

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir de 04/10/2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

BRUNO SILVA CAMARGO

**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE PRÉ-TRATAMENTO DE BIOMASSA
PARA PRODUÇÃO DE UM BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO DERIVADO DA
SERRAGEM DE EUCALIPTO**

Guaratinguetá
2024

Bruno Silva Camargo

**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE PRÉ-TRATAMENTO DE BIOMASSA
PARA PRODUÇÃO DE UM BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO DERIVADO DA
SERRAGEM DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel
Romero Luna.
Coorientador: Prof. Dr. José Cláudio
Caraschi
Coorientadora: Prof. Dr^a. Gislaine
Batistela

Guaratinguetá
2024

C173i	Camargo, Bruno Silva Integração de tecnologias de pré-tratamento de biomassa para produção de um biocombustível sólido derivado da serragem de eucalipto / Bruno Silva Camargo - Guaratinguetá, 2024. 130 f : il. Bibliografia: f. 109-130 Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024. Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel Romero Luna. Coorientador: Prof. Dr. José Cláudio Caraschi Coorientadora: Profª. Drª. Gislaine Batistela 1. Biocombustíveis. 2. Briquetes. 3. Energia - Fontes alternativas. I. Título. CDU 620.91(043)
-------	--

Luciana Máximo
 Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa tem como principais impactos as questões socioambientais e socioeconômicas, visto que o aproveitamento de resíduos derivados das serrarias, geram possíveis problemas a população ao redor, relacionados a parte respiratórias, e a produção de briquetes torreficados provenientes destes resíduos, proporciona uma destinação adequada e agregava valor a um material pouco aproveitado.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research has as its main impacts socio-environmental and socioeconomic issues, since the use of waste derived from sawmills generates possible problems for the surrounding population, related to respiratory problems, and the production of torrefied briquettes from this waste provides an adequate destination and adds value to a little-used material.

BRUNO SILVA CAMARGO

**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE PRÉ-TRATAMENTO DE BIOMASSA
PARA PRODUÇÃO DE UM BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO DERIVADO DA
SERRAGEM DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Materiais.

Data da defesa: 04/10/2024

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS MANUEL ROMERO LUNA**
Data: 05/11/2024 17:14:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS MANUEL ROMERO LUNA
Orientador - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **IVONETE ÁVILA**
Data: 25/11/2024 16:08:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. IVONETE ÁVILA
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **RONALDO DA SILVA VIANA**
Data: 06/11/2024 11:02:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. RONALDO DA SILVA VIANA
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANO DONIZETI VARANDA**
Data: 05/11/2024 17:28:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. LUCIANO DONIZETI VARANDA
Instituto SENAI de Inovação em Biomassa

Documento assinado digitalmente
 **GLAUBER CRUZ**
Data: 05/11/2024 17:38:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. GLAUBER CRUZ
Universidade Federal do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me ajudado e sustentado até o presente momento, sem Ele nada seria possível, grato por ter me dado forças e entendimento para chegar até esse momento.

A minha esposa Sâmique por todo apoio, amor e dedicação e companheirismo, aos meus filhos Bernardo e Izabel que são o motivo para cada dia ser uma pessoa melhor e a força para consegui-la, aos meus pais Alípio e Lúcia e meu irmão Felipe por todo ensinamento e momentos compartilhados.

Ao meu orientador por toda paciência, orientação e conhecimento compartilhado, aos coorientadores pelo auxílio, sugestões e contribuições.

Aos técnicos da Unesp que auxiliaram grandemente para realização dos experimentos.

Aos professores participantes das bancas de qualificação e defesa da dissertação, pela disponibilidade, contribuições e sugestões.

Ao programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia e Ciências - Campus de Guaratinguetá

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Uma forma de energia alternativa e com grande potencial energético são os briquetes. Para potencializar as propriedades dos briquetes é possível a integração com a torrefação, resultando no aumento do poder calorífico da biomassa e redução de seu teor de umidade. O objetivo deste trabalho foi produzir, caracterizar e comparar duas rotas de produção de briquetes torreficados, a partir da compactação da biomassa torreficada (TB) e da torrefação da biomassa compactada (BT), em ambas as condições com e sem uso de aglutinante (10% em massa), uma ANOVA de três vias foi utilizada para analisar os efeitos da temperatura, aglutinante e rota, bem como suas interações. Foram produzidas e comparadas duas rotas de produção dos briquetes, a BT e a TB com e sem adição de aglutinante a diferentes condições de temperatura de torrefação (200 °C, 250 °C e 300 °C), à pressão de 12,5 MPa durante 5 min. Para isto foram utilizadas as normas de padrões nacionais e internacionais de briquetes. Os resultados demonstraram que o aumento da temperatura de torrefação provocou aumento no PCS dos briquetes, diminui a massa específica, aumento do teor de carbono fixo e consequentemente diminuição do teor de matérias voláteis, a rota TB resultou em briquetes mais homogêneos e com menores deformações, além de melhores propriedades mecânicas. A densidade energética e massa específica dos briquetes apresentaram comportamentos diferentes com a adição do aglutinante, a rota TB provocou melhorias nestas propriedades e na BT reduziu os valores, indicando que a adição do aglutinante (amido) é melhor após a torrefação das partículas. A integração dos processos de densificação mecânica e torrefação aumentaram a massa específica da biomassa e seu poder calorífico, e consequentemente a densidade energética dos briquetes em ambas as rotas. Independentemente da rota a torrefação aumentou o teor de carbono fixo, cinzas e poder calorífico, e reduziu o teor de material volátil e o teor umidade exceto para os TB-300 que apresentaram valores superiores de umidade em relação aos TB-200 e TB-250. A rota TB resultou em maiores valores de massa específica e menores valores de poder calorífico. O aglutinante não exerceu influência significativa sobre o carbono fixo ($p = 0,784$). De forma geral a rota TB apresentou melhores valores de densidade energética, como este é um fator determinante para qualidade de briquetes, a esta é a rota mais indicada para produção de briquetes de eucaliptos torreficados.

PALAVRAS-CHAVE: Briquetes; Torrefação; Potencial energético; Aproveitamento de resíduos; Densificação mecânica.

ABSTRACT

Briquettes are an alternative form of energy with great energy potential. To enhance the properties of briquettes, it is possible to integrate them with torrefaction, resulting in an increase in the calorific value of the biomass and a reduction in its moisture content. The objective of this study was to produce, characterize and compare two production routes for torrefied briquettes, from the compaction of torrefied biomass (TB) and the torrefaction of densified biomass (BT), in both conditions with and without the use of binder (10% by mass). A three-way ANOVA was used to examine the effects of temperature, binder and route, as well as their interactions. Two briquette production routes, BT and TB, with and without the addition of binder, were produced and compared at different torrefaction temperature conditions (200 °C, 250 °C and 300 °C) at a pressure of 12.5 MPa for 5 minutes. For this purpose, national and international briquette standards were used. The results of the analyses demonstrated that the increase in torrefaction causes an increase in the PCS of the briquettes, decreases the specific mass, increases the fixed carbon content and consequently decreases the volatile matter content. The TB route resulted in more homogeneous briquettes and less deformations, in addition to better mechanical properties. The integration of the mechanical densification and torrefaction processes increased the specific mass of the biomass and its calorific value, and consequently the energy density of the briquettes in both routes. Regardless of the route, torrefaction increased the fixed carbon content, ash and calorific value, and reduced the volatile matter content and moisture content except for TB-300, which presented higher moisture values compared to TB-200 and TB-250. The TB route resulted in higher specific mass values and lower calorific value values. The binder did not exert a significant influence on fixed carbon ($p = 0.784$). In general, the TB route presented better energy density values, as this is a determining factor for the quality of briquettes, this is the most suitable route for the production of torrefied eucalyptus briquettes.

KEYWORDS: Briquettes; Torrefaction; Energy potential; Use of waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética em 2021 (a) Mundial e (b) Brasil.	21
Figura 2 - Classificação dos principais tipos de biomassa.	22
Figura 3 - Estruturas parciais dos componentes lignocelulósicos.	24
Figura 4 - Área de árvores plantadas no Brasil em milhões de hectares (2023)... ..	26
Figura 5 - Área plantada de eucalipto por regiões do Brasil em 2022.	27
Figura 6 - Biocombustíveis sólidos densificados (a) Briquetes; (b) Pellets.	29
Figura 7 - Publicações sobre biomassa densificada (a) Tipos de produtos densificados, (b) Fonte principal de biomassa.....	35
Figura 8 - Arranjo físico de uma usina de briquetes com capacidade produtiva de 1000 kg/h de briquetes.....	37
Figura 9 - Processo simplificado de torrefação.	42
Figura 10 - Briquetes torreficados produzidos por Granado et al. (2023).	48
Figura 11 - Pellets produzidos por biomassa torreficada.	49
Figura 12 - Fluxograma das etapas para produção dos briquetes torreficados.	51
Figura 13 - Rotas de integração (a) Densificação mecânica – Torrefação; (b) Torrefação – Densificação mecânica.	52
Figura 14 - Serragem de eucalipto utilizada como matéria-prima.	53
Figura 15 - Amido de milho.	54
Figura 16 - Bancada experimental de densificação mecânica (a) Conjunto pistão e molde, (b) Prensa hidráulica.	55
Figura 17 - Bancada experimental de torrefação de biomassa.	56
Figura 18 - Forno mufla utilizado para análise imediata.....	56
Figura 19 - Extrator Soxhlet.	59
Figura 20 - Calorímetro IKA C5000.	64
Figura 21 - Curvas TG e DTG da serragem de eucalipto em atmosfera inerte.	74
Figura 22 - Briquetes de serragem de eucalipto in natura (a) sem aglutinante e (b) com aglutinante.	74
Figura 23 - Serragem de eucalipto torreficada a 200 °C, 250 °C e 300 °C.....	75
Figura 24 - Briquetes da rota TB produzidos a partir da serragem de eucalipto torreficada à (a) 200 °C, (b) 250 °C e (c) 300 °C.....	76
Figura 25 - Briquetes da rota TBA produzidos a partir da serragem de eucalipto torreficada à (a) 200 °C, (b) 250 °C e (c) 300 °C com adição de aglutinantes.	77

Figura 26 - Briquetes da rota BT produzidos a partir da torrefação do briquete de serragem de eucalipto (a) torrefação a 200 °C; (b) torrefação a 250 °C, e (c) torrefação a 300 °C.	77
Figura 27 - Briquetes da rota BTA produzidos a partir da torrefação do briquete de serragem de eucalipto com aglutinante (a) torrefação a 200 °C; (b) torrefação a 250 °C, e (c) torrefação a 300 °C.....	78
Figura 28 - Efeito dos níveis de temperatura sobre o teor de carbono fixo.....	84
Figura 29 - Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) dos briquetes TB sem e com adição de aglutinante.	85
Figura 30 - Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) dos briquetes BT sem e com adição de aglutinante	85
Figura 31 - Comparação da densidade energética dos briquetes torreficados em ambas as rotas com os “in natura” e com aglutinantes.	91
Figura 32 - Curvas TG e DTG de partículas de briquetes torreficados (TB) de eucalipto sem adição de aglutinante, em atmosfera inerte.	92
Figura 33 - Comportamento térmico de partículas de briquetes torreficados (TB) de eucalipto com adição de aglutinante, em atmosfera inerte.....	93
Figura 34 - Curvas TG e DTG de partículas de briquetes torreficados (BT) de eucalipto sem adição de aglutinante em atmosfera inerte.	93
Figura 35 - Curvas TG e DTG de partículas de briquetes torreficados (BT) de eucalipto com adição de aglutinante em atmosfera inerte.....	94
Figura 36 - Comportamento da temperatura serragem e dos briquetes em diferentes temperaturas de torrefação.....	95
Figura 37 - Fator de melhoramento obtido após os ensaios de torrefação.	97
Figura 38 - Comparação da expansão dos briquetes.	100
Figura 39 - Deformação dos briquetes após ensaio de resistência (a) B e (b) BA.	101
Figura 40 - Preparo (a), ensaio (b) e deformação (c) de briquete torreficado após ensaio de resistência.....	102
Figura 41 - Comparação da durabilidade mecânica dos briquetes produzidos em relação a norma de padrões de qualidade internacionais.	103
Figura 42 - Correlação de Spearman entre os principais parâmetros de caracterização dos briquetes para a rota TB.	105
Figura 43 - Correlação de Spearman entre os principais parâmetros de caracterização dos briquetes para a rota BT.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação dos tipos de aglutinantes e suas propriedades.....40

Quadro 2 - Principais picos, grupos funcionais e suas características.....86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre algumas propriedades da lenha e o briquete.....	31
Tabela 2 - Principais características dos briquetes.....	32
Tabela 3 - Principais parâmetros e referências de normas de qualidade de briquetes.....	34
Tabela 4 - Análise granulométrica da serragem de eucalipto.....	70
Tabela 5 - Análise imediata de serragem de eucalipto e do aglutinante.....	72
Tabela 6 - Propriedades térmicas e energéticas da biomassa e aglutinante.....	73
Tabela 7 - Análise imediata dos briquetes de eucalipto com e sem adição de aglutinante.....	79
Tabela 8 - Análise imediata dos briquetes produzidos pela rota TB e BT se e com aglutinante.....	81
Tabela 9 - Análise do teor de carbono fixo dos briquetes.....	83
Tabela 10 - Propriedades térmicas e energéticas dos briquetes.....	88
Tabela 11 - Propriedades térmicas e energéticas dos briquetes produzidos em diferentes condições.....	88
Tabela 12 - O rendimento mássico médio e energético obtido na torrefação.....	96
Tabela 13 - Expansão volumétrica, diametral e longitudinal dos briquetes (48 horas após produção)	98
Tabela 14 - Expansão volumétrica, diametral e longitudinal dos briquetes torreficados produzidos pela rota TB e BT sem e com aglutinante (48 horas após produção)	99
Tabela 15 - Propriedades mecânicas dos briquetes B e BA.....	100
Tabela 16 - Características de empilhamento para cada tratamento de briquetes torreficados.....	102
Tabela 17 - Propriedades mecânicas dos briquetes.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CF	Carbono Fixo
Cz	Cinzas
GEE	Gases do Efeito Estufa
MV	Materiais Voláteis
NBR	Norma Brasileira Registrada
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCU	Poder Calorífico Útil
NO _x	Óxidos de nitrogênio
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SO _x	Óxidos de enxofre
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TU	Teor de umidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA.....	20
2.1.1 Química e estrutura da biomassa lignocelulósica.....	23
2.2 PLANTIO DE ÁRVORES NO BRASIL	25
2.2.1 Eucalipto	27
2.3 DENSIFICAÇÃO MECÂNICA DA BIOMASSA	28
2.3.1 Briquetes.....	30
2.3.1.1 Produção de briquetes a partir de biomassa de resíduos florestais	34
2.3.1.2 Mercado mundial de briquetes.....	34
2.3.1.3 Produção de briquetes.....	36
2.4 AGLUTINANTES (ADITIVOS)	38
2.5 TORREFAÇÃO DE BIOMASSA.....	41
2.5.1 Torrefação de biomassa derivada da madeira.....	42
2.5.2 Fatores de influência na torrefação.....	44
2.6 INTEGRAÇÃO DA DENSIFICAÇÃO MECÂNICA E TORREFAÇÃO.....	45
2.6.1 Densificação mecânica e torrefação	46
2.6.2 Torrefação e densificação mecânica	48
3 MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DA REVISÃO TEÓRICA	51
3.1.1 Metodologia do trabalho.....	51
3.1.2 Rotas de integração da densificação mecânica e torrefação.....	52
3.2 MATERIAIS	53
3.2.1 Serragem de <i>Eucalyptus</i> spp.....	53
3.2.2 Amido de milho	53
3.3 BANCADAS EXPERIMENTAIS	54
3.3.1 Bancada experimental de densificação mecânica	54
3.3.2 Bancada experimental de torrefação de biomassa.....	55
3.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA	56

3.4.1	Análise imediata	56
3.4.1.1	Teor de material volátil	57
3.4.1.2	Teor de cinzas.....	57
3.4.1.3	Teor de carbono fixo	58
3.4.1.4	Teor de umidade	58
3.4.2	Análise Composicional	58
3.4.2.1	Teor de extrativos totais.....	59
3.4.2.2	Teor de holocelulose	60
3.4.2.3	Teor de lignina Total	60
3.4.3	Caracterização dos briquetes	60
3.4.3.1	Dimensionamento dos briquetes.....	60
3.4.3.2	Massa específica aparente.....	61
3.4.3.3	Expansão volumétrica e longitudinal.....	61
3.4.3.4	Durabilidade mecânica (teste de impacto)	62
3.4.3.5	Resistência longitudinal à compressão	62
3.4.3.6	Altura de empilhamento	63
3.5	TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA.....	64
3.5.1	Análise térmica	64
3.5.1.1	Poder calorífico	64
3.5.1.2	Análise termogravimétrica	65
3.5.1.3	Densidade energética	65
3.6	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	65
3.6.1	Ensaio de densificação mecânica.....	66
3.6.2	Ensaio de torrefação seca.....	66
3.6.2.1	Rendimento mássico	67
3.6.2.2	Rendimento energético.....	67
3.6.2.3	Fator de melhoramento.....	67
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA SERRAGEM DE EUCALIPTO E DO AGLUTINANTE	70
4.1.1	Análise granulométrica da serragem de eucalipto	70

4.1.2 Análise química composicional da serragem de eucalipto	71
4.1.3 Análise imediata da serragem de eucalipto e do aglutinante.....	72
4.1.4 Análise energética da serragem de eucalipto e do aglutinante	72
4.2 PRODUÇÃO DE BRIQUETES TORRIFICADOS.....	74
4.2.1 Propriedades químicas dos briquetes.....	78
4.2.1.1 Análise imediata.....	78
4.2.1.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier (FTIR)	84
4.2.2 Propriedades térmicas e energéticas dos briquetes.....	86
4.2.2.1 Poder calorífico	86
4.2.3 Análise térmica dos briquetes torreficados	91
4.2.3.1 Rendimento da torrefação	95
4.2.3.2 Fator de melhoramento.....	97
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS BRIQUETES	97
4.3.1 Expansão volumétrica, longitudinal e diametral	97
4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral	97
4.3.3 Durabilidade mecânica dos briquetes	103
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	105
4.4.1 Correlação entre as variáveis	105
5 CONCLUSÕES.....	108
REFERÊNCIAS.....	109

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no mundo, aproximadamente 85% da demanda de energia é suprida pela queima de combustíveis fósseis tais como carvão mineral, petróleo e gás natural. O uso contínuo desses combustíveis fósseis resultou em grandes quantidades de Gases do Efeito Estufa (GEE), as quais foram emitidas à atmosfera (Abbasi-Atibeh; Vozgatilgil 2014). Da quantidade total de GEE emitido, 3/4 correspondem ao dióxido de carbono (CO₂), principal emissão antropogênica associada com o aquecimento global (Huaman; Jun 2014). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas existe uma correlação significativa entre o aumento dos GEE e o aquecimento global (IPCC, 2013).

A produção de energia renovável faz parte do cenário que visa melhorar as condições ambientais e contribuir para minimização da emissão de gases poluidores, com diferentes fontes de energia renovável, como solar, eólica, hidrelétrica, biomassa entre outras (Kota et al., 2022). Entre as fontes de energia renovável, a energia derivada da biomassa em determinadas condições se caracteriza por ser econômica se comparada a outras fontes e prontamente disponível, além de ter a capacidade de reduzir as emissões de CO₂ através da renovabilidade da produção do combustível proveniente da biomassa (Trubetskaya et al., 2019; Sithole et al., 2023).

No Brasil, as biomassas geradas pela indústria florestal têm ganhado destaque pela quantidade e disponibilidade. O Brasil possui uma área de reflorestamento equivalente a 10 milhões de hectares, essa quantidade de árvores plantadas é responsável por 91% do total de madeira produzida para fins industriais e 6,2% de PIB (Produto Interno Bruto) industrial no País e, também, é um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde. Os plantios que se destacam são os de eucalipto e pinus. O eucalipto responsável por 5,7 milhões de hectares de árvores plantadas, o que representa 72% do total, e estão concentrados principalmente na região Sudeste com os estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e o estado do Mato Grosso do Sul (15%) (Ibá, 2023). Cerca de 85% dos plantios de pinus se concentram na região Sul, sendo o Paraná o principal produtor. Entre a produção de outras espécies, Mato Grosso se destaca com plantação de teca, Rio Grande do Sul e Roraima com acácia e Mato Grosso do Sul, seringueira (Ibá, 2022). Os plantios de pinus ocupam 1,9 milhão de hectares e concentram-se principalmente no Paraná (42%) (Ibá, 2023). Os resíduos derivados da industrialização da madeira são aproveitados principalmente para geração

de energia, entretanto, resíduos como a serragem de eucalipto, ao ter pouco valor agregado, tem poucas aplicações cotidianas ou são frequentemente queimados a céu aberto, e até mesmo dispostos em aterros inadequados (Oliveira et al., 2023).

Assim como outras biomassas, a serragem de eucalipto apresenta algumas características desvantajosas tais como elevado teor de umidade, baixo poder calorífico, baixa massa específica, partículas irregulares em tamanho e forma, além disso, a disponibilidade e os problemas de operação (transporte e armazenamento) (Periyasamy et al., 2023; Silva, et al. 2018). A literatura apresenta diversos processos de pré-tratamento visando melhorar as características da biomassa, podendo-a transformar em um biocombustível sólido de melhor qualidade. Entre esses processos de pré-tratamento se destacam a densificação mecânica e a torrefação por serem mais econômicas e de fácil aplicação (Chen et al., 2015).

A densificação mecânica é um processo físico através do qual reduz o volume da biomassa aumentando a densidade energética devido à aplicação de uma força mecânica (compressão), e quanto maior a pressão da compactação aliado à menor tamanho da partícula, maior será sua densidade energética (Dias et al., 2012). Além de ser uma tecnologia essencial para o uso econômico e ambiental da biomassa na bioeconomia (Adam et al., 2024) e sua utilização pode minimizar significativamente as dificuldades de transporte e armazenamento da biomassa (Sette et al., 2020).

A torrefação é o processo térmico onde a biomassa é aquecida em uma atmosfera inerte ou carente de oxigênio em uma faixa de temperatura entre 200°C e 300°C. O resultado da torrefação é o aumento significativo do poder calorífico, expressiva redução na absorção de umidade e uma tendência a aumento da densidade aparente (Sarker et al., 2022; Silva et al., 2018; Proskurina et al., 2017).

Na queima da biomassa, a maior liberação de calor é atribuída à oxidação do carbono, o hidrogênio também é uma fonte de calor crucial na combustão da biomassa, mas o hidrogênio na biomassa está principalmente presente como ligações CH ou ligações OH (Chen et al., 2021; Niu et al., 2019). O oxigênio contido na biomassa é benéfico para a combustão, mas um maior teor de oxigênio na biomassa reduz o seu poder calorífico. Sendo assim, a torrefação pode ser utilizada para remover os elementos indesejados (H e O) dos produtos sólidos, contribuindo para obtenção de maiores valores de poder calorífico, próximos ao do carvão com valores entre 25 MJ.kg⁻¹ e 35 MJ.kg⁻¹ (Matin, Chelgan., 2016).

Dessa forma, a geração de energia a partir de biomassa torrificada mostra-se relevante devido ao melhor aproveitamento da biomassa. De acordo com Mamvura e Danha (2020) a torrefação é apontada como a tecnologia a qual pode tornar as propriedades da biomassa próximas ao do carvão mineral possibilitando a sua queima individual ou misturada com carvão mineral para geração de energia. O uso de biomassa torrificada para geração de energia elétrica será uma forma mais ambientalmente correta de usar a biomassa devido à redução significativa da emissão de GEE, visto que, a torrefação da biomassa reduz o teor de matéria volátil e umidade, que são um dos principais contribuintes das emissões produzidas durante a combustão (Eling et al., 2024).

A integração dos processos de densificação mecânica e torrefação resulta em vantagens referente a biomassa utilizada como matéria-prima, pois proporciona um aumento do caráter hidrofóbico, pela redução da absorção de umidade, resistência à decomposição bacteriana, estabilidade, armazenamento e aumento da densidade energética, gerando economia nos custos logísticos (Proskurina et al., 2017).

Atualmente existe uma tendência na integração dos processos de densificação mecânica e a torrefação para produção de um biocombustível sólido de melhor qualidade que a biomassa “in natura”. A grande maioria de trabalhos está orientando principalmente ao estudo da produção de pellets de biomassa torrificada (Adams; Shirley; Mcmanus., 2015; Rudolfsson et al., 2017; Siyal et al., 2020; Manouchehrinejad, Mani, 2021; Grycova et al., 2022), no entanto, ainda são escassos os trabalhos que visam a produção de briquetes de biomassa torrificada para fins energéticos (Portilho et al., 2020). De acordo com Granado et al. (2023) existem ainda poucos trabalhos direcionados a estudar o efeito da torrefação sobre as propriedades e resistência do briquete de biomassa.

A integração dos processos de densificação mecânica e torrefação mostra-se interessante para produzir um biocombustível sólido a partir da serragem de eucalipto, porém o diferencial deste trabalho é identificar qual o melhor procedimento a ser seguido (rota) a densificação mecânica das partículas seguido de torrefação ou torrefação seguido de densificação mecânica, já que não existe uma rota única para produção de briquetes torreficados e não há trabalhos que compararam qual é a melhor rota para produção de briquetes de eucaliptos torreficados.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos tirou-se algumas conclusões:

- A integração dos processos de densificação mecânica e torrefação aumentaram a massa específica da biomassa e seu poder calorífico, e consequentemente a densidade energética dos briquetes em ambas as rotas.
- O aumento da temperatura de torrefação proporcionou maiores valores de poder calorífico em ambas as condições.
- A rota BT resultou em deformação longitudinal e rachaduras nos corpos dos briquetes.
- O rendimento mássico diminuiu conforme aumento da temperatura de torrefação.

O efeito da adição do aglutinante nas rotas:

- Na rota TB reduziu o PCS, DM, FM_{rup} , RM, RE e CF, e aumentou a ME, DE, expansões volumétricas, longitudinais e diametral e os MV e CZ.
- Na rota BT reduziu a ME, DE, DM e expansões volumétricas, longitudinais e diametral e aumentou a FM_{rup} .

A torrefação, portanto, parece ser uma técnica eficaz na produção de material de carbono de alta qualidade que pode ser usado como substituto parcial do carvão em processos de combustão. A combinação de densificação mecânica associada à torrefação pode ser um processo promissor para a produção de briquetes combustíveis.

5.1 ESTUDOS FUTUROS

- Análise econômica para produção e utilização dos biocombustíveis;
- Análise do Ciclo de Vida da matéria prima.

REFERÊNCIAS

- ABBASI-ATIBEH, E.; YOZGATLIGIL, A. A study on the effects of catalysts on pyrolysis and combustion characteristics of Turkish lignite in oxy-fuel conditions. **Fuel**, Guildford, v. 115, p. 841-849, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236113000823>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- ABDEL AAL, A. M. *et al.* Impact of biomass moisture content on the physical properties of briquettes produced from recycled ficus nitida pruning residuals. **Sustainability**, Califórnia, v. 15, n. 15, p. 11762, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11762>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- ABREU, P. H. F. **Formas de Aproveitamento de Resíduos da Madeira**. Paraná. Brasil, 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005. Disponível em: https://www.engwhere.com.br/empreiteiros/formas_aproveitamento_residuos_madeira.pdf. Acesso em 11 fev. 2023
- ADAM, R. *et al.* Influence of pressure and retention time on briquette volume and raw density during biomass densification with an industrial stamp briquetting machine. **Renewable Energy**, Burlington, v. 229, p. 120773, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148124008413>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- ADAM, P. W. R.; SHIRLEY, J. E. J.; MCMANUS, M. C. Comparative cradle-to-gate life cycle assessment of wood pellet production with torrefaction. **Applied Energy**, Porto, v. 138, p. 367-380, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914011507>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- ADEDOKUN, M. O.; ITIOLA, O. A. Material properties and compaction characteristics of natural and pregelatinized forms of four starches. **Carbohydrate polymers**, Amsterdam, v. 79, n. 4, p. 818-824, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861709005530>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- AFRA, E.; ABYAZ, A.; SARAHEYAN, A. The production of bagasse biofuel briquettes and the evaluation of natural binders (LNFC, NFC, and lignin) effects on their technical parameters. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 278, p. 123543, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620335885>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- AHN, B. J. *et al.* Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from Larix kaemferi C. and Liriodendron tulipifera L. sawdust. **Renewable Energy**, Burlington, v. 62, p. 18–23, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113003315>. Acesso em: 11 jun. 2021.

AGAR, D. A. *et al.* Pelletizing torrefied biomass at pilot-scale—Quality and implications for co-firing. **Renewable Energy**, Burlington, v. 178, p. 766-774, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121009605>. Acesso em: 11 jan. 2021.

ALMEIDA, L.; SOLA, A.; BEHAINNE, J. Análise físico-química do produto e processo de peletização da biomassa bagaço de cana-de-açúcar. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: APREPRO, 2014.

ALSAQR, A. M. Remarks on the use of Pearson's and Spearman's correlation coefficients in assessing relationships in ophthalmic data. **African Vision and Eye Health**, v. 80, n. 1, p. 10, 2021. Disponível em: <https://avehjournal.org/index.php/aveh/article/view/612>. Acesso em: 15 jun. 2022.

ANDERSSON, M.; TILLMAN, A. Acetylation of jute: Effects on strength, rot resistance, and hydrophobicity. **Journal of applied polymer science**, v. 37, n. 12, p. 3437-3447, 1989. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.1989.070371214>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ANUKAM, A. I., BERGHEL, J.; FRODESON, S.; FAMEWO, E. B.; NYAMUKAMBA, P. Characterization of pure and blended pellets made from Norway spruce and pea starch: A comparative study of bonding mechanism relevant to quality. **Energies**, Basel, v. 12, n. 23, p. 4415, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4415>. Acesso em: 21 dez. 2022.

ARANSIOLA, E. F. *et al.* Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized corncob briquette. **Energy Reports**, v. 5, p. 909–918, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718302427>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ARAÚJO, S. *et al.* Effect of a mild torrefaction for production of eucalypt wood briquettes under different compression pressures. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 90, p. 181-186, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416301209>. Acesso em: 15 jun. 2021.

AREIAS, A. A.; CRUZ JÚNIOR, J. C.; YAMAJI, F. M. Estudo de mercado sobre o uso de biomassa para queima no Estado de São Paulo, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e1429119566-e1429119566, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9566>. Acesso em: 08 jun. 2022.

ARIAS, B. *et al.* Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass. **Fuel processing technology**, Bilbao, v. 89, n. 2, p. 169-175, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382007001920>. Acesso em: 08 jun. 2023.

Argus Biomass Market. Market Commentary [Electronic resource]. Retrieved October 1, 2021. Disponível em: <https://www.argusmedia.com/-/media/Files/sample-reports/argus-biomass-markets.ashx?la=en&hash=872E2C03A0A78FE3F236BBF00E7729E3114326E0/>. Acesso em: 10 de out 2023.

ARTEAGA-PÉREZ, L. E.; SEGURA, C., BUSTAMANTE-GARCÍA, V.; CÁPIRO, O. G.; JIMÉNEZ, R. Torrefaction of wood and bark from *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*: Focus on volatile evolution vs feasible temperatures. **Energy**, Oxford, v. 93, p. 1731-1741, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215013699>. Acesso em: 15 mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17030**: Pellets – Terminologia e método de ensaios [Pellets – Terminology and test methods]. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1983, v. 8, n. 28, 1983, Belo Horizonte. **Anais do 4º Congresso Florestal Brasileiro**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983.

BARSKOV, S. *et al.* Torrefaction of biomass: A review of production methods for biocoal from cultured and waste lignocellulosic feedstocks. **Renewable Energy**, Burlington, v. 142, p. 624-642, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811930552X>. Acesso em: 18 jun. 2022.

BATAUS, Y. L. **Carbonização integral de frutos de palmáceas**. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1989.

BENÍCIO, E. L. *et al.* Utilização de resíduo celulósico na composição de briquetes de finos de carvão vegetal. 2011.

BERGMAN, P. C. Combined torrefaction and pelletisation. **The TOP process**. 2005.

BIOMASSA BRASIL. Brasil biomassa e energia renovável. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.brasilbiomassa.com.br/briquete>. Acesso em: 01 dez. 2022.

BONFATTI JÚNIOR, E. A. *et al.* Basic wood density, fiber dimensions, and wood chemical composition of four *Eucalyptus* species planted in southern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 47, p. e4704, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/ZXRJ4P4XkyS3jTLhwXWbMYF/>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BORGES, A. C. P. **Caracterização energética do cavaco de *Eucalyptus grandis* “in natura” e torrefeito**. 2016. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

BOTREL, D. A. *et al.* Revestimento ativo de amido na conservação pós-colheita de pera Williams minimamente processada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p. 1814-1820, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/cTCCWpcqVCZ7RTcS9sCvSrt/?lang=pt>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BRAND, M. A. *et al.* Production of briquettes as a tool to optimize the use of waste from rice cultivation and industrial processing. **Renewable energy**, Burlington, v. 111, p. 116-123, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117302756>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BRAMMER, J. G.; BRIDGWATER, A. V. The influence of feedstock drying on the performance and economics of a biomass gasifier–engine CHP system. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 22, n. 4, p. 271-281, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195340200003X>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CAHYANTI, M. N.; DODDAPANENI, T. R. K. C.; KIKAS, T. Biomass torrefaction: An overview on process parameters, economic and environmental aspects and recent advancements. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 301, p. 122737, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420300067>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CAO, L. *et al.* Biorenewable hydrogen production through biomass gasification: A review and future prospects. **Environmental research**, Ontario, v. 186, p. 109547, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120304400>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CARVALHO, N. R. *et al.* Caracterização física e química da biomassa usada como combustível sólido em uma caldeira. **Química Nova**, São Paulo, v. 44, p. 35-40, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/jDvty4wDwprSfHpVFLKZSyG/?lang=pt>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CHANDEL, A. K. *et al.* The path forward for lignocellulose biorefineries: bottlenecks, solutions, and perspective on commercialization. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 264, p. 370-381, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418307831>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CHEN, C. *et al.* Rice husk and rice straw torrefaction: Properties and pyrolysis kinetics of raw and torrefied biomass. **Environmental Technology and Innovation**, Amsterdam, v. 24, p. 101872, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186421005204>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CHEN, D. *et al.* Comparative study of electric-heating torrefaction and solar-driven torrefaction of biomass: Characterization of property variation and energy usage with torrefaction severity. **Applications in Energy and Combustion Science**, Amsterdam, v. 9, p. 100051, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666352X21000315>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CHEN, W.; PENG, J.; BI, X. T. A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 44, p. 847-866, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114010910>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CHERUBINI, F.; JUNGMEIER, G. LCA of a biorefinery concept producing bioethanol, bioenergy, and chemicals from switchgrass. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, p. 53-66, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-009-0124-2>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CHRISOSTOMO, W. **Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Materiais Funcionais e Polímeros de Fontes Renováveis) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1164>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S.L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO E Produto** v. 8, p. 1-12, 2011, Porto Alegre. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002833837>. Acesso em: 08 jun. 2022.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas**: método de determinación de la compresión perpendicular al grano. 466. Guatemala: COPANT, 1971b.

COSTA, E. V. S. *et al.* Torrefied briquettes of sugar cane bagasse and eucalyptus. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 43, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/9xgPnY6r3xywx3znDtXfbdp/?lang=en>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CUNHA, M. G. **Avaliação da co-combustão de carvão mineral com serragem de eucalipto em leito fluidizado borbulhante**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2021.

DAHUNSI, S. O. Mechanical pretreatment of lignocelluloses for enhanced biogas production: Methane yield prediction from biomass structural components. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 280, p. 18-26, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419301853>. Acesso em: 08 jun. 2022.

DIAS, J. M. C. S. *et al.* **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.

DIVINE, D. C. *et al.* Enhancing biomass Pyrolysis: Predictive insights from process simulation integrated with interpretable Machine learning models. **Fuel**, Sheffield, v. 366, p. 131346, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236124004940>. Acesso em: 08 jun. 2022.

DU, S.-W.; CHEN, W.-H.; LUCAS, J. A. Pretreatment of biomass by torrefaction and carbonization for coal blend used in pulverized coal injection. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 161, p. 333-339, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414003952>. Acesso em: 08 jun. 2022.

DUBINI, A.; GHIRARDI, M. L. Engineering photosynthetic organisms for the production of biohydrogen. **Photosynthesis research**, v. 123, p. 241-253, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11120-014-9991-x>. Acesso em: 21 jan. 2023.

ELING, J. *et al.* Densification of raw and torrefied biomass: A review. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 184, p. 107210, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953424001636>. Acesso em: 08 jun. 2022.

EMERHI, E. A. Physical and combustion properties of briquettes produced from sawdust of three hardwood species and different organic binders. **Advances in Applied Science Research**, Washington, v. 2, n. 6, p. 236-246, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Emuobonuvie-Emerhi/publication/267266015_Physical_and_combustion_properties_of_briquettes_produced_from_sawdust_of_three_hardwood_species_and_different_organic_binders/links/588ca09ca6fdcc8e63c957e5/Physical-and-combustion-properties-of-briquettes-produced-from-sawdust-of-three-hardwood-species-and-different-organic-binders. Acesso em: 08 jun. 2022.

ESTEVES, B. Wood modification by heat treatment: A review. **BioResources**, Raleigh, p. 370-404, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/1078>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FELFLI, F. F. *et al.* Wood briquette torrefaction. **Energy for sustainable development**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 19-22, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082608605190>. Acesso em: 21 jan. 2023.

FERNANDEZ, B. O. *et al.* Qualidade de briquetes de cana-de-açúcar produzidos com aglutinante amido de milho. **Revista virtual de química**, Niterói, v. 10, n. 1, 2018. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/FernandezNoPrelo.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FERREIRA, V. R. S.; CADEMARTORI, P. H. G.; LIMA, E. A.; FERRAZ, F. A.; AGUIAR, O. J. R.; SILVA, D. A. Produção e avaliação de briquetes de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, 2020. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/scientia/nr128/2318-1222-scifor-48-128-e3284.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente construído**, v. 9, p. 157-174, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/84J9dfRHFVdzF35xnjscXty/?format=html>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FILBAKK, T.; SKJEVRAK, G.; HØIBØ, O.; DIBDIAKOVA, J.; JIRJIS, R. The influence of storage and drying methods for Scot's pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. **Fuel Process. Technol.** Bilbao, 92, 871–878, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382010003966>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FONTES, PJP de *et al.* **Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal**. Brasília-DF: Laboratório de produtos florestais, p. 1-14.1989, 1984.

FRODESON, S.; HENRIKSSON, G.; BERGHEL, J. Pelletizing pure biomass substances to investigate the mechanical properties and bonding mechanisms. **BioResources**, Raleigh, v. 13, n. 1, p. 1202-1222, 2018. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1183404>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FURTADO, T. S. *et al.* Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101, 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/101>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. O setor de pellets de madeira no Brasil. **Revista Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 8, n. 1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/9146>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2010.

GAUR, S.; REED, T. B. **Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels**, Marcel Dekker. Inc., New York, 1998.

GHIASI, B.; KUMAR, L.; FURUBAYASHI, T.; LIM, C.J.; BI, X.; CHANG, S. K. Densified biocoal from woodchips: Is it better to do torrefaction before or after densification? **Appl. Energy**, v.134, 133–142, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914007594>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GIZAW, D. G. *et al.* Advances in solid biofuels production through torrefaction: Potential biomass, types of torrefaction and reactors, influencing process parameters and future opportunities – A Review. **Process Safety and Environmental Protection**, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582024004233>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 657-661, 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/GQzcmwmdM4Q8TMSJKX9kDGs/>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GONÇALVES, B. F. *et al.* Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de *Eucalyptus grandis* para confecção de briquetes. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 205-213, 2013. Disponível em:

<https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/409>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A.; PAULESKI, D. T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, p.167-175, 2003. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cflo/a/6z3ffbFYdXh6hBCw3qNrSYS/?lang=pt>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GRANADO, M. P. P. *et al.* Effect of torrefaction on the properties of briquettes produced from agricultural waste. **Bioresource Technology Reports**, Amsterdam, p. 101340, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X23000117>. Acesso em: 01 fev. 2024.

GREENHALF, C. E. *et al.* The influence of harvest and storage on the properties of and fast pyrolysis products from *Miscanthus x giganteus*. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 56, p. 247-259, 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953413002353>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GROVER, P. D.; MISHRA, S. K. **Biomass briquetting: technology and practices**. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.

GRYCOVA, B. *et al.* Effect of torrefaction on pellet quality parameters. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-9, 2022. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-021-02164-8>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GUO, L.; TABIL, L. G.; WANG, D.; WANG, G. Influence of moisture content and hammer mill screen size on the physical quality of barley, oat, canola and wheat straw briquettes. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 94, p. 201-208, 2016. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416302963>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GÜRDIL, G. A. K.; DEMIREL, B. Effect of particle size on surface smoothness of bio-briquettes produced from agricultural residues. **Manuf. Technol.**, Ústí nad Labem, v. 18, p. 742-747, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Guerkan-Guerdil/publication/328451905_Effect_of_Particle_Size_on_Surface_Smoothness_of_BioBriquettes_Produced_from_Agricultural_Residues/links/5be582154585150b2ba95ca7/Effect-of-Particle-Size-on-Surface-Smoothness-of-Bio-Briquettes-Produced-from-Agricultural-Residues.pdf. Acesso em: 08 jun. 2022.

HANSTED, A. L. S. *et al.* Comparative analyses of fast-growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. **Fuel**, Sheffield, v. 184, p. 180-184, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236116305233>. Acesso em: 05 nov. 2023.

HAWKEN, P. **Drawdown**: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming. Penguin, 2017.

HILLIS, W. E. Wood quality and Utilization. In: HILLIS, WE, BROWN, AG (eds.). **Eucalyptus for wood production**. Canberra: CSIRO, 1978.

HUAMAN, R. N. E.; JUN, T. X. Energy related CO₂ emissions and the progress on CCS projects: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 31, p. 368-385, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008162>. Acesso em: 08 jun. 2022.

IBITOYE, S. E. *et al.* Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview. **Bioresources and bioprocessing**, Nova Iorque, v. 8, n. 1, p. 75, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40643-021-00427-w>. Acesso em: 08 jun. 2022.

IMBERTI, R. M.; PADILHA, J. C.; SILVA ARRIECHE, L. Production of sawdust and chicken fat briquettes as an alternative solid fuel. **Renewable Energy**, Burlington, v. 228, p. 120638, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148124007067>. Acesso em: 08 jun. 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ**. Relatório Anual Ibá 2023. São Paulo: Café Art, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba-2020.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2024. Acesso em: 08 jun. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2013

JEZERSKA, L. *et al.* The pelletization and torrefaction of coffee grounds, garden chaff and rapeseed straw. **Renewable Energy**, Burlington, v. 210, p. 346-354, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123004640>. Acesso em: 08 jun. 2022.

JONG, J. *et al.* Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden—How much is environmentally sustainable? **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 383, p. 3-16, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716303255>. Acesso em: 21 jan. 2023.

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and bioenergy**, Washington, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953408002146>. Acesso em: 08 jun. 2022.

KIRSTEN, C. *et al.* Hay pellets - The influence of particle size reduction on their physical–mechanical quality and energy demand during production. **Fuel processing technology**, Bilbao, v. 148, p. 163-174, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037838201630056X>.

KONG, L.; XIONG, Y.; LIU, T.; TU, Y.; TIAN, S.; SUN, L.; CHEN, T. Effect of fiber natures on the formation of “solid bridge” for preparing wood sawdust derived biomass pellet fuel. **Fuel Process. Technol.** Bilbao, 144, p. 79– 84, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382015302514>.

KOTA, K. B. *et al.* Biomass torrefaction: An overview of process and technology assessment based on global readiness level. **Fuel**, Sheffield, v. 324, p. 124663, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122015113>. Acesso em: 08 jun. 2022.

LAMERS, P. *et al.* Global solid biomass trade for energy by 2020: an assessment of potential import streams and supply costs to North-West Europe under different sustainability constraints. **Gcb Bioenergy**, Hoboken, v. 7, n. 4, p. 618-634, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcbb.12162>. Acesso em: 08 jun. 2022.

LEHMANN, B.; SCHRÖDER, H.W.; WOLLENBERG, R.; REPKE, J.U. Effect of Miscanthus addition and different grinding processes on the quality of wood pellets. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v.44, p.150-159, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412002152>.

LI, H. *et al.* Pelletization of torrefied sawdust and properties of torrefied pellets. **Applied Energy**, Porto, v. 93, p. 680-685, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912000062>. Acesso em: 08 jun. 2022.

LI, M. *et al.* Influence of temperature on bamboo torrefaction under carbon dioxide atmosphere. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, [S. l.], p. 149-157, 4 jul. 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669015300704>. Acesso em: 08 jun. 2022.

LI, X. *et al.* Co-pyrolysis of cellulose and lignin: Effects of pyrolysis temperature, residence time, and lignin percentage on the properties of biochar using response surface methodology. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 219, p. 119071, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669024010483>. Acesso em: 08 jun. 2022.

LIPPEL. Planejando Uma Usina de Briquetagem. Disponível em: <https://lippel.com.br/pt-BR/404>. Acesso em: 01 fev. 2023.

LU, H. *et al.* Integration of biomass torrefaction and gasification based on biomass classification: a review. **Energy Technology**, Weinheim, v. 9, n. 5, p. 2001108, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ente.202001108>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MACEDO, L. A. *et al.* Synergistic effect of biomass potassium content and oxidative atmosphere: Impact on torrefaction severity and released condensables. **Energy**, Oxford, v. 254, p. 124472, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222013755>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MAGALHÃES, M. A. *et al.* Caracterização de pellets produzidos a partir de capim-elefante pa-ra uso energético. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, v. 7, n. 3, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/6819>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MALIK, B. *et al.* Biomass pellet technology: A green approach for sustainable development. **Agricultural Biomass Based Potential Materials**, Heidelberg, p. 403-433, 2015. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-13847-3_19. Acesso em: 08 jun. 2022.

MAMVURA, T. A.; DANHA, G. Biomass torrefaction as an emerging technology to aid in energy production. **Heliyon**, Cambridge, v. 6, n. 3, p. e03531, 2020. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(20\)30376-5](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(20)30376-5). Acesso em: 08 jun. 2022.

MANOUCHEHRINEJAD, M.; MANI, S. Torrefaction after pelletization (TAP): Analysis of torrefied pellet quality and co-products. **Biomass and bioenergy**, Washington, v. 118, p. 93-104, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953418302186>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MANZANO-AGUGLIARO, F. *et al.* Scientific production of renewable energies worldwide: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 18, p. 134-143, 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200562X>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MARKET, Gold Nanoparticles. Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2017–2026. Transparency Market Research. **BlueWeave**: Consulting: Research simplified, 2019. Disponível em: <https://www.blueweaveconsulting.com/report/biomass-briquettes-market>. Acesso em: 10 out. 2022.

MASON, P. E. *et al.* Single particle flame-combustion studies on solid biomass fuels. **Fuel**, Sheffield, v. 151, p. 21-30, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236114011995>. Acesso em: 10 jan. 2022.

MATIN, S. S.; CHELGANI, S. C. Estimation of coal gross calorific value based on various analyses by random forest method. **Fuel**, Sheffield, v. 177, p. 274-278, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236116300680>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MEI, Y. *et al.* Torrefaction of different parts from a corn stalk and its effect on the characterization of products. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 92, p. 26-33, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669016304708>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MOHAMMED, T. I.; OLUGBADE, T. O. Burning rate of briquettes produced from rice bran and palm kernel shells. **International Journal of Material Science Innovations**, Kordofan, v. 3, n. 2, p. 68-73, 2015. Disponível em: <https://www.htpub.org/article/International-Journal-Of-Material-Science-Innovations/vol/3/issue/2/articleid/758>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. Hoboken, 9. ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 2017. 734 p.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 461-470, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/DcCpsxrjS8ZNZxHjfxr4KFw/>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MOSTAFA, M. E. *et al.* The significance of pelletization operating conditions: An analysis of physical and mechanical characteristics as well as energy consumption of biomass pellets. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 105, p. 332-348, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119300772>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MUAZU, R. I.; BORRION, A. L.; STEGEMANN, J. A. Life cycle assessment of biomass densification systems. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 107, p. 384–397, 1 dez. 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953417303422>. Acesso em: 08 jun. 2022.

MÜLLER, G. *et al.* FTIR-ATR spectroscopic analyses of changes in wood properties during particle-and fibreboard production of hard-and softwood trees. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 49-71, 2009. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/ftir-atr-spectroscopic-analyses-of-changes-in-wood-properties-during-particle-and-fibreboard-production-of-hard-and-softwood-trees/>. Acesso em: 15 maio. 2023.

NA, B. *et al.* Torrefaction of oil palm mesocarp fiber and their effect on pelletizing. **Biomass and bioenergy**, Washington, v. 52, p. 159-165, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953413001256>. Acesso em: 05 nov. 2023.

NAKAI, D. K. **Avaliação do potencial energético de Eucalyptus spp. em gaseificador do tipo contracorrente**. 2015.

NANOU, P.; CARBO, M. C.; KIEL, J. H.A. Detailed mapping of the mass and energy balance of a continuous biomass torrefaction plant. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 89, p. 67-77, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416300332>. Acesso em: 08 jun. 2022.

NAZARÉ, T. B. *et al.* Estudo de briquetagem de Eucalyptus SP. Para combustão. **Revista Mythos**, Tocantins, v. 10, n. 2, p. 87-94, 2018. Disponível em: <https://ojs.periodicos.unis.edu.br/index.php/mythos/article/view/239>. Acesso em: 08 jun. 2022.

NGANGYO HEYA, M. *et al.* Physicochemical characteristics of biofuel briquettes made from pecan (*Carya illinoensis*) pericarp wastes of different particle sizes. **Molecules**, Basel, v. 27, n. 3, p. 1035, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/3/1035>. Acesso em: 08 jun. 2022.

NIU, Y. *et al.* Biomass torrefaction: properties, applications, challenges, and economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 115, p. 109395, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119306033>. Acesso em: 08 jun. 2022.

NUNES, E. Z.; ANDRADE, A. M.; DIAS, A. F. Production of briquettes using coconut and eucalyptus wastes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, p. 883-888, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/nj5d3KPG4Bn7YRCJyRfW77J/?lang=en>. Acesso em: 08 jun. 2022.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 40, p. 153-160, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114006339>. Acesso em: 08 jun. 2022.

NYAKUMA, B. B.; JOHARI, A., AHMAD, A., ABDULLAH, T. A. T. Comparative analysis of the calorific fuel properties of Empty Fruit Bunch Fiber and Briquette. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 52, p. 466-473, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214009618>. Acesso em: 08 jun. 2022.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. **The pellet handbook: the production and thermal utilisation of pellets**. Routledge, 2010.

OBI, O. F.; PECENKA, R.; CLIFFORD, M. J. A review of biomass briquette binders and quality parameters. **Energies**, Basel, v. 15, n. 7, p. 2426, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2426>. Acesso em: 05 nov. 2023.

OKOT, D. K. **Briquetting and torrefaction of agricultural residues for energy production**. Newcastle University, 2019.

OLIVEIRA, F. L. R. *et al.* Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. **Cerne**, Lavras, v. 21, p. 227-233, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/3DpWr5NJpXXByGzCYNzvf6J/?lang=pt>. Acesso em: 14 set. 2023.

OLIVEIRA, H. A. *et al.* Agregado leve: uma alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduo de serragem no processo industrial. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 125-133, 2023. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/1555. Acesso em: 13 jan. 2024.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P. Effects of torrefaction on energy properties of Eucalyptus grandis wood. 2009.

OLUGBADE, T.; OJO, O.; MOHAMMED, T. Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: a recent review. **BioEnergy Research**, v. 12, p. 241-259, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-019-09973-w>. Acesso em: 08 jun. 2022.

ONG, H. C. *et al.* Variation of lignocellulosic biomass structure from torrefaction: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 152, p. 111698, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121009722>. Acesso em: 08 jun. 2022.

OLIVEIRA, R. S. *et al.* Wood energy yield for Eucalyptus clones growing under seasonal drought-stress in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 154, p. 106264, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953421002993>. Acesso em: 08 jun. 2022.

OSTREICHES NORMUNGS INSTITUT. **M7135**. Compressed wood or compressed bark in natural state - Pellets and briquettes. Requirements and test specifications, Vienna, 2000.

PATEL, M.; ZHANG, X.; KUMAR, A. Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 53, p. 1486-1499, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115010400>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PAULA, L. E. R. **Efeito da torrefação e briquetagem nas propriedades energéticas de resíduos agroindustriais**. 2014. 89 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PENG, J. H. *et al.* Study on density, hardness, and moisture uptake of torrefied wood pellets. **Energy & Fuels**, Washington, v. 27, n. 2, p. 967-974, 2013. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef301928q>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PEREIRA, M. P. C. F.; COSTA, E. V. S.; PEREIRA, B. L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; OLIVEIRA, A. C. Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 269-275. 2016. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1093>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PERIYASAMY, S. *et al.* Recent advances in consolidated bioprocessing for conversion of lignocellulosic biomass into bioethanol—a review. **Chemical Engineering Journal**, Glendale, v. 453, p. 139783, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894722052627>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PERSSON, H. *et al.* Fractionation of liquid products from pyrolysis of lignocellulosic biomass by stepwise thermal treatment. **Energy**, Oxford, v. 154, p. 346-351, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218307667>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PHANTHONG, P. *et al.* Nanocellulose: Extraction and application. **Carbon Resources Conversion**, Pequim, v. 1, n. 1, p. 32-43, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588913318300036>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PINCELLI, A. L. P. S. M. **Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus, submetidos ao tratamento térmico, com foco na aplicação energética**. 2011. (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

PIMCHUAI, A.; DUTTA, A.; BASU, P. Torrefaction of Agriculture Residue to Enhance Combustible Properties, **Energy Fuel**, v.24, n.9, p. 4638– 4645, 2010. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef901168f>. Acesso em: 02 maio 2023.

PIRES, D. S. **Identificação dos acidentes no modal ferroviário de cargas num ramal de Santa Catarina**: Uma abordagem logística. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

POSOM, J. *et al.* Rapid non-destructive evaluation of moisture content and higher heating value of *Leucaena leucocephala* pellets using near infrared spectroscopy. **Energy**, Oxford, v. 107, p. 464-472, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216304479>. Acesso em: 19 dez. 2023.

PROSKURINA, S.; HEINIMÖ, J.; SCHIPFER, F.; VAKKILAINEN, E. Biomass for industrial applications: The role of torrefaction. **Renew Energy**, 111, 265–274, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117303208>. Acesso em: 05 jun. 2022.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Torrefaction and carbonization of briquettes made with residues from coffee grain. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 1252-1258, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/K9qGCSkYVMjzRyLLLbQ3Kdy/abstract/?format=html&lang=en&stop=next>. Acesso em: 22 jun. 2022.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-273, 2011. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/288>. Acesso em: 08 jun. 2022

QUIRINO, W. F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da madeira**, v. 89, n. 100, p. 100-106, 2005. Disponível em: <https://mundoflorestal.com.br/arquivos/podercalorifico.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991.

QIU, G. Testing of flue gas emissions of a biomass pellet boiler and abatement of particle emissions. **Renewable Energy**, Burlington, v. 50, p. 94–102, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112003965>. Acesso em: 08 jun. 2022.

RAMAKRISHNA, V. *et al.* Torrefaction of agro-wastes (palmyra palm shell and redgram stalk): characterization of the physicochemical properties and mechanical strength of binderless pellets. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-19, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-021-01720-6>. Acesso em: 08 jun. 2022.

RAUD, M.; KIKAS, T.; SIPPULA, O.; SHURPALI, N. J. Potentials and challenges in lignocellulosic biofuel production technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 111, p. 44-56, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119303338>. Acesso em: 19 dez. 2023.

R CORE Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2024. <https://www.R-project.org/>.

REED, T. Process and apparatus for making a densified torrefied fuel. U.S. Patent Application N° 10/151, 459, 2003.

REIS, B. O. *et al.* Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Proceedings ...** Brasília: SciELO, 2002.

REIS PORTILHO, G. *et al.* Potential of briquette produced with torrefied agroforestry biomass to generate energy. **Forests**, v. 11, n. 12, p. 1272, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/12/1272>. Acesso em: 08 abr. 2023.

REPELLIN, V. *et al.* Modelling anhydrous weight loss of wood chips during torrefaction in a pilot kiln. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 34, n. 5, p. 602-609, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410000036>. Acesso em: 08 jun. 2022.

RIBEIRO, J. M. C. *et al.* Future perspectives of biomass torrefaction: Review of the current state-of-the-art and research development. **Sustainability**, Califórnia, v. 10, n. 7, p. 2323, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/7/2323>. Acesso em: 08 jun. 2022.

RODRIGUES, T. O. **Efeitos da Torrefação no Condicionamento de Biomassa para Fins Energéticos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM-109/2009, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 71 p.

RUDOLFSSON, M. *et al.* Combined effects of torrefaction and pelletization parameters on the quality of pellets produced from torrefied biomass. **Applied Energy**, Porto, v. 191, p. 414-424, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917300430>. Acesso em: 19 dez. 2023.

SALAME, J. E. F. **Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal**. Ouro Preto: Escola de Minas e Metalurgia, 1992. 19p.

SALDARRIAGA, J. F. *et al.* Fast characterization of biomass fuels by thermogravimetric analysis (TGA). **Fuel**, Sheffield, v. 140, p. 744-751, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236114010199>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SALETNIK, B. *et al.* The use of wood pellets in the production of high quality biocarbon materials. **Materials**, v. 15, n. 13, p. 4404, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/13/4404>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SAN MIGUEL, G. *et al.* One-step torrefaction and densification of woody and herbaceous biomass feedstocks. **Renewable Energy**, Burlington, v. 195, p. 825-840, 2022. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148122009235>.

SANTOS, J. O. *et al.* Produção e utilização de briquetes no Brasil. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, Garanhuns, v. 5, n. 1, p. 36-40, 2015. Disponível em:

SANTOS, A. G. **Identificação, purificação e caracterização de uma lectina de folhas de *Jatropha multifida* L. (MALPIGHIALES: EUPHORBIACEAE)**. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia) – Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

SARKER, T. R. *et al.* Complementary effects of torrefaction and pelletization for the production of fuel pellets from agricultural residues: a comparative study. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 181, p. 114740, 2022. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669022002230>. Acesso em: 11 jun. 2024.

SAWATDEENARUNAT, C. *et al.* Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: challenges and opportunities. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 178, p. 178-186, 2015. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414013625>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SENA, A. S. *et al.* Characterization of briquettes produced from eucalyptus wood waste generated in agro-industries. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, p. 794-798, 2021. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/DjqDn9NMwdYypLvRWktN9Vg/>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SETTE JUNIOR, C. A. *et al.* Forest harvest byproducts: use of waste as energy. **Waste Management**, Chicago, v. 114, p. 196-201, 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20303597>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SETTER, C. *et al.* Energy quality of pellets produced from coffee residue: Characterization of the products obtained via slow pyrolysis. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 154, p. 112731, 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669020306488>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do Planalto Sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rarv/a/KbgyBr7wfS36Vxty8C5dMzt/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SINGH, R. K.; SARKAR, A.; CHAKRABORTY, J. P. Effect of torrefaction on the physicochemical properties of pigeon pea stalk (*Cajanus cajan*) and estimation of

kinetic parameters. **Renewable Energy**, Amsterdam, v. 138, p. 805-819, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119301661>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SINGH, R. K.; SARKAR, A.; CHAKRABORTY, J. P. Effect of torrefaction on the physicochemical properties of eucalyptus derived biofuels: estimation of kinetic parameters and optimizing torrefaction using response surface methodology (RSM). **Energy**, Oxford, v. 198, p. 117369, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422030476X>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SILVA, B. S. **Avaliação da viabilidade do pré-processamento do eucalipto para geração de energia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

SILVA, F. B. A. **Avaliação das propriedades mecânicas e de estabilidade de briquetes lignocelulósicos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2017.

SILVA, D. A. L. *et al.* A systematic review and life cycle assessment of biomass pellets and briquettes production in Latin America. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 157, p. 112042, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121013046>. Acesso em: 08 ago. 2023.

SILVA, D. A. *et al.* Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Yamaji/publication/290531856_Caracterizacao_de_biomassas_para_a_briquetagem/links/65da0d56e7670d36abdad64e/Caracterizacao-de-biomassas-para-a-briquetagem.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

SILVA, D. A. *et al.* A influência da umidade em propriedades mecânicas de briquetes produzidos com resíduos de madeira (*Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*). **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 9, n. 3, p. 1078-1086, 2017. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v9n3a14.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2022.

SILVA, D. A. *et al.* Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Yamaji/publication/290531856_Caracterizacao_de_biomassas_para_a_briquetagem/links/65da0d56e7670d36abdad64e/Caracterizacao-de-biomassas-para-a-briquetagem.pdf. 21 jan. 2023.

SILVA, V. V. *et al.* Poder calorífico de briquetes artesanais fabricados com diferentes tipos de aglutinantes. 2018.

SILVA, C. M. S. *et al.* Biomass torrefaction for energy purposes - Definitions and an overview of challenges and opportunities in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 82, p. 2426-2432, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117312388>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SILVA, V. F. **Processos termoquímicos de conversão de biomassa**. 2021. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética) - Instituto Politecnico de Bragança, Bragança, 2021.

SITHOLE, T. *et al.* A review of the combined torrefaction and densification technology as a source of renewable energy. **Alexandria Engineering Journal**, Alexandria, v. 82, p. 330-341, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016823008797>. Acesso em: 25 jan. 2024.

SOUZA, F.; VALE, A. Energy density of lignocellulosic biomass briquettes and its relationship with briquetting parameters. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.36, n.88, 2016.

SOUSA NETO, V. D. O. *et al.* Coconut bagasse treated by thiourea/ammonia solution for cadmium removal: kinetics and adsorption equilibrium. **BioResources**, Raleigh, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ronaldo-Do-Nascimento-2/publication/286050113_Coconut_bagasse_treated_by_thioureaammonia_solution_for_cadmium_removal_Kinetics_and_adsorption_equilibrium/links/56b3778408ae1f8aa45346fd/Coconut-bagasse-treated-by-thiourea-ammonia-solution-for-cadmium-removal-Kinetics-and-adsorption-equilibrium.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

STRANDBERG, M. *et al.* Effects of temperature and residence time on continuous torrefaction of spruce wood. **Fuel Processing Technology**, Bilbao, v. 134, p. 387-398, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382015000934>. Acesso em: 21 fev. 2023.

SIYAL, A. A. *et al.* Torrefaction subsequent to pelletization: Characterization and analysis of furfural residue and sawdust pellets. **Waste Management**, Chicago, v. 113, p. 210-224, 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20302774>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SUI, H. *et al.* Effect of oxidative torrefaction on fuel and pelletizing properties of agricultural biomass in comparison with non-oxidative torrefaction. **Renewable Energy**, Burlington, v. 226, p. 120423, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148124004889>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SUTTIBAK, S.; LOENGBUDNARK, W. Production of charcoal briquettes from biomass for community use. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2018. p. 012001.

TADESSE, H. K. *et al.* Comparison of evapotranspiration and biomass simulation in winter wheat under conventional and conservation tillage systems using APEX model. **Ecohydrology and Hydrobiology**, Łódź, v. 21, n. 1, p. 55-66, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1642359320300707>. Acesso em: 12 fev. 2023.

TAPPI T257 om-85. **Sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Press, 1985.

TAPPI T 264 cm-97. **Preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Press, 1997.

TEIXEIRA, V. L. *et al.* Potential of macauba epicarp (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius) for briquettes production. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 4, p. 563-572, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/9d86/8283c033d797d6cbbf8e6a68fc864ecc11de.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

THRÄN, D. *et al.* Moving torrefaction towards market introduction—Technical improvements and economic-environmental assessment along the overall torrefaction supply chain through the SECTOR project. **Biomass and bioenergy**, Washington, v. 89, p. 184-200, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416300538>. Acesso em: 08 jun. 2022.

TRUBETSKAYA, A. *et al.* Characterization of woodstove briquettes from torrefied biomass and coal. **Energy**, Oxford, v. 171, p. 853-865, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219300660>. Acesso em: 12 fev. 2023.

VERGARA, G. *et al.* Energy from planted forest and its residues characterization in Brazil. **Energy**, Oxford, v. 239, p. 122243, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221024919>. Acesso em: 08 jun. 2022.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**, n. 33, p. 261-314, 2011. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2523>. Acesso em: 12 ago. 2023.

VILAS BOAS, M. A. **Efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes**. 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

WANG, C. *et al.* Oxidative torrefaction of biomass residues and densification of torrefied sawdust to pellets. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 127, p. 318-325, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852412014423>. Acesso em: 08 jun. 2022.

WANG, L. *et al.* Effect of torrefaction on properties of pellets produced from woody biomass. **Energy & Fuels**, Washington, v. 34, n. 12, p. 15343-15354, 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.energyfuels.0c02671>. Acesso em: 08 jun. 2022.

- WANG, Q. *et al.* The pyrolysis of biomass briquettes: Effect of pyrolysis temperature and phosphorus additives on the quality and combustion of bio-char briquettes. **Fuel**, Sheffield, v. 199, p. 488-496, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236117302752>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- WOLF, A.; VIDLUND, A.; ANDERSSON, E. Energy-efficient pellet production in the forest industry: a study of obstacles and success factors. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v.30, n. 1. p.38-45, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953405001340>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- YAN, K. *et al.* Catalytic reactions of gamma-valerolactone: A platform to fuels and value-added chemicals. **Applied Catalysis B: Environmental**, Amsterdam, v. 179, p. 292-304, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953405001340>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- YANG, X. *et al.* Effects of torrefaction pretreatment on fuel quality and combustion characteristics of biomass: A review. **Fuel**, Sheffield, v. 358, p. 130314, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236123029289>. Acesso em: 02 maio 2024.
- YAMAJI, F. M. *et al.* Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 11-15, 2013. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/111>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- YIN, Y.; WANG, J. Production of biohydrogen. In: **Biofuels and Biorefining**. Nova York, v.1, p. 283-337, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128241165000027>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- YOSHIDA, T. *et al.* Water resistance of torrefied wood pellets prepared by different methods. **Energies**, Basel, v. 14, n. 6, p. 1618, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/6/1618>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- ZHANG, G.; SUN, Y.; XU, Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 82, p. 477-487, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117313242>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- ZHAO, Z. *et al.* Biomass pyrolysis in an argon/hydrogen plasma reactor. **Engineering in life sciences**, Weinheim, v. 1, n. 5, p. 197-199, 2001. Disponível em: [https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1618-2863\(200111\)1:5%3C197::AID-ELSC197%3E3.0.CO;2-8](https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1618-2863(200111)1:5%3C197::AID-ELSC197%3E3.0.CO;2-8). Acesso em: 08 jun. 2022.
- ZHU, X.; LI, Y.; WANG, X. Machine learning prediction of biochar yield and carbon contents in biochar based on biomass characteristics and pyrolysis conditions.

Bioresource technology, Amsterdam, v. 288, p. 121527, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419307576>. Acesso em: 08 jun. 2023.