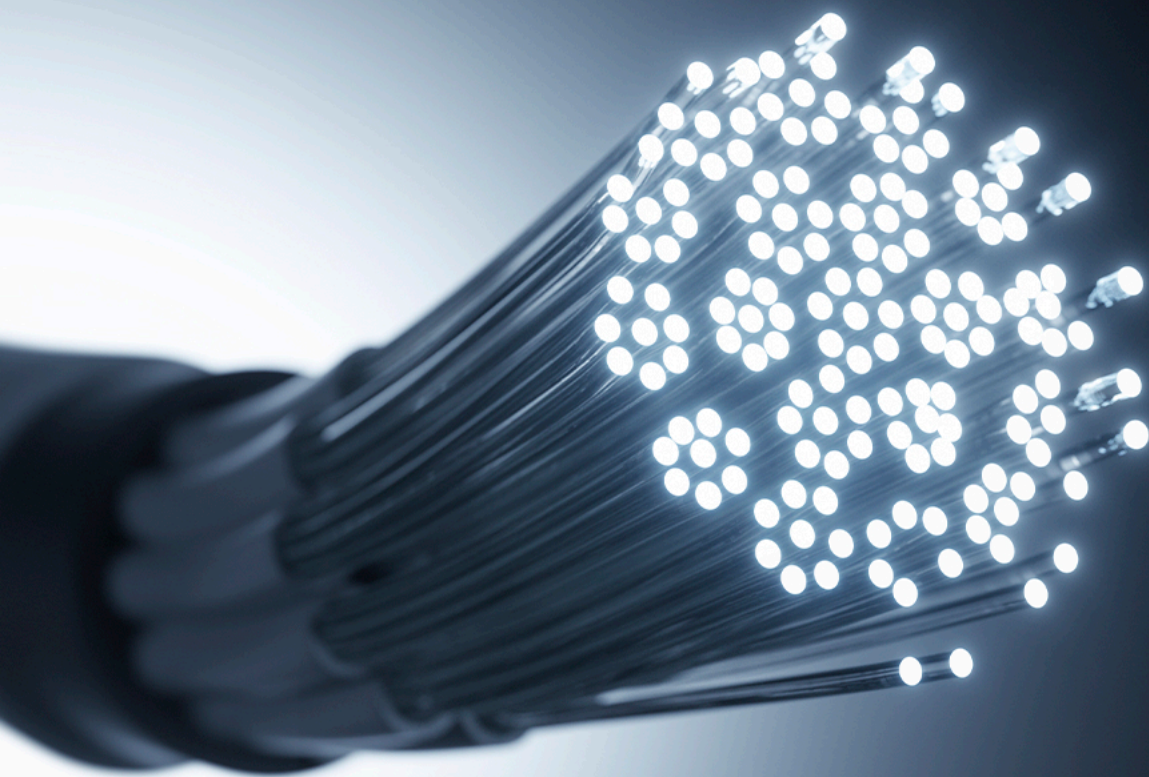


COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA

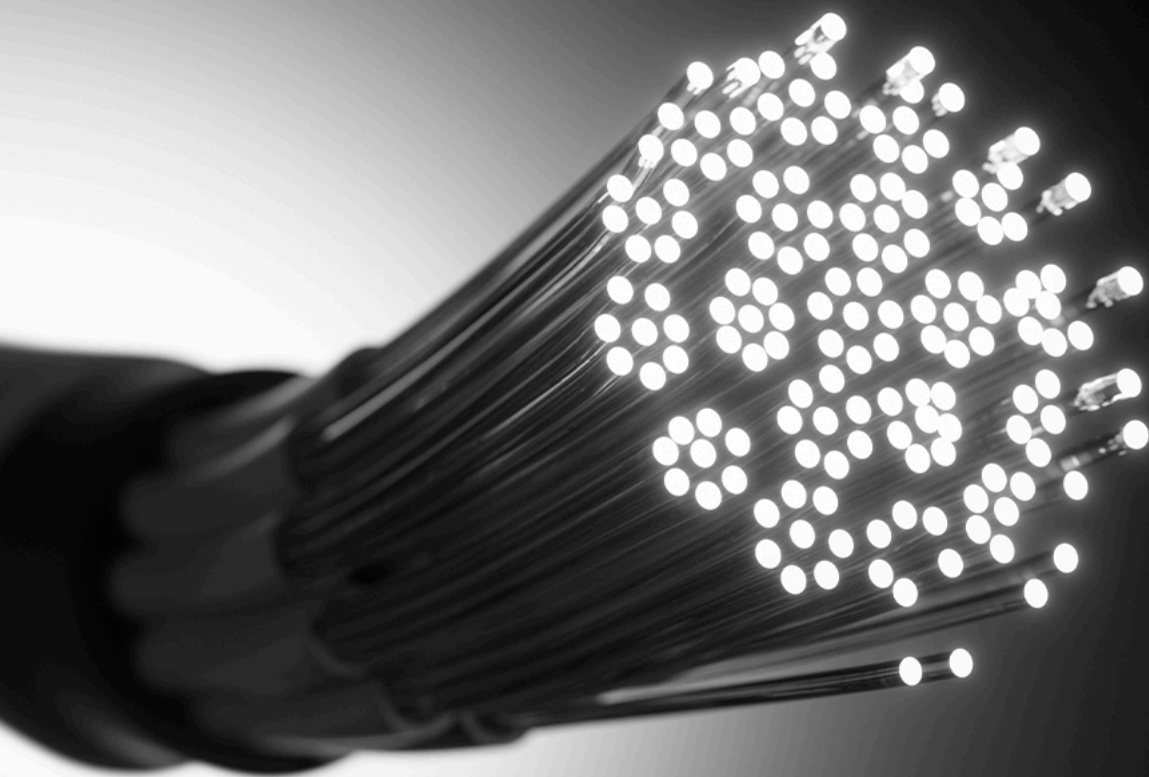


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

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.

Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
 Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
 Prof^a Dr^a Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
 Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
 Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
 Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
 Prof^a Dr^a Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
 Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
 Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
 Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
 Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
 Prof^a Dr^a 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 Federal 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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
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 Miranilde 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

Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C691	<p>Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5983-260-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.606212207</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 621.3</p>
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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Elétrica é um dos ramos mais abrangentes da Engenharia, pois envolve praticamente tudo o que fazemos em nosso dia a dia. Engloba desde sistemas de potência, geração de energia, conversão eletromecânica de energia, eletrônica, telecomunicações, até engenharia biomédica, sistemas digitais e computadores, controle, automação e robótica. É considerada uma área transdisciplinar e versátil, a qual passa por constantes desafios, conforme cresce a demanda por sistemas mais econômicos e eficientes.

Nesse contexto, o e-book “*Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Elétrica*” apresenta uma seleção de 12 artigos que discutem trabalhos e pesquisas desenvolvidos por professores e acadêmicos de várias regiões do Brasil, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos nesta área tão promissora.

Este volume aborda temas envolvendo inteligência computacional, para projeto de controladores e manutenção preditiva de máquinas elétricas; fluxo de carga em sistemas elétricos de potência; sistemas fotovoltaicos; fontes de energia alternativas renováveis; segurança de instalações elétricas; tratamento térmico de resíduos, entre outras. Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

A todos, uma ótima leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A MANUTENÇÃO PREDITIVA NA ANÁLISE DE AVARIAS EM ROLAMENTOS, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Fábio Muniz Mazzoni

André da Silva Barcelos

Antonio J. Marques Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122071>

CAPÍTULO 2..... 15

MÉTODOS MATEMÁTICOS DE MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO: LÓGICA FUZZY

Joelson Lopes da Paixão

Alzenira da Rosa Abaide


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122072>

CAPÍTULO 3..... 39

UM ESTUDO SOBRE A ANÁLISE E PROJETO DE CONTROLADORES FUZZY

Géferson Rodrigo Sabino Silva

Wallysonn Alves de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122073>

CAPÍTULO 4..... 47


FLUXO DE CARGA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA – UM ESTUDO DE CASO USANDO A LINGUAGEM AMPL

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Diogo Marujo

Gloria Patricia Lopez Sepulveda

Alexander Molina Cabrera

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122074>

CAPÍTULO 5..... 62

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS SUBMETIDOS A PIRÓLISE

Victória Oliveira Diaz de Lima

Matheus de Paula Gonçalves


Débora Hungaro Micheletti

Fernanda Bach Gasparin

Amanda de Araújo Drago

Aline Bavaresco dos Santos

Adriana Ferla de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122075>

CAPÍTULO 6..... 73

ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA NO CAMPUS UFRPE - UACSA

Reinel Beltrán Aguedo

Paula de Tarsia Borba de França

Ania Lussón Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122076>

CAPÍTULO 7..... 86


INTEGRAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS DE ENERGIA COM RESTABELECIMENTO OTIMIZADO PARA O AGRONEGÓCIO

Eloi Rufato Junior

Bruno Dias Camargo

Elison de Souza Moreira

Felipe de Souza Kalume

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122077>

CAPÍTULO 8..... 116

MEDIDOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Bruno Tiago Carneiro Moraes

Felipe Cléber Silveira


Averton da Silva Portigo

Dalziel Soares de Souza

Rafael José Fonseca Barbosa

Franciani Diniz Branco

Marcus Vinícius O. Braga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122078>

CAPÍTULO 9..... 120

FILTRO DE MICROFITA DE BANDA LARGA COM GEOMETRIA ELÍTICA

Paulo Fernandes da Silva Júnior

Ewaldo Eder Carvalho Santana

Paulo Henrique Bezerra de Carvalho


Danilo Diniz Meireles

Francarll Oliveira Moreno

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Pedro Carlos de Assis Júnior

Raimundo Carlos Silvério Freire

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122079>

CAPÍTULO 10..... 135

TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA


Eveline Trindade

Maristela Furman

Aline Bavaresco dos Santos

Dilcemara Cristina Zenatti

Adriana Ferla de Oliveira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220710>

CAPÍTULO 11 143

SEGURANÇA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM EMPRESAS TERCEIRIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Anderson Francisco Kaiser

Marcos Hister Pereira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220711>

CAPÍTULO 12 158

REDUCTION OF THE ECOLOGICAL IMPACT OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS WHEN USING SILICONE LIQUID IN THE PROVINCE OF ICA - 2013

Primitivo Bacilio Hernández Hernández


Omar Michael Hernández García

Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220712>

SOBRE A ORGANIZADORA 170

ÍNDICE REMISSIVO 171

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS SUBMETIDOS A PIRÓLISE

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 04/05/2021

Victória Oliveira Diaz de Lima

Universidade Federal do Paraná
Palotina – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/6616661682554952>

Matheus de Paula Gonçalves

Universidade Federal do Paraná
Palotina – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2434590643385123>

Débora Hungaro Micheletti

Universidade Federal do Paraná
Palotina – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7174805762530986>

Fernanda Bach Gasparin

Universidade Federal do Paraná
Palotina – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/3188471370968142>

Amanda de Araújo Drago

Universidade Federal do Paraná
Palotina – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1231611615710991>

Aline Bavaresco dos Santos

Universidade Federal do Paraná
Palotina – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1098847351310417>

Adriana Ferla de Oliveira

Universidade Federal do Paraná
Palotina – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/8320953119053085>

RESUMO: A biomassa residual é uma grande aliada na produção de energia para o suprimento da demanda energética e minimização do aquecimento global. Dessa forma, buscou-se caracterizar as propriedades físico-químicas de briquetes compostos de 50% pó serra e 50% sabugo de milho nas condições *in natura*, torrados e carbonizados, através da análise imediata, da quantificação dos extrativos, do percentual absolutamente seco, e também dos teores de holocelulose e celulose, utilizando métodos normatizados e métodos encontrados na literatura. O percentual absolutamente seco e os teores de holocelulose e de celulose encontrados foram 93,05%, 70,06% e 51,75%, respectivamente. Na análise imediata, foram determinados os teores de voláteis, cinzas e carbono fixo para as amostras *in natura* (86,25%, 1,57% e 15,35%), torradas (28,50%, 7,54% e 79,05%) e carbonizadas (11,25%, 9,01% e 98,40%), respectivamente. Observou-se um maior potencial para a amostra carbonizada, frente às outras amostras. Com o aumento no teor de carbono fixo com o aumento da temperatura, ficaram também evidenciados valores crescentes na estimativa do poder calorífico dos briquetes *in natura* com 18.851,85 kJ.kg⁻¹, torrado com 31.654,40 kJ.kg⁻¹ e carbonizado com 34.343,37 kJ.kg⁻¹. Os resultados indicam que o tratamento térmico contribuiu para melhorar as propriedades energéticas dos briquetes, sendo que a maior temperatura exerceu maior influência.

PALAVRAS - CHAVE: Biomassa, torrefação, carbonização, resíduos agroindustriais, biocombustíveis sólidos.

PHYSICAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF LIGNOCELLULOSIC WASTE BRIQUETTES SUBMITTED TO PYROLYSIS

ABSTRACT: Residual biomass is a great ally in energy production supplying energy demand and minimizing global warming. Thus, the physical and chemical properties of briquettes composed of 50% saw dust and 50% corn cob was characterized in fresh, roasted and carbonized conditions, through immediate analysis, quantification of extracts, the percentage absolutely dry, also holocellulose and cellulose contents, using standardized methods and literature methods. The percentage absolutely dry and the holocellulose and cellulose levels found were 93.05%, 70.06% and 51.75%, respectively. In the immediate analysis, the contents of volatiles, ash and fixed carbon were determined for the fresh samples (86.25%, 1.57% and 15.35%), toast (28.50%, 7.54% and 79.05%) and carbonized (11.25%, 9.01% and 98.40%), respectively. There was a greater potential for the carbonized sample, compared to the other samples. With the increase in the fixed carbon content with the increase in temperature, there was also evidence of increasing values in the estimation of the calorific value of the briquettes in natura with 18,851.85 kJ.kg⁻¹, roasted with 31,654.40 kJ.kg⁻¹ and carbonized with 34,343.37 kJ.kg⁻¹. The results indicate that the heat treatment contributed to improve the energetic properties of the briquettes, with the higher temperature having a greater influence.

KEYWORDS: Biomass, roasting, carbonization, agro-industrial waste, solid biofuels.

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2011), o consumo de energia aumentará cerca de um terço até os anos de 2010 e 2035. Diante deste cenário, iniciou-se uma busca pelo conhecimento e utilização de fontes renováveis de energia como alternativa para o uso de combustíveis fósseis. Tais fontes são aquelas cujos recursos são naturais e inesgotáveis como a eólica, a solar fotovoltaica, a hidrelétrica e a biomassa, que minimizam o impacto ambiental e o uso de fontes não renováveis (LIMA, 2012).

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo. Desse modo, a realização de estudos para o desenvolvimento de tecnologias que aproveitem as fontes renováveis beneficia comunidades rurais e regiões afastadas (COSBEY, 2011). Além disso, a prática dessas atividades gera um acúmulo significativo de biomassa residual que representa um depósito de energia considerável.

A utilização de resíduos para a geração de energia promove melhora na qualidade ambiental e atende a políticas que visam o reaproveitamento de resíduos com a intenção de promover a sustentabilidade (COUTO, 2014).

O processo de compactação da biomassa durante a produção de briquetes promove o aumento do poder calorífico por unidade de volume, apresentando assim o mesmo montante energético, entretanto, com menor volume, sucedendo de forma que haja a redução do espaço necessário para armazenamento. Além disso, esse processo facilita o transporte, principalmente para locais remotos (DINESHA; KUMAR; ROSEN, 2019).

Quando compactado em forma de pellets ou briquetes, a aplicação destes resíduos

agroindustriais torna-se mais eficiente como substitutivos da lenha em indústrias, laticínios, pizzarias, entre outras. O processo consiste em compactar a serraria, obtendo um produto com alto poder calorífico e benefícios energéticos na geração de energia térmica (DIAS *et al.*, 2012).

Para obter uma maior aplicação dos briquetes, se faz necessário melhorar sua qualidade e desempenho energético por meio de tratamentos térmicos da biomassa, como a torrefação e a carbonização, que proporcionam aumento da densidade energética e a redução da umidade do material (PRINS; PTASINSKI; JANSSEN, 2006).

Diante dos fatores e alternativas citadas acima, o presente estudo tem como objetivo caracterizar as propriedades físico-químicas de briquetes compostos de 50 % pó serra e 50 % sabugo de milho nas condições in natura, torrados e carbonizados, como alternativa eficaz de biocombustível sólido para fins energéticos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos foram realizados, em triplicata, no Laboratório de Química Orgânica da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina.

Coletou-se aleatoriamente dois briquetes e retirou-se três discos de 2 cm de espessura para a torrefação e outros três para carbonização, sem a pré-disposição de qual tratamento térmico cada disco receberia. A serragem produzida no corte desses discos foi utilizada para a caracterização in natura dos briquetes.

Após a secagem dos discos em estufa 105 ± 2 °C durante 4 h, foram realizados, em forno tipo mufla, os tratamentos térmicos de torrefação e carbonização.

A torrefação foi realizada segundo metodologia adaptada de Protásio *et al.* (2012) com taxa de aquecimento de $1,7$ °C min⁻¹ desde a temperatura ambiente até a temperatura de 300 °C e mantido na mufla durante 30 min após o processo. Por sua vez, a carbonização foi realizada com a mesma taxa de aquecimento e de retenção, entretanto, com temperatura à 450 °C.

Tanto o resíduo do corte como os briquetes torrados e carbonizados foram moídos em moinho Willey e peneirados em conjunto de peneiras de 40 - 60 mesh para a realização da análise imediata pelo método ASTM D-3.172 até D-3.175. Posteriormente, para verificar a qualidade da análise imediata determinou-se o coeficiente de variação por meio do teste de Tukey.

Foram utilizadas metodologias TAPPI T264 cm-97 e TAPPI T257 om-85 para determinar o percentual absolutamente seco, para extrair os componentes macromoleculares holocelulose e celulose, bem como para a quantificação de extrativos por água fria (Eaf), água quente (Eaq) e por NaOH foi realizada de acordo com a bibliografia de Wastowski (2018) e de Mello Junior, (2010).

Por sua vez, a determinação do rendimento gravimétrico foi realizada de acordo

com a metodologia bibliográfica de Protásio *et al.* (2012).

O poder calorífico superior, tanto para a biomassa in natura quanto para as tratadas termicamente, foi calculado de acordo com Parikh, Channiwalla e Ghosal (2005) e Vale *et al.* (2002).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos por meio da análise química da biomassa dos briquetes estão dispostos na Tabela 1.

O teor de umidade é um dos fatores mais importantes a serem analisados por apresentarem uma relação inversamente proporcional ao poder calorífico (PC) e por variarem de acordo com a espécie, o clima e o armazenamento. Uma combustão efetiva e a não redução do poder calorífico requerem teores de umidade abaixo de 10 % (GARCIA, 2010). Por sua vez, o percentual absolutamente seco é o inverso do teor de umidade, podendo chegar a 90 % no material analisado. Assim, de acordo com o resultado exposto na Tabela 1, verifica-se teor absolutamente seco de 93,05%, infere-se que o valor de umidade seja satisfatório.

Madeiras com valores elevados de extrativos e lignina apresentam maior poder calorífico se comparadas às madeiras com menores quantidades desses compostos por apresentarem menos oxigênio do que na celulose e hemicelulose (QUIRINHO *et al.*, 2004). A porcentagem de extrativos pode atingir até no mínimo 20 %, assim, com base nos resultados da Tabela 1, a amostra em estudo apresentou Eaf 8,50 %, Eaq 10,97 % e ENaOH 21,16 %, sugere-se que estes também contribuam para o aumento do poder calorífico dos briquetes in natura (PETTERSON, 1984).

A celulose representa uma parcela importante na geração de energia por meio da queima direta, por ser o maior componente da madeira em massa e volume (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013). O resultado encontrado para celulose (51,77%) apresenta-se coerente e implica em uma maior geração de energia por unidade de massa, sendo semelhante à de pinus.

Análise	Briquet es	¹ <i>E. urograndi</i> s*	¹ <i>E. uroplyll</i> a	² <i>Pinus</i> <i>oocarp</i> a	³ <i>Eucalipto</i> <i>grandis</i>	⁴ <i>Pinus</i> <i>taeda</i>	⁵ <i>Pinus</i> <i>oocarp</i> a
Percentual absolutame nte seco (%)	93,05	-	-	-	-	-	-
Eaf (%)	8,50	5,97	2,63	-	-	-	-
Eaq (%)	10,97	3,4	2,1	-	-	-	-
Extrativos em NaOH (%)	21,16	15,82	12,02	-	-	-	-
Holocelulos e (%)	70,06	-	-	65,21	69,18	-	-
Celulose (%)	51,75	-	-	-	-	55,80	59,05

Tabela 1 - Resultados da caracterização química dos briquetes analisados.

Fonte: ¹MOREIRA; FAZION; RIBEIRO, (2016); ²RODRIGUES; HILLIG; MACHADO, (2009); ³MORI *et al.*, (2003); ⁴RIGATTO; DEDECEK; MATOS, (2004); ⁵MORAIS; NASCIMENTO; MELO (2005).

As principais características do briquete são o poder calorífico, os materiais voláteis, as cinzas e o carbono fixo (COSTA; MORAIS, 2011). Após um tratamento térmico o teor de cinzas e carbono fixo tendem a aumentar e o de voláteis a diminuir (LIMA; MICHELETTI; OLIVEIRA, 2019). Os resultados obtidos com os tratamentos propostos para a amostra do briquete apresentaram um comportamento condizente com a literatura, como exposto na Tabela 2.

Neste estudo, o aumento do teor de carbono fixo após o tratamento térmico foi satisfatório. Devido ao fato desse teor estar relacionado à porcentagem de carbono disponível para combustão, o alto valor identificado influencia positivamente no poder calorífico (EFOMAH; GBABO, 2015).

O teor de materiais voláteis contribui para o poder calorífico de forma contrária ao teor de carbono fixo, ou seja, um aumento no teor de voláteis acarreta em uma diminuição no teor de carbono fixo, o que diminui o poder calorífico da biomassa. Dessa forma, durante o processo de tratamento térmico ocorre o decréscimo do teor de voláteis e aumento do teor de carbono fixo assim como observa-se na Tabela 2. Os dados da literatura, citados na Tabela 2, apresentam maiores teores de voláteis, cerca de 27-57% e 55-60%, demonstrando grande viabilidade da amostra em estudo, tendo em vista a obtenção de um maior teor de carbono fixo, influenciando positivamente no PCS.

Os resultados para o teor de cinzas das amostras em estudo são superiores àqueles encontrados na literatura (Tabela 2) para serragem de eucalipto e de pinus, *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus spp.* Essa variação entre teores de cinzas se dá de acordo com a espécie utilizada para a produção do combustível (SANT'ANNA, 2012).

Amostra	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de Carbono fixo (%)
<i>In natura</i>	86,25*	1,57*	15,35*
	80,54 ¹	1,57 ¹	17,9 ¹
	81,16 ¹	0,23 ¹	18,61 ¹
Torrada	28,50*	7,54*	79,08*
	40,51 ²	1,26 ²	58,22 ²
	67,18 ³	0,27 ³	32,55 ³
Carbonizada	11,25*	9,01*	98,40*
	27,40 ⁴	1,60 ⁴	71,00 ⁴
	25,48 ³	1,09 ³	66,28 ³

Tabela 2 - Resultados de análises imediatas das amostras nas condições *in natura*, torrada e carbonizada.

amostra em estudo*; ¹SILVA *et al.* (2015) – Serragem de Pinus e Eucaliptos spp, ²BORGES (2015) - Eucalyptus grandis, ³BATISTA (2015) – Pinus Elliotti, ⁴SANTIAGO; ANDRADE, (2005) – Eucalyptus urophylla.

Valores de coeficientes de variância inferiores ou próximos a 10 % implicam em uma boa precisão entre os dados obtidos, uma vez que a exatidão do experimento é inversamente proporcional ao coeficiente de variância, ou seja, quanto menor o valor de coeficiente de variância maior a qualidade dos dados (CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2007). Sendo assim, os coeficientes de variância determinados por meio da análise foram de 3,21 %, 2,45 % e 13,79 % para teor de voláteis, cinzas e carbono fixo, respectivamente, apresentaram-se inferiores ou próximos a 10 %. Desta forma, pode-se considerar que os resultados obtidos no presente estudo possuem uma boa qualidade e precisão.

Os tratamentos térmicos causam uma perda de massa aos materiais devido a degradação dos componentes químicos da madeira, principalmente as hemiceluloses e componentes voláteis. Essa perda varia de acordo com o tipo de biomassa, temperatura, taxa de aquecimento e tempo de residência, de modo que um baixo rendimento gravimétrico indica maior remoção desses voláteis (YILDIZ; GEZER; YILDIZ, 2006). De acordo com os rendimentos obtidos conforme a Tabela 3, afirma-se que o material deste estudo apresentou melhor eliminação de voláteis se comparado aos listados a partir da literatura.

Condição	Rendimento Gravimétrico (%)	
	Briquete	Literatura
Torrada	32,42*	43,39 ^[35]
Carbonizada	26,41*	30,06 ^[32]

Tabela 3 - Rendimento gravimétrico das amostras torradas e carbonizadas.

amostra em estudo*; JUNIOR, (2014) – *Eucalyptus urograndis*, SANTIAGO; ANDRADE, (2005) – *Eucalyptus urophylla*.

A partir dos resultados da Tabela 3, pôde-se perceber a influência da temperatura nos processos de torrefação e carbonização, pois à medida com que a faixa de temperatura do processo de pirólise aumentou, os macrocomponentes se degradam em maior quantidade. Isso porque a hemicelulose degrada-se primeiro, numa faixa de temperatura de 200 a 300°C, seguido pela celulose, na faixa de 300 a 400 °C e, por último, tem-se que a lignina se decompõe numa faixa de temperatura mais ampla, entre 250-500 °C. (BORGES, 2015).

Por fim, os resultados da estimativa do poder calorífico estão apresentados na Tabela 4, sendo possível observar valores próximos aos encontrados na literatura para os briquetes *in natura* e carbonizado, enquanto o briquete torrado apresentou valores superiores. Os materiais que apresentam maiores valores de poder calorífico superior estão associados ao fato de possuírem maiores valores de carbono fixo (PROTÁSIO *et al.*, 2012). Dessa forma, são observados ganhos de poder calorífico de 67% e 82% com a torrefação e carbonização, respectivamente, representando um ganho de eficiência no uso da biomassa.

Condição	Poder Calorífico (kJ.kg ⁻¹)		
	Briquete	Literatura	
<i>in natura</i>	18.851,8*	20.062,3 ¹	18.547.7 ¹
Torrado	31.654,4*	20.932,6 ²	22.650,0 ³
Carbonizado	34.343,4*	28.459,6 ⁴	36.723,0 ⁵

Tabela 4 - Poder Calorífico Superior das amostras.

amostra em estudo*; ¹BOAS, (2011) - *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus sp.* ²COSTA *et al.*, (2015) - *Eucalyptus sp.* ³RODRIGUES; ROUSSET, (2015) - *eucalyptus grandis*. ⁴NONES *et al.*, (2014) - *Eucalyptus benthamii*. ⁵LIMA *et al.*, (2007) - *Eucalyptus benthamii*.

Portanto, com os resultados obtidos, notou-se o potencial dos briquetes estudados para a geração de energia alternativa.

4 | CONCLUSÃO

No presente estudo, obteve-se briquetes pirolisados a partir da utilização dos equipamentos laboratoriais, onde foi possível realizar a análise desse material, podendo então ser observadas as diferenças físico-químicas entre a biomassa *in natura*, torrificada e carbonizada.

A biomassa dos briquetes, composta por 50 % de pó de serra e 50 % de sabugo de milho, apresentou valores de percentual absolutamente seco, extrativos em geral, holocelulose e celulose condizentes com a faixa de resultados encontrados na literatura para as biomassas de *Pinus* e Eucalipto, madeiras amplamente utilizadas a nível comercial para fins energéticos.

Na análise imediata observou-se um baixo teor de voláteis e um elevado teor de carbono fixo após os tratamentos térmicos, o que influenciou positivamente no poder calorífico superior do combustível. Portanto, através da estimativa, destaca-se o processo de torrefação, que apesar de ser utilizada uma temperatura menor, apresentou um PCS próximo ao processo de carbonização.

Os baixos rendimentos gravimétricos das amostras indicaram que o processo de eliminação dos materiais voláteis foi eficaz.

REFERÊNCIAS

ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D 1762: **Standard method for chemical analyses of wood charcoal**. Philadelphia: ASTM International, 1977. 1042p.

Batista, J. A. N. **Torrefação do *Pinus elliottii* para fins energéticos**. 2015.

Boas, M. A. V. **O efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

Borges, A. C. P. **Caracterização energética do cavaco de *eucalyptus grandis* “in natura” e torrefeito**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. **Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.17-24, 2007.

COSBEY, A. TRADE. **Sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks**. The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective. p. 40, 2011.

COSTA, E. V. S.; ROCHA, M. F. V.; CÁSSIA, A.; CARNEIRO, O.; SILVA, C. M. S.; PEREIRA, B. L. C.; JERÁSIO, J. **Influência da torrefação nas propriedades dos briquetes produzidos com madeira de eucalyptus sp.** II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. Belo Horizonte, 2015.

COSTA, G. P.; MORAES, J. T. **A Fabricação de Briquetes como Alternativa para Destinação Adequada dos Resíduos de Madeira na Indústria Moveleira no ES.** 5 p. Vitória, 2011. Disponível em: <<http://faesa.br/SEA/>>. Acesso em: 15/05/2015.

COUTO, C. M. **Estimativa do poder calorífico de madeiras de acácia-negra e eucalipto do Município de Pelotas - RS.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). 56f. Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas: 2014.

DIAS, J. D. S.; SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H.; BARBOSA, P. F.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e pêletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais.** Embrapa Agroenergia-Documents (INFOTECA-E), 2012.

DINESHA, P.; KUMAR, S.; ROSEN, M. A. **Biomass briquettes as an alternative fuel: A comprehensive review.** Energy Technology, v. 7, n. 5, p. 1801011, 2019.

EFOMAH, A. N.; GBABO, A. **The Physical, Proximate and Ultimate Analysis of RiceHusk Briquettes Produced from a Vibratory Block Mould Briquetting Machine.** International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, v. 2, n. 5, p. 814-822, 2015.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de Pellets de madeira produzidos no Brasil.** 2010. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Dissertação de mestrado.

International Energy Agency. **World energy outlook 2011.** Paris, 2011.

JUNIOR, S. D. M. **Rendimento e características da biomassa torrada e carbonizada do clone de eucalyptus urograndis.** Trabalho de conclusão de curso (TCC). Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2014.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L. E.; LAVORANTI, O. J. **Caracterização individual de árvores de Eucalyptus benthamii para uso energético.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa, Colombo, n. 35, 2007. 26 p.

LIMA, R. A. **A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima.** Revista Direito E-nergia, 2012.

LIMA, V. O. D.; MICHELETTI, D. H.; OLIVEIRA, A. F. **Caracterização física e energética de briquetes de Guandu submetidos a tratamento térmico.** Toledo: II Simpósio em Bioenergia, Unioeste, 2019.

MELLO JUNIOR, J. A. **Polpação kraft e kraft/AQ da madeira de híbrido de Eucalyptus urograndis destinada à produção de polpa para dissolução.** Dissertação de Mestrado. Guaratinguetá, 2010.

MORAIS, S. A. L. DE; NASCIMENTO, E. A. DO; MELO, D. C. **Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis.** Revista Árvore, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

MOREIRA, E. L.; FAZION, H.; RIBEIRO, E. S. **Variação dos Teores de Extrativos de Três Espécies Florestais**. 2016. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/b0ff/8343a21c33480253f43209cede5ee76ba700.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; CARDOSO, M. D. G. **Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar**. Food Science and Technology, v. 23, n. 3, p. 396-400, 2003.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; WEISE, S. M. K. **Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de Eucalyptus benthamii**. Floresta, v. 45, n. 1, p. 57-64, 2014.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. **A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels**. Fuel, v. 84, n. 5, p. 487-494. 2005.

PETTERSON, R. C. **The chemical composition of wood**. Washington, American Chemical Society, 1984.

PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. J. G. **Torrefaction of wood: Part 2**. Analysis of products. Journal of analytical and applied pyrolysis, v. 77, n. 1, p. 35-40, 2006.

PROTÁSIO, T. D. P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; RIBEIRO, M. X.; TRUGILHO, P. F.; LEITE, E. R. D. S. **Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 11, p. 1252-1258, 2012.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. **Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de Pinus taeda para produção de celulose Kraft**. Revista Árvore, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.

RODRIGUES, C. K.; HILLIG, E.; MACHADO, G. de O. **Análise química da madeira de Pinus Oocarpa**. Semana de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 1, p. 2009, 2009.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P. L. A. **Effects of torrefaction on energy properties of Eucalyptus grandis wood**. Cerne, v. 15, n. 4, p. 446-452, 2015.

SANT'ANNA, M. C. S.; LOPES, D. F. C.; CARVALHO, J. B. R.; SILVA, G. D. **Caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindústria**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 14, n. 3, p. 289-294, 2012.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. **Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto**. Ciência Florestal, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2005.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-açúcar e espécies florestais**. Viçosa: Os Editores, 2013.

SILVA, D. A.; NAKASHIMA, G. T.; BARROS, J. L.; ROZ, A. L. DA; YAMAJI, F. M. **Caracterização de biomassas para a briquetagem**. Floresta, v. 45, n. 4, p. 713-722, 2015.

TAPPI Technical Divisions And Committees. **TAPPI T264 cm-97: Solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: Tappi Technical Divisions and Committees, 2007.

TAPPI Technical Divisions And Committees. **TAPPI T257 om-85: Sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technical Divisions and Committees, 2012.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. **Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos**. Biomassa & Energia, Brasília, v. 1, n.2, p. 173-182, 2004.

VALE, A. T.; ABREU, V. L. S.; GONÇALEZ, J. C; COSTA, A. F. **Estimativa do Poder Calorífico Superior do Carvão Vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do Teor de Carbono Fixo e do Teor de Material Volátil**. Revista Brasil Florestal, nº 73, 2002.

WASTOWSKI, A. D. **Química de madeira**. 1ª Ed. Editora intercência, 2018.

YILDIZ, S., GEZER, D., YILDIZ, U. **Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat**. Building and Environment, Oxford, v. 41, n. 12, p. 1762- 1766, Dec. 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agronegócio 11, 45, 86, 87, 112

AMPL 10, 47, 48, 49, 52, 53, 55, 58, 59, 61

Arduino Uno 116, 117, 118

B

Biocombustíveis Sólidos 62

Biomassa 24, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 88, 89, 90, 91, 95, 100, 101, 103, 107, 108, 113, 135, 136, 137, 141, 142

C

Canteiro de Obras 143, 144, 145, 150, 151, 152, 154, 156

Carbonização 62, 64, 68, 69, 71

Construção Civil 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 154, 156

Consumo 11, 24, 63, 78, 83, 96, 98, 100, 101, 103, 108, 109, 112, 116, 117, 118

Controladores Fuzzy 10, 39, 44, 45

Cooperativa 143, 145, 148, 149, 151, 153, 156

Coproduto 135, 141

Corrente 1, 5, 12, 75, 80, 91, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 116, 117, 146

D

Dielectric Fluid 159

E

Energia 9, 11, 2, 5, 8, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 48, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 122, 123, 135, 136, 138, 141, 142, 150, 151

Energia Elétrica 11, 2, 24, 25, 31, 33, 34, 35, 37, 61, 73, 74, 76, 80, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 98, 100, 102, 104, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 116, 118, 141, 150

Environmental Management System 159

Excentricidade 120, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132

F

Filtros Planares 120, 122, 124

Fluxo de Carga 9, 10, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 61

Fontes Renováveis 24, 63, 87, 89, 114

Fuzzy 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

G

Geometria Elíptica 120, 124, 125, 131

I

Identificação de falhas em rolamentos 1

Inteligência Artificial 10, 1, 3, 12, 13, 15, 16

L

Lógica Fuzzy 10, 15, 16, 17, 20, 23, 36, 37, 39, 40, 44, 45

M

Mamdani 18, 19, 20, 39, 40, 44

Medidor 11, 116, 117, 118, 119

Motor de indução trifásico 1

O

Otimização Matemática 47, 48, 49, 53, 61

P

Pirólise 10, 62, 68, 135, 136

R

Reconfiguração Automática 87, 89, 94, 114

Redes Inteligentes 86, 87, 88, 91

Resíduos Agroindustriais 62, 63

S

SIF 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 28, 31, 32, 33, 34, 35

Sistemas Elétricos de Potência 9, 10, 47

Sistemas Fotovoltaicos 9, 23, 73, 77

Solver Knitro 47

Sombreamento 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Sustentabilidade 27, 63, 73, 84, 86

T

Tensão 51, 74, 87, 91, 92, 94, 95, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 113, 116, 117, 150

Terceirizados 143, 144, 145, 146, 151, 156, 157

Torrefação 62, 64, 68, 69, 70, 71, 135, 136, 137, 138, 141

Transformadas no domínio tempo-frequência 1

Transformer 159

V

Viabilidade 66, 73, 74, 77, 82, 84, 85, 86, 88, 93, 108, 110, 114

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



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

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



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