395
Jinko Solar	JKM400M-72H-V	m-Si	400
Tek Trade Calyxo	CX3-PRO - 92W	CdTe	92

Tabela 1 - Modelos de painéis fotovoltaicos

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos *datasheets* dos fabricantes

3.4 Posicionamento dos painéis fotovoltaicos

O tipo de instalação escolhido foi o de solo, visto que foram considerados neste estudo dois modelos de painéis fotovoltaicos da nova tecnologia de silício cristalino (painéis bifaciais).

Para a análise desses modelos foi necessário determinar um tipo de superfície que favorecesse a reflexão da irradiação através do albedo, pois esses painéis captam a irradiação refletida na superfície em suas células traseiras. Utilizou-se a premissa de que a cobertura do solo seria em grama, o que segundo Ponte, Konzen e Rusche (2019), fornece uma refletância de até 25% da irradiação através do albedo, aumentando assim a eficiência desse modelo de painel.

Para determinar a potência e eficiência dos painéis acima citados, com 70% de bifacialidade segundo o fabricante, Ponte, Konzen e Rusche (2019) dizem que é necessário multiplicar os valores do albedo da cobertura do solo pelo valor da bifacialidade do painel, o que proporciona aumento de 17,5% na geração.

Aplicando esse ganho e interpolando os dados dos datasheets dos painéis bifaciais, chegou-se aos resultados de potência e eficiência apresentados na Tabela 2.

Marca	Modelo	Potência corrigida (W)	Eficiência (%)
Canadian Solar	BiHiKu – CS3W-420MB-AG	493	22,09
	BiHiKu – CS3W-410PB-AG	481	21,56
	KuMax – CS3U-395P	395	19,91
Jinko Solar	JKM400M-72H-V	400	19,88
Tek Trade Calyxo	CX3-PRO-92W	92	12,83

Tabela 2 – Correção da potência e eficiência dos painéis devido a bifacialidade

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos *datasheets* dos fabricantes e interpolação de dados

3.4.1 Orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos

No local escolhido, verificou-se a possibilidade de instalação dos painéis com orientação de azimute a 0°, ou seja, com a face totalmente voltada para o norte geográfico. Segundo Villalva (2015), em países situados no hemisfério sul como o Brasil, essa é a melhor orientação para os painéis fotovoltaicos.

Com o auxílio do software PVsyst, foi possível coletar dados do nível de irradiação solar incidente sobre o painel fotovoltaico em diversos ângulos de inclinação. A partir destes dados, adotou-se como ângulo de inclinação 27° em relação a linha do horizonte com azimute 0° para os painéis fotovoltaicos.

3.5 Estimação da quantidade de painéis fotovoltaicos

Para determinar a quantidade de painéis necessários para suprir a demanda de consumo da IES, primeiramente foi calculado um fator de ajuste entre as tarifas de ponta e fora ponta, conforme equação relatada em ANEEL (2014).

$$Faj = \frac{TE \text{ ponta}}{TE \text{ fora ponta}} \quad (1)$$

Esse fator de ajuste é necessário para utilizar a energia gerada no horário fora ponta, como créditos a serem abatidos do consumo no horário de ponta.

Com o fator de ajuste determinado, foi possível calcular a quantidade necessária de energia gerada diária Qnd, de acordo com Kikumoto (2019).

$$Qnd = \frac{\text{Consumo médio fora ponta} + (Faj * \text{consumo médio ponta})}{30} \quad (2)$$

Com os resultados das equações (1) e (2), foi possível calcular a potência de corrente contínua (CC) do sistema fotovoltaico através da equação relatada por Kikumoto (2019).

$$\text{Potência CC} = \frac{Qnd}{\text{Irradiação anual} * (1 - \text{fator de perdas})} \quad (3)$$

Por meio desse cálculo foi determinado a potência do sistema para suprir tanto o consumo no horário de fora ponta, quanto no horário de ponta. Com o aumento de consumo de 2% ao ano em média nos últimos cinco anos, foi acrescido em 6,4% a Potência CC para garantir a validade desse estudo por no mínimo 8 anos, sendo considerado então uma Potência CC de 1990 kWp. O fator de perdas adotado foi de 20%, esse valor foi apresentado nas simulações através do software PVsyst.

De posse do resultado da Potência CC, realizou-se o cálculo que determinou a quantidade de painéis para cada modelo exposto neste trabalho, através da equação relatada por Kikumoto (2019).

$$Np = \frac{\text{Potência CC}}{\text{Potência painel}} \quad (4)$$

3.6 Análise de sombreamento

Foi realizado a análise de sombreamento para determinar o espaçamento entre as fileiras de módulos fotovoltaicos (sheds). Essa análise é necessária para garantir que o sombreamento gerado por uma shed não incida sobre as outras durante o horário em que a geração de energia fotovoltaica é significativa.

Essa análise é realizada utilizando o software PVsyst, onde é possível determinar que as perdas geradas por sombreamento durante o solstício de inverno, que é a época em que ocorrem a menor altura solar, sejam as mínimas possíveis. A Figura 1 apresenta a análise através do software PVsyst.

Observando a Figura 1, temos as linhas de 1 a 7 indicando os períodos e porcentagem de sombreamento no sistema durante o ano. Por exemplo, a linha 1 corresponde ao dia 22 de junho (solstício de inverno), nesse dia o sistema estará com 1% de perdas devido a sombreamento entre 8h30m e 16h. É o dia em que ocorrerá a menor geração de energia no ano devido ao sombreamento.

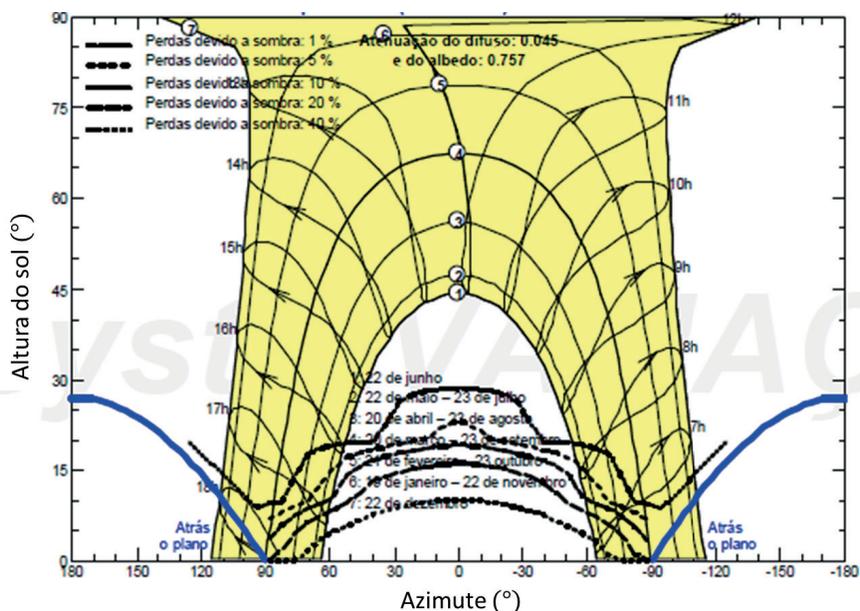


Figura 1: Análise de sombreamento - *software* PVsyst

Fonte: *Software* PVsyst

3.7 Análise de perdas

Por intermédio do software PVsyst, foi possível analisar as perdas geradas no sistema, calculando essas perdas chega-se ao valor de 20%, dentre elas estão: perdas devido a degradação, perdas devido ao nível de irradiância, perdas devido a temperatura dos módulos, perdas de módulos e strings com mismatch, perdas ôhmicas de cablagem e perdas com inversores.

4 | RESULTADOS

A quantidade de painéis obtidos pela equação (4), foi posteriormente comprovado através do software PVsyst, essa quantidade é apresentada na Tabela 3. O software também forneceu a potência em corrente alternada (P_{ca}), sendo de 1550 kW.

Marca	Modelo	Tecnologia	Quantidade
Canadian Solar	BiHiKu - CS3W-420MB-AG	m-Si - Bifacial	4037
	BiHiKu - CS3W-410PB-AG	p-Si - Bifacial	4137
	KuMax - CS3U-395P	p-Si	5038
Jinko Solar	JKM400M-72H-V	m-Si	4975
Tek Trade Calyxo	CX3-PRO-92W	CdTe	21630

Tabela 3 - Quantidade de painéis por modelo

Fonte: Elaborado pelo autor

Mediante aos dados da quantidade de energia gerada anualmente por cada uma das tecnologias estudadas, foi possível verificar que o painel da fabricante Canadian Solar modelo BiHiKu CS3W-410PB-AG, é o que produz mais energia elétrica, 2.964 MWh/ano. A Tabela 4 apresenta as gerações anuais de energia elétrica fotovoltaica para cada modelo de painel estudado.

Marca	Modelo	Geração (MWh/ano)
Canadian Solar	BiHiKu - CS3W-420MB-AG	2.878,48
	BiHiKu - CS3W-410PB-AG	2.964,81
	KuMax - CS3U-395P	2.877,70
Jinko Solar	JKM400M-72H-V	2.880,94
Tek Trade Calyxo	CX3-PRO-92W	2.883,73

Tabela 4 - Geração de energia fotovoltaica para cada sistema

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a implantação de um sistema de minigeração de energia elétrica fotovoltaica conectado à rede da concessionária de distribuição, será possível obter a economia apresentada na Tabela 5. Essa economia foi calculada através da quantidade de energia gerada mensalmente por cada tecnologia de painéis, e reduzindo do consumo em horários fora ponta e ponta, aplicando os impostos, tarifa de demanda, e adicional de bandeira tarifária. Foi considerado também o valor do aumento da demanda contratada, que passaria de 1000 kW para 1550 kW de potência mensais.

Marca	Modelo	Economia anual
Canadian Solar	BiHiKu - CS3W-420MB-AG	74,55%
	BiHiKu - CS3W-410PB-AG	75,98%
Jinko Solar	KuMax - CS3U-395P	74,66%
	JKM400M-72H-V	74,73%
Tek Trade Calyxo	CX3-PRO-92W	75,00%

Tabela 5 - Economia anual gerada na fatura de energia elétrica conforme a tecnologia

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores dos painéis, inversores e estruturas de fixação, foram fornecidos por empresas de varejo especializadas em energia solar fotovoltaica, cujos valores totais para cada sistema estão apresentados na Tabela 6.

Marca	Modelo	Total do Sistema (R\$)
Canadian Solar	BiHiKu - CS3W-420MB-AG	5.252.165,24
	BiHiKu - CS3W-410PB-AG	5.053.648,63
	KuMax - CS3U-395P	7.832.420,40
Jinko Solar	JKM400M-72H-V	6.903.538,74
Tek Trade Calyxo	CX3-PRO-92W	11.643.279,86

Tabela 6 - Valores de implantação dos sistemas fotovoltaicos

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 Análise de viabilidade financeira

Para Miranda (2014), as métricas utilizadas nas análises de viabilidade financeira em projetos de sistemas fotovoltaicos são o payback, o valor presente líquido (VPL), e a taxa interna de retorno (TIR). Nesse trabalho foram realizadas as três análises para os cinco modelos de sistemas de acordo com os painéis estudados. Os resultados dessa análise são apresentados no Quadro 1.

Para o cálculo do payback foi considerando a depreciação dos painéis ao longo dos anos, que segundo os datasheets dos fabricantes, é de 2,5% no primeiro ano e 0,73% a cada ano subsequente, obtendo assim uma redução de 20% no rendimento ao final de 25 anos. Considera-se também a projeção do aumento médio de 10,06% ao ano nas tarifas de energia elétrica, essa projeção foi calculada com base nas faturas de energia elétrica da IES dos anos de 2015 a 2019.

Modelo	VPL	TIR	Payback
BiHiKu - CS3W-420MB-AG	R\$ 21.643.390,16	33,46 %	3 anos, 2 meses e 5 dias
BiHiKu - CS3W-410PB-AG	R\$ 22.648.489,46	35,30 %	3 anos, 2 meses e 23 dias
KuMax - CS3U-395P	R\$ 19.055.846,20	24,43 %	4 anos, 5 meses e 2 dias
JKM400M-72H-V	R\$ 20.014.961,58	27,03 %	3 anos, 11 meses e 16 dias
CX3-PRO-92W	R\$ 15.301.336,34	17,46 %	5 anos, 11 meses e 12 dias

Quadro 1 - Análise de viabilidade dos 5 sistemas estudados

Fonte: Elaborado pelo autor

5 | DISCUSSÕES

O melhor posicionamento para os painéis fotovoltaicos, deu-se com a orientação de azimute a 0° em relação ao norte geográfico, e inclinação de 27°, conforme demonstrado pelo software PVsyst. Com o posicionamento estabelecido, foram determinadas a potência necessária, a quantidade de painéis e a área em solo para cada modelo de painel estudado.

Também com o auxílio do software PVsyst foi realizada a análise de sombreamento. Como na área estudada não há incidência de sombras oriundas da vegetação, considerou-se apenas o sombreamento causado pelos próprios painéis uns sobre os outros, obtendo assim o distanciamento de 7 metros entre as fileiras de painéis.

Através da análise de viabilidade financeira, foi possível verificar que os modelos bifaciais possuem uma melhor performance financeira.

Verificou-se também que, para a geração da totalidade de energia elétrica consumida pela IES, é necessário realizar um aumento da demanda de potência contratada de 1000kW para 1550kW, uma vez que em ANEEL (2012), a potência do gerador de energia conectado à rede de distribuição não pode ultrapassar a demanda de potência contratada pelo consumidor.

Analisando o aumento de consumo de energia elétrica da IES nos últimos cinco anos, conclui-se que a geração fotovoltaica determinada nesse estudo, atenderá a IES por 8 anos. A partir do oitavo ano o projeto deverá ser reavaliado de forma a verificar a necessidade ou não do aumento do sistema.

6 | CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos com as análises e simulações dos modelos de painéis fotovoltaicos estudados, foi possível verificar que os painéis de c-Si possuem uma maior eficiência na geração de energia elétrica em relação aos painéis de CdTe. Outra vantagem é o custo de implantação do sistema, uma vez que a quantidade de painéis e estruturas de fixação necessários serão muito menores para os de c-Si.

Considerando a instalação em solo dos painéis fotovoltaicos, constatou-se que com a cobertura do solo sendo em grama, os painéis bifaciais apresentaram maior eficiência na geração de energia e um menor investimento na implantação de uma usina de minigeração fotovoltaica dentre os painéis estudados.

O modelo BiHiKu CS3W-410PB-AG foi o que se mostrou tecnicamente melhor para esse projeto. Através da aplicação das ferramentas de análise financeira, verificou-se que financeiramente também é o mais indicado para esse projeto. Portanto conclui-se através deste estudo que o melhor sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica a ser instalado na IES é o sistema composto pelos painéis de p-Si bifacial modelo BiHiKu CS3W-410PB-AG, em virtude de proporcionar menor custo de investimento e maior economia na fatura de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**. Agência Nacional de Energia elétrica. Rio de Janeiro, p. 12. 2012.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída : sistema de compensação de energia elétrica**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 28. 2014.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 687**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, p. 25. 2015.

CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CENTRO DE REFERÊNCIA EM ENERGIA SOLAR. Rio de Janeiro, p. 530. 2014.

ELY, F.; SWART, J. W. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração**. IEEE Advanced Technology for Humanity, 2014. Disponível em: <<http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

KIKUMOTO, B. **Dimencionamento de sistemas FV para consumidores do grupo A**. Canal solar, 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/artigos/artigos-tecnicos/item/10-dimensionamento-de-sistemas-fv-para-consumidores-do-grupo-a>>. Acesso em: 03 maio 2020.

MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado a rede**. UFRJ / Escola Politécnica. Rio de Janeiro, p. 83. 2014.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL - CRECESB. Rio de Janeiro, p. 530. 2014.

PONTE, G.; KONZEN, G.; RUSCHE, C. S. **Módulo bifacial: lançamento dos anos 80 aterrissa agora nos projetos comerciais**. Cenários Solar, 2019. Disponível em: <<https://cenariossolar.editorabrazilenergia.com.br/modulo-bifacial-lancamento-dos-anos-80-aterrissa-agora-nos-projetos-comerciais/>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

PVSYST. **PVsystr Photovoltaic Software**, 10 maio 2020. Disponível em: <www.pvsyst.com>.

REIS, P. **Painéis solares de silício negro começam a ser produzidos**. Portal Energia, 2019. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/paineis-solares-silicio-negro/>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2º. ed. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

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