

RESSALVA

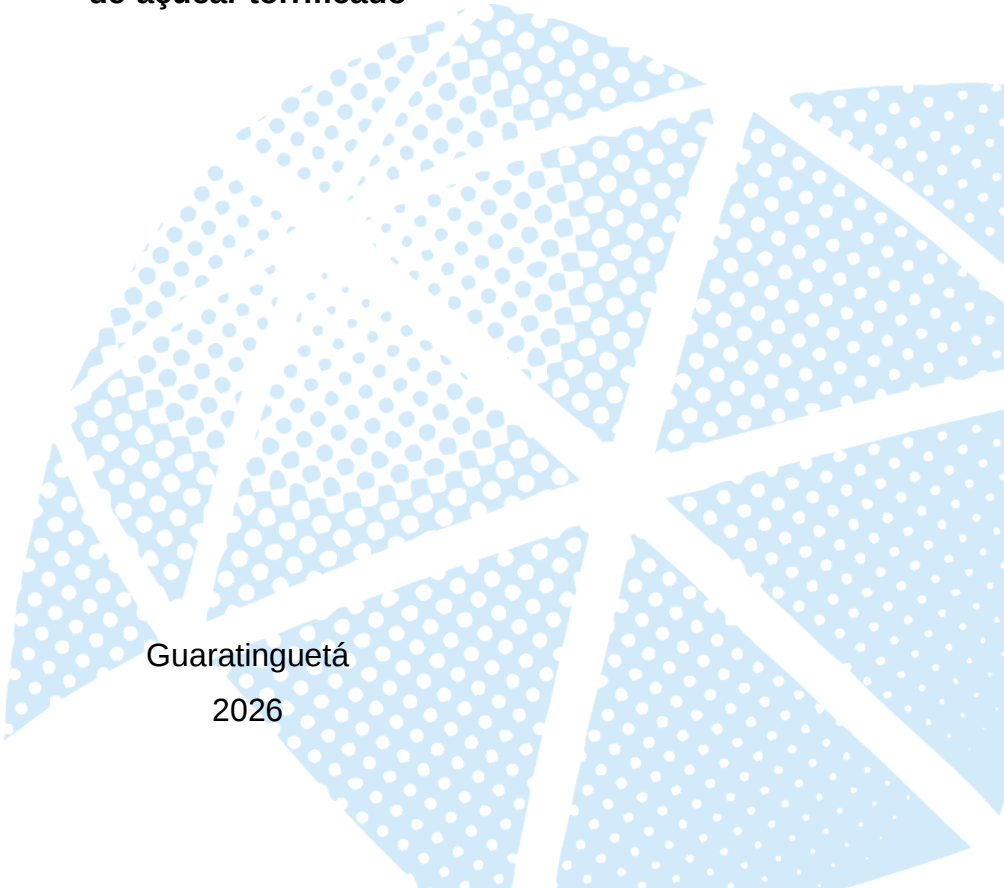
Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir de 25/05/2027

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Engenharia e Ciências- Campus de Guaratinguetá

Millos Julián Enrique Jinete Torres

**Análise do comportamento e das emissões da combustão do bagaço de cana-
de-açúcar torreficado**

Guaratinguetá
2026



Millos Julián Enrique Jinete Torres

**Análise do comportamento e das emissões da combustão do bagaço de cana-
de-açúcar torreficado**

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

Área de Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel Romero Luna

Coorientador: Prof. Dr. Yesid Javier Rueda Ordoñez

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Juliana Esteves Fernandes Cieslinski

Guaratinguetá

2026

T693a	Torres, Millos Julián Enrique Jinete Análise do comportamento e das emissões da combustão do bagaço de cana-de-açúcar torreficado / Julián Enrique Jinete Torres - Guaratinguetá, 2026. 138 f : il. Bibliografia: f. 120-134 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2026. Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel Romero Luna Coorientador: Prof. Dr. Yesid Javier Rueda Ordoñez Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana E. F. Cieslinski 1. Biocombustíveis. 2. Combustão. 3. Energia - Fontes alternativas. 4. Biomassa. I. Título. CDU 662.9 (043)
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A principal contribuição desta pesquisa consiste em demonstrar a viabilidade técnica da combustão do bagaço de cana-de-açúcar torreficado. A investigação busca avaliar a viabilidade técnica desse pré-tratamento térmico, fornecendo evidências experimentais sobre sua influência nos parâmetros de combustão, na estabilidade do processo e na formação de emissões atmosféricas. Entre os potenciais benefícios associados ao uso da biomassa torreficada destacam-se a redução do volume de gases de exaustão, em decorrência da diminuição do teor de umidade do combustível, bem como a possibilidade de redução das emissões de poluentes atmosféricos, como NO_x , SO_2 e material particulado (PM_{10}). Além disso, os resultados obtidos poderão subsidiar novas linhas de pesquisa, incluindo o desenvolvimento de sistemas de combustão específicos para biomassas torreficadas, bem como estimular estudos voltados à torrefação de outras biomassas para aplicação em sistemas de cogeração de energia. A demonstração da efetividade da combustão do bagaço de cana-de-açúcar torreficado poderá gerar impactos em âmbito regional e nacional, considerando a ampla utilização da cogeração de energia a partir da cana-de-açúcar no estado de São Paulo e em outras regiões do Brasil.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The main contribution of this research is to demonstrate the technical feasibility of the combustion of torrefied sugarcane bagasse. The study seeks to evaluate the technical viability of this thermal pretreatment by providing experimental evidence of its influence on combustion parameters, process stability, and the formation of atmospheric emissions. Among the potential benefits associated with the use of torrefied biomass are the reduction in the volume of flue gases due to the lower moisture content of the fuel, as well as the potential reduction in the emissions of atmospheric pollutants, such as NO_x, SO₂, and particulate matter (PM₁₀). Furthermore, the results obtained may support new research directions, including the development of combustion systems specifically designed for torrefied biomass, while also encouraging studies on the torrefaction of other biomass feedstocks for application in combined heat and power (CHP) systems. Demonstrating the effectiveness of the combustion of torrefied sugarcane bagasse may have regional and national impacts, considering the widespread use of sugarcane-based cogeneration systems in the state of São Paulo and other regions of Brazil.

MILLOS JULIÁN ENRIQUE JINETE TORRES

**"ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E DAS EMISSÕES DA COMBUSTÃO DO
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR TORRIFICADO.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Data da defesa: 25/05/2026

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS MANUEL ROMERO LUNA**
Data: 09/06/2026 03:00:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS MANUEL ROMERO LUNA
Orientador - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **JOAO ANDRADE DE CARVALHO JUNIOR**
Data: 10/06/2026 11:18:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JÚNIOR
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **GLAUBER CRUZ**
Data: 08/06/2026 21:19:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. GLAUBER CRUZ
Universidade Federal do Maranhão

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e familiares em geral, que, com seu apoio incondicional ao longo de toda a minha vida, têm sido o combustível que impulsiona meu desejo e meu amor pela vida e pelo conhecimento.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que, mesmo à distância, demonstrou seu apoio e carinho incondicional. Principalmente aos meus pais, Yasmin Torres e Julián Jinete, meus irmãos Lia e Mario, meus avós Julia e Mario e minha tia Claudia.

Aos meus orientadores Carlos Romero, Yesid Ordoñez e Juliana Cieslinski pelo apoio durante o mestrado. Especialmente ao professor Carlos pela paciência, apoio acadêmico e pessoal.

Aos meus amigos e colegas Juan Arteaga, Gabriel Pio e George, que facilitaram esse processo, me ajudaram e me receberam no Brasil.

À Ana Maria pelo apoio incondicional, acolhimento e orientação no Brasil.

À minha parceira Emilia, por todo o apoio e companhia.

A toda a equipe técnica da Faculdade de Itapeva.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

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

“Hay hombres que luchan un día y son buenos; hay otros que luchan un año y son mejores; hay quienes luchan muchos años y son muy buenos, pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles” (Bertolt Brecht, tradução nossa).

RESUMO

O crescente reconhecimento da biomassa como uma importante fonte de energia renovável deslocou o foco da sua disponibilidade para o aprimoramento da eficiência de sua conversão e da viabilidade de sua aplicação em larga escala. Nesse contexto, compreender como os pré-tratamentos termoquímicos influenciam o comportamento da combustão é fundamental. No entanto, ainda são limitados os estudos que avaliam o desempenho da combustão de biomassas torrificadas e densificadas em condições representativas de aplicações práticas, em vez de se basearem exclusivamente em análises termogravimétricas. Este estudo investigou os efeitos combinados da torrefação e da briquetagem sobre as propriedades físico-químicas e o desempenho da combustão do bagaço de cana-de-açúcar. A torrefação foi realizada em diferentes temperaturas, seguida da densificação e de uma caracterização abrangente do material. Foram conduzidas análises termogravimétricas e ensaios de combustão em escala de bancada para avaliar o comportamento da combustão e seus indicadores de desempenho. Adicionalmente, foi realizada uma análise de correlação de Pearson para avaliar as relações entre as propriedades químicas e físicas. Os resultados mostraram que a torrefação promoveu um aumento progressivo da razão combustível (*fuel ratio*), indicando maior grau de carbonização; entretanto, esse aumento não se traduziu diretamente em melhor desempenho da combustão. Em contrapartida, o maior desempenho de combustão, indicado pelo índice de combustão, foi obtido sob condições de torrefação suave (200 – 220 °C). Além disso, as amostras submetidas às temperaturas mais elevadas de torrefação (240 – 260 °C) apresentaram menor integridade estrutural, resultando em uma combustão mais rápida, porém menos estável após a densificação. De modo geral, os resultados demonstram que o melhor desempenho da combustão de biomassas torrificadas e densificadas não é alcançado nas maiores temperaturas de torrefação, mas sim em uma faixa de condições na qual se mantém um equilíbrio entre o aprimoramento químico do combustível e a preservação de sua estrutura física.

Palavras-chave: Biocombustível sólido; Energia sustentável; Descarbonização; Briquetes; Combustão em leito fixo; Pré-tratamentos.

ABSTRACT

The growing recognition of biomass as an important renewable energy source has shifted the focus from its availability to improving its conversion efficiency and enabling its large-scale application. In this context, understanding how thermochemical pretreatments influence combustion behavior is essential. However, studies evaluating the combustion performance of torrefied and densified biomass under conditions representative of practical applications, rather than relying exclusively on thermogravimetric analyses, remain limited. This study investigated the combined effects of torrefaction and briquetting on the physicochemical properties and combustion performance of sugarcane bagasse. Torrefaction was carried out at different temperatures, followed by densification and comprehensive material characterization. Thermogravimetric analyses and bench-scale combustion tests were performed to evaluate combustion behavior and performance indicators. In addition, Pearson correlation analysis was conducted to assess the relationships between the chemical and physical properties. The results showed that torrefaction progressively increased the fuel ratio, indicating a higher degree of carbonization; however, this increase did not directly translate into improved combustion performance. Instead, the highest combustion performance, as indicated by the combustion index, was achieved under mild torrefaction conditions (200 – 220 °C). Furthermore, samples torrefied at higher temperatures (240 – 260 °C) exhibited reduced structural integrity, resulting in faster but less stable combustion after densification. Overall, the findings demonstrate that the best combustion performance of torrefied and densified biomass is not achieved at the highest torrefaction temperatures, but rather within a temperature range in which a balance between the chemical upgrading of the fuel and the preservation of its physical structure is maintained.

Keywords: Solid biofuel; Sustainable energy; Decarbonization; Briquettes; Fixed-bed combustion; Pre-treatments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética mundial por cenário até 2050	23
Figura 2 - Matriz energética mundial em 2022	24
Figura 3 - Matriz elétrica mundial em 2022	24
Figura 4 - Demanda global total de energia por combustível e cenário, 2010 - 2050	26
Figura 5 - Participação das fontes renováveis na matriz energética	27
Figura 6 - Matriz energética brasileira no horizonte decenal	29
Figura 7 - Geração total de eletricidade por fonte no horizonte decenal	29
Figura 8 - Matriz elétrica Brasileira 2024	30
Figura 9 - Classificação dos principais tipos de biomassa	31
Figura 10 - Ciclo energético da biomassa	32
Figura 11 - Uso de bioenergia por setor globalmente no Cenário Net Zero, 2010-2030	34
Figura 12 - Pré-tratamentos de biomassa lignocelulósica	38
Figura 13 - Propriedades físico-químicas da biomassa lignocelulósica relevantes para diferentes processos	39
Figura 14 - Usinas de produção de energia elétrica com biomassa no Brasil	45
Figura 15 - Usinas termoeletricas de BCA/Brasil e BCA/SP	45
Figura 16 - Conversão termoquímica e bioquímica de biomassa lignocelulósica	47
Figura 17 - Classificação dos métodos de torrefação	50
Figura 18 - Variação das propriedades da biomassa após passar por torrefação	52
Figura 19 - Vantagens e desvantagens das diferentes atmosferas de torrefação	54
Figura 20 - A combustão de uma pequena partícula de biomassa ocorre em etapas distintas	57
Figura 21 - Diagrama de fluxo da metodologia	64
Figura 22 - Diagrama de fluxo da preparação da biomassa	65
Figura 23 - Esquema da bancada de torrefação de biomassa em leito fixo	67
Figura 24 - Esquema do equipamento de briquetagem	69
Figura 25 - Curvas típicas "temperatura x tempo" e "porcentagem de massa consumida x tempo" com seus pontos característicos, para obtenção do ICOM	70
Figura 26 - Esquema e montagem da bancada experimental de combustão de briquetes	71
Figura 27 - Esquema do fluxo de ar durante a combustão	72

Figura 28 - Relações O/C e H/C atômicas das amostras de BCA.....	80
Figura 29 - Comportamento dos rendimentos mássico e energético, e poder calorífico das amostras torrificadas nas diferentes faixas de temperaturas.....	82
Figura 30 - Curvas TG/DTG do bagaço de cana-de-açúcar torificado com taxa de aquecimento de 10 °C/min	86
Figura 31 - Índice de combustão (Curvas TG/DTG) e Índice de reatividade	90
Figura 32 - Briquetes de bagaço de cana-de-açúcar torrado e <i>in natura</i>	94
Figura 33 - Comportamento da temperatura em função do tempo durante a combustão. (a) Detalhe da temperatura máxima atingida; (b) detalhe do tempo de ignição dos briquetes	98
Figura 34 - Massa normalizada em função do tempo durante a combustão. (a) Detalhe do início da decomposição da massa; (b) Detalhe da principal variação na perda de massa das amostras	102
Figura 35 - Parâmetros de avaliação do Índice de Combustão (ICOM) segundo Quirino e Brito (1991).....	104
Figura 36 - Emissões de (a) monóxido de carbono (CO), (b) dióxido de carbono (CO ₂) e (c) óxidos de nitrogênio (NO _x) durante os ensaios de combustão de briquetes para todas as amostras	109
Figura 37 - Gráfico da correlação de Pearson para as amostras torrificadas entre 200 e 260 °C	113
Figura 38 - Gráficos das regressões lineares da (a) relação entre combustível e (b) índice de combustão em função da temperatura de torrefação	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais indicadores econômicos e energéticos por país/região, 2023 .	25
Tabela 2 - Evolução da Oferta Interna de Energia no horizonte decenal	28
Tabela 3 - Composição de algumas biomassas lignocelulósicas.....	35
Tabela 4 - Caracterização físico-química do bagaço de cana-de-açúcar <i>in natura</i> e resultados analíticos de outros estudos bibliográficos	77
Tabela 5 - Análises imediata e elementar do bagaço de cana-de-açúcar torreficado	78
Tabela 6 - Características de combustão do bagaço de cana-de-açúcar a 10 °C/min	91
Tabela 7 - Propriedades físicas dos briquetes	95
Tabela 8 - Dados experimentais medidos durante a combustão para o cálculo do ICOM	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matérias-primas de biomassa lignocelulósica disponíveis para fins energéticos.....	37
Quadro 2 - Resumo das propriedades físico-químicas da biomassa lignocelulósica e seus métodos de caracterização analítica.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCA	Bagaço de cana de açúcar
GEE	Gases de efeito estufa

LISTA DE SÍMBOLOS

MV	Material volátil (%)
CF	Carbono fixo (%)
PCS	Poder calorífico de superior (MJ/kg)
RM	Rendimento mássico (%)
RE	Rendimento energético (%)
Da	Densidade aparente (kg/m ³)
De	Densidade energética (MJ/ m ³)
ICOM	Índice de combustão dos briquetes (adimensional)
S	Índice de combustão (TGA) (% ² /(min ² ·K ³))
T _i	Temperatura de ignição (°C)
T _b	Temperatura de burnout (°C)
FR	Relação de combustível (adimensional)
BR	Taxa de queima (%massa/min)
T _{maxT}	Tempo em atingir a temperatura máxima na combustão (Segundos)
T _{max}	Temperatura máxima (°C)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS.....	20
1.1.1	Objetivo geral	20
1.1.2	Objetivos específicos	20
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1	ENERGIA.....	21
2.1.1	Matriz energética mundial	22
2.1.2	Matriz energética do Brasil	26
2.2	BIOMASSA	30
2.2.1	Energia de biomassa (<i>Bioenergy</i>)	31
2.2.2	Biomassa lignocelulósica	35
2.2.3	Propriedades físico-químicas	38
2.3	CANA-DE-AÇÚCAR	44
2.3.1	Bagaço de cana-de-açúcar	44
2.3.2	Bagaço de cana-de-açúcar na produção de energia	44
2.4	ROTAS DE CONVERSÃO DE BIOMASSA	47
2.4.1	Conversão termoquímica.....	48
2.4.1.1	<i>Combustão direta de biomassa</i>.....	48
2.4.1.2	<i>Pirólise da biomassa</i>	48
2.4.1.3	<i>Gaseificação da biomassa</i>	49
2.5	TORREFAÇÃO	49
2.5.1	Torrefação seca	53
2.6	DENSIFICAÇÃO	54
2.6.1	DENSIFICAÇÃO DE BIOMASSA TORRIFICADA	55
2.7	COMBUSTÃO.....	56
2.7.1	COMBUSTÃO DE BIOMASSA.....	56
2.7.2	COMBUSTÃO DE BIOMASSA TORRIFICADA.....	57
2.8	EMISSÕES	60
2.8.1	EMISSÕES DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA	60
2.8.2	EMISSÕES DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA TORRIFICADA	62
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	64
3.1	PREPARAÇÃO DA BIOMASSA	64

3.2	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	66
3.3	BANCADAS EXPERIMENTAIS	66
3.3.1	Torrefação de biomassa	66
3.3.2	Densificação de biomassa - Briquetagem	68
3.3.3	Combustão de briquetes de biomassa	69
3.3.4	Análise termogravimétrica	73
3.3.5	Análise correlacional	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO COMBUSTÍVEL	76
4.2	AVALIAÇÃO DA TORREFAÇÃO	82
4.3	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	85
4.4	ANÁLISE DOS BRIQUETES	93
4.5	ANÁLISE DA COMBUSTÃO	98
4.6	ANÁLISE DAS EMISSÕES DA COMBUSTÃO DE BRIQUETES	108
4.7	AVALIAÇÃO DA ANÁLISE CORRELACIONAL	112
5	TRABALHOS FUTUROS	118
6	CONCLUSÕES	119
	REFERÊNCIAS	120
	DADOS CURRICULARES	135

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de energia renovável está crescendo especialmente devido a uma combinação de fatores tais como a redução gradual das reservas de combustível fóssil, o aumento da demanda mundial de energia e o aumento das emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) decorrentes do uso de combustíveis fósseis (Abbasi-Atibeh, 2014; Saidur et al., 2011). Para satisfazer a grande demanda energética visando à redução das emissões de GEE foram propostas diversas alternativas, entre as quais se destaca o uso de biomassa. No mundo a biomassa é considerada a quarta fonte de energia e tem o potencial de resolver os problemas da demanda de energia e reduzir as emissões de GEE (Saidur et al., 2011; Tinwala et al., 2015).

A energia contida na biomassa pode ser aproveitada através de processos de conversão termoquímica (combustão, gaseificação e pirólise), no entanto, este tipo de conversão apresenta alguns desafios devido a algumas deficiências próprias da biomassa tais como um elevado teor de umidade, baixo poder calorífico, baixa massa específica, material muito heterogêneo, baixa relação carbono/oxigênio entre outros (Silva et al., 2018; Tripathi et al., 2016).

Essas deficiências podem ser superadas através de métodos de pré-tratamento. A torrefação é um processo de pré-tratamento que pode melhorar as características da biomassa para fins energéticos, principalmente pela redução do teor de umidade e aumento do poder calorífico. A torrefação é o processo térmico que consiste no aquecimento da biomassa em uma temperatura relativamente baixa, geralmente no intervalo entre 200°C e 300°C, em atmosfera inerte ou parcialmente oxidante, usando uma baixa razão de aquecimento ($< 50^{\circ}\text{C}/\text{min}$) (Bonassa et al., 2018; Chen et al., 2015).

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 queima individual ou misturada com carvão mineral para geração de energia. O uso de biomassa torrificada para geração de energia elétrica será a forma mais sustentável de usar a biomassa devido à redução significativa dos GEE, devido a essa importância, a literatura apresenta diversos estudos sobre a combustão de biomassa torrificada.

No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma importante fonte de energia, com uma representatividade de 15,4% (ano base 2022) das fontes de energias renováveis na matriz energética brasileira (EPE, 2023). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (Estimativa em abril 2026) (CONAB, 2026), a produção de cana-de-açúcar estimada para a safra 2026/2027 é de 709,1 milhões de toneladas, considerando que 1 tonelada de cana gera aproximadamente 250 kg de bagaço, haveria uma disponibilidade de 177,2 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar, entretanto, exibe desvantagens tais como um elevado teor de umidade (>50%), natureza higroscópica, baixa massa específica e um poder calorífico baixo (Conag et al., 2018), geralmente entre 17 e 18,5 MJ/kg (Conag et al., 2019; Pérez et al., 2025), devido a isso a combustão direta do BCA para geração de energia exibe baixos rendimentos (ao redor de 26%) (Adeniyi et al., 2019).

Dessa forma, a implementação do processo de torrefação do BCA poderia aumentar a eficiência do sistema de cogeração das usinas sucroalcooleiras que vendem energia elétrica. A grande maioria dos trabalhos citados utilizam técnicas analíticas tais como a análise termogravimétrica (Granados et al., 2017; Joshi et al., 2015; Manatura, 2020; Patel et al., 2011; Shehzad et al., 2020), sendo muito escassos os trabalhos que avaliam a combustão da biomassa torreficada em escala de bancada. Embora a torrefação do bagaço de cana tenha sido amplamente estudada sob a ótica de propriedades físico-químicas e termogravimétricas, ainda são limitados os estudos que integram torrefação, combustão em bancada e emissões gasosas em condições comparáveis ao uso térmico direto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar as propriedades físico-químicas, o comportamento da combustão e das emissões do bagaço de cana-de-açúcar torreficado

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver e construir um sistema experimental de combustão à pressão atmosférica e convecção natural para a queima de briquetes de bagaço de cana-de-açúcar.
- Caracterizar as propriedades físicas e químicas do bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e torreficado por meio de métodos analíticos (Análise imediata, elementar, composicional, poder calorífico, termogravimétrica).
- Realizar ensaios de torrefação do bagaço de cana-de-açúcar utilizando nitrogênio como gás de arrasto, avaliando a influência da temperatura (200 – 300 °C, intervalos de 20 °C) sobre as propriedades físicas e químicas do material.
- Analisar, por meio de analisador de gases, as emissões gasosas (CO, CO₂, NO_x) geradas durante a combustão de briquetes de bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e torreficado, avaliando o efeito das condições de torrefação.

6 CONCLUSÕES

Em termos mecânicos, os resultados indicaram que a melhoria química promovida pelo pré-tratamento térmico apenas se traduz em vantagem energética quando são simultaneamente preservadas condições adequadas de compactação e estabilidade estrutural. O principal achado deste trabalho demonstra que, embora a torrefação eleve a qualidade energética do bagaço de cana-de-açúcar, o benefício efetivo desse pré-tratamento, quando associado à briquetagem, depende criticamente da integridade do material densificado. Dessa forma, a condição mais adequada de torrefação não corresponde necessariamente à maior severidade térmica, mas à faixa em que se estabelece o melhor equilíbrio entre o aprimoramento químico e o desempenho físico durante a combustão.

REFERENCIAS

- AAMIRI, O. B. *et al.* An “in-situ binding” approach to produce torrefied biomass briquettes. **Bioengineering**, Basel, v. 6, n. 4, p. 87, 2019.
- 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**, Amsterdam. v. 115, p. 841–849, 2014.
- ABDULYEKEEN, K. A. *et al.* Torrefaction of organic municipal solid waste to high calorific value solid fuel using batch reactor with helical screw induced rotation. **Bioresource Technology**, Amsterdam. v. 363, n. 127974, 2022.
- ADENIYI, A. G.; IGHALO, J. O.; ABDULSALAM. A. Modeling of integrated processes for the recovery of the energetic content of sugar cane bagasse. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Hoboken. v. 13, n. 4, p. 1057–1067, 2019.
- ALCHALIL. *et al.* Toward sustainable energy: Fuel properties and combustion behavior of torrefied king grass at various briquetting pressures. **Journal of Ecological Engineering**, Warsaw. v. 26, n. 11, p. 299–308, 2025.
- ALIYU, M. *et al.* Effect of compaction pressure and biomass type (rice husk and sawdust) on some physical and combustion properties of briquettes. **Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment**, Maiduguri. v. 17, n. 1, p. 61-70, 2021.
- ALOKIKA. *et al.* Cellulosic and hemicellulosic fractions of sugarcane bagasse: potential, challenges and future perspective. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam. v. 169, p. 564–582, 2021.
- ATAN, A.; NAZARI, M. M.; AZIZAN, F. A. Effect of torrefaction pre-treatment on physical and combustion characteristics of biomass composite briquette from rice husk and banana residue. **Matec Web Of Conferences**, Arau. v. 150, 2018.
- ANSAR. *et al.* Physical and chemical properties of a mixture fuel between palm sap (*arenga pinnata merr*) bioethanol and premium fuel. **ACS Omega**, Washington, D.C., v. 5, n. 22, p. 12745–12750, 2020.
- ANUKAM, A. *et al.* Influence of torrefaction on the conversion efficiency of the gasification process of sugarcane bagasse. **Bioengineering**, Basel, v. 4, n. 1, p. 22, 2017.
- ARACHCHIGE, U. S. P. R.; KUMARASINGHE, U. **Greenhouse Gas Accounting and Emission Control**. Sri Lanka: Nine Publishing, 2021.
- ARIYANI S.A. *et al.* Parameters of protein metabolism in goats fed diets with different portion of sugarcane bagasse. **Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture**, Semarang, v. 39, p. 111–116, 2014.

ARTEAGA, J.A. **Torrefação seca oxidativa do bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1755-20**: test method for ash in biomass. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E872-24**: test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2024.

BAI, Y. *et al.* Combustion properties and pollutant analysis of coal-blended bio-heavy oil fuel. **RSC Advances**, Cambridge, v. 14, n. 7, p. 4362–4368, 2024.

BANU J, R. *et al.* Lignocellulosic biomass pretreatment for enhanced bioenergy recovery: effect of lignocelluloses recalcitrance and enhancement strategies. **Frontiers in Energy Research**, Lausanne, v. 9, 2021.

BARONTINI, F.; BIAGINI, E.; TOGNOTTI, L. Influence of torrefaction on biomass devolatilization. **ACS Omega**, Washington, D.C., v. 6, n. 31, p. 20264–20278, 2021.

BERGERON, C.; CARRIER, D.; RAMASWAMY, S. **Biorefinery co-products: phytochemicals, primary metabolites and value-added biomass processing**. Oxford: John Wiley & Sons, 2012.

BHAGWANRAO, S. V.; SINGARAVELU, M. Bulk density of biomass and particle density of their briquettes. **International Journal of Agricultural Engineering**, Muzaffarnagar, v. 7, n. 1, p. 221–224, 2014.

BONASSA, G. *et al.* Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 82, p. 2365–2378, 2018.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentals of Thermodynamics**. 7. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

BOTELHO, T. *et al.* Evaluation of the combustion characteristics of raw and torrefied grape pomace in a thermogravimetric analyzer and in a drop tube furnace. **Fuel**, Amsterdam, v. 212, p. 95–100, 2018.

BRETHAUER, S.; STUDER, M. H. Biochemical conversion processes of lignocellulosic biomass to fuels and chemicals – a review. **CHIMIA**, Bern, v. 69, n. 10, p. 572, 2015.

BRIDGWATER, A. V.; BOOCOCK, D. G. B. **Developments in thermochemical biomass conversion**: volume 1 / volume 2. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

BUKSH, K. *et al.* Comparative analysis of combustion behavior of raw and torrefied biomass pellets in a customized high-temperature flat flame furnace. **Fuel**, Amsterdam v. 404, n. 136301, 2026.

BURNHAM, A. K. **Global Chemical Kinetics of Fossil Fuels**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

BUSTAMANTE, G. V. *et al.* Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, Ciudad de México, v. 7, n. 38, p. 5–24, 2017.

CAI, J. *et al.* Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 76, p. 309–322, 2017.

CAPAREDA, S. **Introduction to Biomass Energy Conversions**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor & Francis Group, 2014.

CAPUTO, A. C. *et al.* Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 28, n. 1, p. 35–51, 2005.

CARVALHO, S. T. M. *et al.* Acoustic characterization of sugarcane bagasse particleboard panels (*Saccharum officinarum* L). **Materials Research**, Warrendale, v. 18, n. 4, p. 821–827, 2015.

CHEN, D. *et al.* Investigation of biomass torrefaction based on three major components: hemicellulose, cellulose, and lignin. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 169, p. 228–237, 2018a.

CHEN, H. Chemical composition and structure of natural lignocellulose. *In*: CHEN, H. **Biotechnology of lignocellulose**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. cap. 2, p. 25-71.

CHEN, W. *et al.* Hygroscopic transformation of woody biomass torrefaction for carbon storage. **Applied Energy**, Oxford, v. 231, p. 768–776, 2018b.

CHEN, W. *et al.* Progress in biomass torrefaction: principles, applications and challenges. **Progress in Energy and Combustion Science**, Amsterdam, v. 82, n. 100887, 2021a.

CHEN, W. *et al.* Two-step thermodegradation kinetics of cellulose, hemicelluloses, and lignin under isothermal torrefaction analyzed by particle swarm optimization. **Energy Conversion and Management**, Kidlington, v. 238, p. 114116, 2021b.

CHEN, W.; KUO, P. Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass. **Energy**, Amsterdam, v. 36, n. 2, p. 803–811, 2011.

CHEN, W.; PENG, J.; BI, X. T. A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 44, p. 847–866, 2015.

CHENG, W. *et al.* Effect of oxidative torrefaction on particulate matter emission from agricultural biomass pellet combustion in comparison with non-oxidative torrefaction. **Renewable Energy**, Oxford, v. 189, p. 39–51, 2022.

CIOLKOSZ, D.; WALLACE, R. A review of torrefaction for bioenergy feedstock production. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, London, v. 5, n. 3, p. 317–329, 2011.

COLLARD, F; BLIN, J. A review on pyrolysis of biomass constituents: mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 38, p. 594–608, 2014.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: 1º levantamento – Safra 2026/27**. Brasília, DF: CONAB, 2026.

CONAG, A. T. *et al.* Energy densification of sugarcane leaves through torrefaction under minimized oxidative atmosphere. **Energy for Sustainable Development**, Amsterdam, v. 42, p. 160–169, 2018.

CONAG, A. T. *et al.* Predictive HHV model for raw and torrefied sugarcane residues. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 10, n. 7, p. 1929–1943, 2019.

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**, Kidlington, v. 82, p. 2426–2432, 2018.

DACRES, O. D. *et al.* Gas-pressurized torrefaction of biomass wastes: The effect of varied pressure on pyrolysis kinetics and mechanism of torrefied biomass. **Fuel**, Amsterdam, v. 276, n. 118132, 2020.

DAHLQUIST, E. **Technologies for converting biomass to useful energy: combustion, gasification, pyrolysis, torrefaction and fermentation**. Boca Raton: CRC Press, 2013.

DANTAS, G. A.; LEGEY, L. F. L.; MAZZONE, A. Energy from sugarcane bagasse in Brazil: An assessment of the productivity and cost of different technological routes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 32, p. 356–364, 2013.

DAVIES, J. F.; WILSON, K. R. Heterogeneous Reactions in Aerosol. *In*: FAUST, J. A.; HOUSE, J. E. **Physical Chemistry of Gas-Liquid Interfaces**. Amsterdam: Elsevier, 2018. cap. 13, p. 403–433.

DAVIES, R. M.; DAVIES, O. A. Effect of Density on the Some Thermal Characteristics of Briquettes at Different Levels of Binder, Pressure and Particle Sizes. **International Journal of Emerging Engineering Research and Technology**, Hyderabad, v. 5, n. 7, p. 1–7, 2017.

DHUNGANA, A.; BASU, P.; DUTTA, A. Effects of Reactor Design on the Torrefaction of Biomass. **Journal of Energy Resources Technology**, New York City, v. 134, n. 4, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 51900:2023-12**: prüfung fester und flüssiger brennstoffe – bestimmung des brennwertes mit dem bombenkalorimeter und berechnung des heizwertes. Berlin: DIN Media GmbH, 2023.

DMITRIEV, A. M. *et al.* Propylene oxide addition effect on the chemical speciation of a fuel-rich premixed n-heptane/toluene flame. **ACS Omega**, Washington, D.C., v. 7, n. 50, p. 46900–46914, 2022.

SANTOS, M. F. N. *et al.* Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum* spp.) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 64, p. 345–355, 2014.

DUPONT, C. *et al.* Heat capacity measurements of various biomass types and pyrolysis residues. **Fuel**, Amsterdam, v. 115, p. 644–651, 2014.

ELING, J. *et al.* Densification of raw and torrefied biomass: A review. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 184, p. 107210, 2024.

EPE – Empresa de pesquisa energética. **Matriz energética e elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

EPE – Empresa de pesquisa energética. **Balanco energético nacional 2025**: relatório síntese – ano base 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

EPE – Empresa de pesquisa energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2034**. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

EPE - Empresa de pesquisa energética; MME – Ministério de minas e energia. **Caderno de premissas demográficas e econômicas**: estudos do plano decenal de expansão de energia 2035. Rio de Janeiro: EPE; MME, 2025.

ERLICH, C. *et al.* Thermochemical characteristics of sugar cane bagasse pellets. **Fuel**, Amsterdam, v. 84, n. 5, p. 569–575, 2005.

FRIEDLINGSTEIN, P. *et al.* Global carbon budget 2024. **Earth System Science Data**, Göttingen, v. 17, n. 3, p. 965–1039, 2025.

FU, J. *et al.* Torrefaction, temperature, and heating rate dependencies of pyrolysis of coffee grounds: Its performances, bio-oils, and emissions. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 345, p. 126346, 2022.

GAO, H. *et al.* Effect of pretreatment on the pyrolysis kinetics of corn stalk: comparison of inert, oxidative, and wet torrefaction. **BioEnergy Research**, New York, v. 18, n. 1, p. 12, 2024.

GARCÍA-PÉREZ, M.; CHAALA, A.; ROY, C. Vacuum pyrolysis of sugarcane bagasse. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 111–136, 2002.

GOYAL, H. B.; SEAL, D.; SAXENA, R. C. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 12, n. 2, p. 504–517, 2008.

GRANADO, M. P. P. *et al.* Effect of torrefaction on the properties of briquettes produced from agricultural waste. **Bioresource Technology Reports**, Amsterdam, v. 21, 2023.

GRANADOS, D. A. *et al.* Study of reactivity reduction in sugarcane bagasse as consequence of a torrefaction process. **Energy**, Cleveland, v. 139, p. 818–827, 2017.

GRANADOS, D. A. *et al.* Investigation into torrefaction kinetics of biomass and combustion behaviors of raw, torrefied and char samples. **Biofuels**, Abingdon, v. 12, n. 6, p. 633–643, 2021.

GROVER, P. D.; MISHRA, S. K. **Biomass Briquetting: Technology and Practices**. Bangkok: FAO, 1996.

HAYKIRI-ACMA, H.; YAMAN, S.; KUCUKBAYRAK, S. Combustion characteristics of torrefied biomass materials to generate power. *In*: IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering, 4, 2016, Oshawa. **2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE)**. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics: 2016. p. 226-230.

HU, J. *et al.* Combustions of torrefaction-pretreated bamboo forest residues: Physicochemical properties, evolved gases, and kinetic mechanisms. **Bioresource Technology**, London, v. 304, p. 122960, 2020.

HUANG, S. *et al.* Torrefied herb residues in nitrogen, air and oxygen atmosphere: Thermal decomposition behavior and pyrolytic products characters. **Bioresource Technology**, London, v. 342, p. 125991, 2021.

IBITOYE, S. E. *et al.* Improving the combustion properties of corncob biomass via torrefaction for solid fuel applications. **Journal of Composites Science**, Basel, v. 5, n. 10, 2021.

IEA – International Energy Agency. **Bioenergy use by sector globally in the Net Zero Scenario, 2010-2030**. Paris: IEA, 2023.

IEA – International Energy Agency. **Net zero roadmap: a global pathway to keep the 1.5 °C goal in reach**. Paris: IEA, 2023.

IEA – International Energy Agency. **World energy outlook 2023**. Paris: IEA, 2023.

IEA – International Energy Agency. **World energy outlook 2024**. Paris: IEA, 2024.

IEA – International Energy Agency. **Share of renewable electricity generation by technology, 2000-2028**. Paris: IEA, 2024.

IVANOVSKI, M. *et al.* Determination of the kinetics and thermodynamic parameters of lignocellulosic biomass subjected to the torrefaction process. **Materials**, Basel, v. 14, n. 24, 2021.

JAVANMARD, A. *et al.* Torrefied biomass as a platform for sustainable energy and environmental applications: Process optimization, reactor design, and functional material development. **Process Safety and Environmental Protection**, Amsterdam, v. 202, p. 107643, 2025.

JOSHI, Y. *et al.* Torrefaction: Unit operation modelling and process simulation. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 74, p. 83–88, 2015.

KAI, X. *et al.* Effect of torrefaction on rice straw physicochemical characteristics and particulate matter emission behavior during combustion. **Bioresource Technology**, London, v. 278, p. 1–8, 2019.

KALIFA, M. A. *et al.* Characterization and evaluation of torrefied sugarcane bagasse to improve the fuel properties. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, Amsterdam, v. 8, 2024.

KETHOBILE, E.; KETLOGETSWE, C.; GANDURE, J. Torrefaction of non-oil *Jatropha curcas* L. (*Jatropha*) biomass for solid fuel. **Heliyon**, London, v. 6, n. 12, p. e05657, 2020.

KLASS, D. L. Biomass as an Energy Resource. **Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals**. San Diego, p. 29-50, 1998. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/biomass-for-renewable-energy-and-fuels-2oruihxr83.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2025.

KOPPEJAN, J.; VAN LOO, S. **The handbook of biomass combustion and co-firing**. London: Routledge, 2012.

KRIŽAN, P. *et al.* Behavior of beech sawdust during densification into a solid biofuel. **Energies**, Basel, v. 8, n. 7, p. 6382–6398, 2015.

KUMAR, P. *et al.* Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, D.C., v. 48, n. 8, p. 3713–3729, 2009.

LAM, P. S.; SOKHANSANJ, S. Engineering properties of biomass. *In*: SHASTRI, Y.; HANSEN, A. **Engineering and science of biomass feedstock production and provision**. New York: Springer New York, 2014. cap. 2, p. 17–35.

LASEK, J. A. *et al.* The combustion of torrefied biomass in commercial-scale domestic boilers. **Renewable Energy**, Oxford, v. 216, 2023.

LATIF, N. S. A.; ONG, M. Y.; NOMANBHAY, S. Hydrothermal liquefaction of Malaysia's algal biomass for high-quality bio-oil production. **Engineering in Life Sciences**, Weinheim, v. 19, n. 4, p. 246–269, 2019.

LI, H. *et al.* Torrefaction of sawdust in a fluidized bed reactor. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 453–458, 2012.

LI, X. *et al.* Effect of oxidative torrefaction on high temperature combustion process of wood sphere. **Fuel**, Amsterdam, v. 286, p. 119379, 2021.

LIN, Y. *et al.* Thermodegradation characterization of hardwoods and softwoods in torrefaction and transition zone between torrefaction and pyrolysis. **Fuel**, Amsterdam, v. 310, p. 122281, 2022.

LU, H. *et al.* Integration of Biomass Torrefaction and Gasification based on Biomass Classification: A Review. **Energy Technology**, Weinheim, v. 9, n. 5, 2021.

LU, J.; CHEN, W. Investigation on the ignition and burnout temperatures of bamboo and sugarcane bagasse by thermogravimetric analysis. **Applied Energy**, Kidlington, v. 160, p. 49–57, 2015.

LU, X. *et al.* Study on the effect of torrefaction on pyrolysis kinetics and thermal behavior of cornstalk based on a combined approach of chemical and structural analyses. **ACS Omega**, Washington, D.C., v. 7, n. 16, p. 13789–13800, 2022.

LYND, L. R. *et al.* Bioenergy and African transformation. **Biotechnology for Biofuels**, London, v. 8, n. 1, p. 18, 2015.

MA, Y. *et al.* Ignition and combustion characteristic of B-Mg alloy powders. **Materials**, Basel, v. 15, n. 8, p. 2717, 2022.

MA, Z. *et al.* Determination of pyrolysis characteristics and kinetics of palm kernel shell using TGA–FTIR and model-free integral methods. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 89, p. 251–259, 2015.

MAGDZIARZ, A.; WILK, M.; STRAKA, R. Combustion process of torrefied wood biomass. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Dordrecht, v. 127, n. 2, p. 1339–1349, 2017.

MAMVURA, T. A.; DANHA, G. Biomass torrefaction as an emerging technology to aid in energy production. **Heliyon**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. e03531, 2020.

MANATURA, K. Inert torrefaction of sugarcane bagasse to improve its fuel properties. **Case Studies in Thermal Engineering**, Amsterdam, v. 19, p. 100623, 2020.

MCALLISTER, S.; CHEN, J.; FERNANDEZ-PELLO, A. C. **Fundamentals of combustion processes**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

MCGRATH, T. E.; CHAN, W. G.; HAJALIGOL, M. R. Low temperature mechanism for the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from the pyrolysis of cellulose.

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Amsterdam, v. 66, n. 1–2, p. 51–70, 2003.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, London, v. 83, n. 1, p. 37–46, 2002.

MI, B. *et al.* Investigating pyrolysis and combustion characteristics of torrefied bamboo, torrefied wood and their blends. **Bioresource Technology**, London, v. 209, p. 50–55, 2016.

MIAO, Z. *et al.* Flow performance of ground biomass in a commercial auger. **Powder Technology**, Amsterdam, v. 267, p. 354–361, 2014.

MICCIO, F. *et al.* Characterization of woody biomass flowability. **Chemical Engineering Transactions**, Milan, v. 24, p. 643–648, 2011.

MORAIS, L. C. *et al.* Thermochemical conversion of sugarcane bagasse: a comprehensive analysis of ignition and burnout temperatures. **Clean Technologies**, Basel, v. 4, n. 4, p. 1127–1137, 2022.

MUNIR, S. *et al.* Thermal analysis and devolatilization kinetics of cotton stalk, sugar cane bagasse and shea meal under nitrogen and air atmospheres. **Bioresource Technology**, Kidlington, v. 100, n. 3, p. 1413–1418, 2009.

NAJAFI, H.; GOLROKH SANI, A.; SOBATI, M. A. A comparative evaluation on the physicochemical properties of sugarcane residues for thermal conversion processes. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 202, p. 117112, 2023.

NANDA, S. *et al.* Characterization of north American lignocellulosic biomass and biochars in terms of their candidacy for alternate renewable fuels. **BioEnergy Research**, New York, v. 6, n. 2, p. 663–677, 2013.

NANDA, S. *et al.* Pathways of lignocellulosic biomass conversion to renewable fuels. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Heidelberg, v. 4, n. 2, p. 157–191, 2014.

NANDA, S. *et al.* Physico-chemical evolution in lignocellulosic feedstocks during hydrothermal pretreatment and delignification. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, Valencia, v. 9, n. 3, p. 295–308, 2015.

NANOU, P. *et al.* The role of lignin in the densification of torrefied wood in relation to the final product properties. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 111, p. 248–262, 2018.

NHUCHHEN, D.; AFZAL, M. HHV Predicting correlations for torrefied biomass using proximate and ultimate analyses. **Bioengineering**, Basel, v. 4, n. 1, p. 7, 2017.

NHUCHHEN, D.; BASU, P.; ACHARYA, B. A comprehensive review on biomass torrefaction. **International Journal of Renewable Energy & Biofuels**, Norristown, p. 1–56, 2014.

NIGHAM, P. Investigation of some factors important for solid-state fermentation of sugar cane bagasse for animal feed production. **Enzyme and Microbial Technology**, New York, v. 12, p. 808–811, 1990.

NIJU, S.; SWATHIKA, M. Delignification of sugarcane bagasse using pretreatment strategies for bioethanol production. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Amsterdam, v. 20, p. 101263, 2019.

OKOLIE, J. A. *et al.* Chemistry and specialty industrial applications of lignocellulosic biomass. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 12, n. 5, p. 2145–2169, 2021.

OLATUNJI, O. O. *et al.* Geospatial investigation of physicochemical properties and thermodynamic parameters of biomass residue for energy generation. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Heidelberg, v. 11, n. 6, p. 2813–2827, 2021.

OLSSON, J. G. *et al.* Alkali metal emission during pyrolysis of biomass. **Energy & Fuels**, Washington, D.C., v. 11, n. 4, p. 779–784, 1997.

OPENSTAX. **College Physics 2e**. 2. ed. Houston: OpenStax, 2022. Disponível em: <https://openstax.org/details/books/college-physics-2e>. Acesso em: 29 jul. 2025.

PANDEY, A. *et al.* Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, Kidlington, v. 74, n. 1, p. 69–80, 2000.

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

PASTOROVA, I. *et al.* Cellulose char structure: a combined analytical Py-GC-MS, FTIR, and NMR study. **Carbohydrate Research**, Kidlington, v. 262, n. 1, p. 27–47, 1994.

PATEL, B.; GAMI, B.; BHIMANI, H. Improved fuel characteristics of cotton stalk, prosopis and sugarcane bagasse through torrefaction. **Energy for Sustainable Development**, Amsterdam, v. 15, n. 4, p. 372–375, 2011.

PEDROSO, D. T. *et al.* Sugarcane Bagasse Torrefaction for Fluidized Bed Gasification. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 13, p. 6105, 2021.

PENG, J. H. *et al.* A study of particle size effect on biomass torrefaction and densification. **Energy & Fuels**, Washington, D.C., v. 26, n. 6, p. 3826–3839, 2012.

PENG, J. H. *et al.* Study on density, hardness, and moisture uptake of torrefied wood pellets. **Energy & Fuels**, Washington, D.C., v. 27, n. 2, p. 967–974, 2013.

PENNISE, D. M. *et al.* Emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants from charcoal making in Kenya and Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Washington, D.C., v. 106, n. D20, p. 24143–24155, 2001.

PÉREZ, N. P. *et al.* Unlocking the potential of sugarcane bagasse: a comprehensive analysis for advanced energy conversion. **Bioresources and Bioprocessing**, Heidelberg, v. 12, n. 1, p. 60, 2025.

PHANPHANICH, M. **Pelleting characteristics of torrefied forest biomass**. 2010. Dissertação (Master of Science) – College of Engineering, University of Georgia, Athens, 2010. Disponível em: <https://openscholar.uga.edu/record/19330>. Acesso em: 28 jul. 2026.

PHANPHANICH, M.; MANI, S. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 1246–1253, 2011.

PIERSA, P. *et al.* An extensive review and comparison of modern biomass torrefaction reactors vs. Biomass pyrolysis—part 1. **Energies**, Basel, v. 15, n. 6, p. 2227, 2022.

PIO, G. A. *et al.* Integration of the torrefaction and briquetting of eucalyptus sawdust to produce a high-quality solid biofuel. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Heidelberg, v. 16, n. 3, p. 105, 2026.

PRADEEP, M.; PANWAR, N. L.; DIVYANGKUMAR, N. Torrefaction of agricultural biomass: A state-of-the-art review on transforming waste into clean energy. **Energy** **360**, Amsterdam, v. 3, p. 100023, 2025.

PRIMADITA, D. Septa.; KUMARA, I. N. S.; ARIASTINA, W. G. A review on biomass for electricity generation in Indonesia. **Journal of Electrical, Electronics and Informatics**, Denpasar, v. 4, n. 1, p. 1, 2020.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**, Brasília, 1991.

RAINEY, T. J.; COVEY, G.; SHORE, D. An analysis of Australian sugarcane regions for bagasse paper manufacture. **International Sugar Journal**, London, v. 108, n. 1295, p. 640–644, 2006.

RAINEY, T. J.; CLARK, N. An overview of bagasse as a resource for the Australian paper industry. *In*: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 26, 2004. **Proceedings of the 26th Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**. Australia: Publishing Project Management, 2004. p. 1–8.

RAMACHANDER, J. *et al.* An experimental assessment on the influence of high fuel injection pressure with ternary fuel (diesel–mahua methyl ester–pentanol) on performance, combustion, and emission characteristics of common rail direct injection diesel engine. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 29, n. 1, p. 119–132, 2022.

REINOSO, F. A. M. *et al.* Fate of p-hydroxycinnamates and structural characteristics of residual hemicelluloses and lignin during alkaline-sulfite chemithermomechanical

pretreatment of sugarcane bagasse. **Biotechnology for Biofuels**, London, v. 11, n. 1, p. 153, 2018.

REN, S. *et al.* Thermal behaviour and kinetic study for woody biomass torrefaction and torrefied biomass pyrolysis by TGA. **Biosystems Engineering**, San Diego, v. 116, n. 4, p. 420–426, 2013.

REN, X. *et al.* Carbon, sulfur and nitrogen oxide emissions from combustion of pulverized raw and torrefied biomass. **Fuel**, Amsterdam, v. 188, p. 310–323, 2017.

RIAZ, S.; AL-ABDELI, Y. M.; OLUWOYE, I. Partially oxidative torrefaction of woody biomass pellets: burning behaviour and emission analysis. **Bioenergy Research**, New York, v. 16, n. 4, p. 2331–2341, 2023.

RIAZ, S.; OLUWOYE, I.; AL-ABDELI, Y. M. Oxidative torrefaction of densified woody biomass: Performance, combustion kinetics and thermodynamics. **Renewable Energy**, Oxford, v. 199, p. 908–918, 2022.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P. L. A. Effects of torrefaction on energy properties of Eucalyptus grandis wood. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 4, p. 446–452, 2009.

ROUSSET, P. *et al.* Enhancing the combustible properties of bamboo by torrefaction. **Bioresource Technology**, London, v. 102, n. 17, p. 8225–8231, 2011.

SAIDUR, R. *et al.* A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 15, n. 5, p. 2262–2289, 2011.

SAMAKSAMAN, U.; MANATURA, K. Co-combustion characteristics and kinetics behavior of torrefied sugarcane bagasse and lignite. **International Journal of Renewable Energy Development**, Semarang, v. 10, n. 4, p. 737–746, 2021.

SHANG, L. *et al.* Lab and bench-scale pelletization of torrefied wood chips—process optimization and pellet quality. **BioEnergy Research**, New York, v. 7, n. 1, p. 87–94, 2014.

SHEHZAD, M. *et al.* Impacts of non-oxidative torrefaction conditions on the fuel properties of indigenous biomass (bagasse). **Waste Management & Research**, London, v. 38, n. 11, p. 1284–1294, 2020.

SHER, F. *et al.* Torrefied biomass fuels as a renewable alternative to coal in co-firing for power generation. **Energy**, Amsterdam, v. 209, 2020.

SIEGMUND, T. *et al.* A review of CO emissions during solid biofuel combustion – Formation mechanisms and fuel-related reduction measures. **Journal of the Energy Institute**, Amsterdam, v. 116, p. 101762, 2024.

SILVEIRA, E. A. *et al.* An assessment of biomass torrefaction severity indexes. **Fuel**, Amsterdam, v. 288, p. 119631, 2021.

SMIL, V. **Energy and civilization: a history**. Cambridge, MA: MIT Press, 2017.

SOKHANSANJ, S. *et al.* Binderless pelletization of biomass. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, 2005.

SPADIM, E. *et al.* Determinação do índice de combustão e da taxa de queima de briquetes de resíduos lignocelulósicos por meio de um aplicativo de computador com coleta de dados automatizada. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 4, p. 531–548, 2021.

STĘPIEŃ, P.; PUŁKA, J.; BIAŁOWIEC, A. Organic waste torrefaction – a review: reactor systems and the biochar properties. *In*: SAMER, M. **Pyrolysis**. London: IntechOpen, 2017. cap. 2.

SUN, Y. *et al.* Gas-pressurized torrefaction of biomass wastes: Self-promoted deoxygenation of rice straw at low temperature. **Fuel**, Amsterdam, v. 308, p. 122029, 2022.

TINWALA, F. *et al.* Intermediate pyrolysis of agro-industrial biomasses in bench-scale pyrolyser: Product yields and its characterization. **Bioresource Technology**, London, v. 188, p. 258–264, 2015.

TONG, S. *et al.* Gas-pressurized torrefaction of biomass wastes: Roles of pressure and secondary reactions. **Bioresource Technology**, London, v. 313, p. 123640, 2020.

TRIPATHI, M.; SAHU, J. N.; GANESAN, P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 55, p. 467–481, 2016.

TUMULURU, J. S. *et al.* **A review on biomass densification technologies for energy application**. Idaho Falls: Idaho National Laboratory, 2010. Disponível em: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1016196-tkD9K4/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

TUMULURU, J. S. *et al.* A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. **Industrial Biotechnology**, v. 7, n. 5, p. 384–401, 2011.

TUMULURU, J. S. *et al.* A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Hoboken, v. 5, n. 6, p. 683–707, 2011.

TUMULURU, J. S. Specific energy consumption and quality of wood pellets produced using high-moisture lodgepole pine grind in a flat die pellet mill. **Chemical Engineering Research and Design**, Rugby, v. 110, p. 82–97, 2016.

TUMULURU, J. S. **Biomass preprocessing and pretreatments for production of biofuels**: mechanical, chemical and thermal methods. Boca Raton: CRC Press, 2018.

TUMULURU, J. S.; HEIKKILA, D. J. Biomass grinding process optimization using response surface methodology and a hybrid genetic algorithm. **Bioengineering**, Basel, v. 6, n. 1, p. 12, 2019.

TURNES, S. R. **An Introduction to Combustion: Concepts and Applications**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

VALIX, M.; KATYAL, S.; CHEUNG, W. H. Combustion of thermochemically torrefied sugar cane bagasse. **Bioresource Technology**, London, v. 223, p. 202–209, 2017.

VAN DER STELT, M. J. C. *et al.* Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 35, n. 9, p. 3748–3762, 2011.

VAN HORN, H. H. *et al.* By-product feeds for lactating dairy cows: Effects of cottonseed hulls, sunflower hulls, corrugated paper, peanut hulls, sugarcane bagasse, and whole cottonseed with additives of fat, sodium bicarbonate, and *Aspergillus oryzae* product on milk production. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 67, p. 2922–2938, 1984.

VAN LOO, S.; KOPPEJAN, J. **The handbook of biomass combustion and co-firing**. London: Earthscan, 2008.

VEIGA, J. P. S. **Biomass to energy**: mass and exergy assessment of carbon mitigation and triple bottom line assessment. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-09112016-154413/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

VERHOEFF, F. *et al.* **TorTech**: torrefaction technology for the production of solid bioenergy carriers from biomass and waste. Petten: Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), 2011.

VERTÈS, A. A. *et al.* **Biomass to Biofuels**: Strategies for Global Industries. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010.

VILAS BOAS, M. *et al.* Solid biofuel from the amazon: a circular economy approach to briquette production from wood waste. **Forests**, Basel, v. 15, n. 8, p. 1328, 2024.

WALOZI, R. *et al.* Critical review of biomass heterogeneity effects on briquette combustion. **Discover Applied Sciences**, Cham, v. 8, n. 3, p. 309, 2026.

WANG, J.; YIN, Y. Clostridium species for fermentative hydrogen production: An overview. **International Journal of Hydrogen Energy**, Amsterdam, v. 46, n. 70, p. 34599–34625, 2021.

WANG, Z. *et al.* Study on the regulation mechanism of torrefaction pretreatment on fuel quality and pyrolysis characteristics of rice husk. **Journal of Fuel Chemistry and Technology**, Taiyuan, p. 1–10, 2022.

WANG, Z. *et al.* Impacts of torrefaction on PM10 emissions from biomass combustion. **Energy Engineering**, Reston, v. 118, n. 5, p. 1267–1276, 2021.

WERNER, K.; POMMER, L.; BROSTRÖM, M. Thermal decomposition of hemicelluloses. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 110, p. 130–137, 2014.

WRIGHT, M.; LIMA, I.; BIGNER, R. Microbial and physicochemical properties of sugarcane bagasse for potential conversion to value-added products. **International Sugar Journal**, High Wycombe, v. 118, n. 1410, p. 424, 2016.

YADAV, P. *et al.* Sugarcane bagasse: an important lignocellulosic substrate for production of enzymes and biofuels. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Heidelberg, v. 14, n. 5, p. 6111–6142, 2024.

YANG, W. *et al.* Preparation of biochar via dry torrefaction of wood meal in a batch reactor under pressure and its co-combustion behavior with anthracite coal. **BioResources**, Raleigh, v. 16, n. 1, p. 997–1008, 2020.

YANG, X. *et al.* Effects of torrefaction pretreatment on fuel quality and combustion characteristics of biomass: A review. **Fuel**, Amsterdam, v. 358, p. 130314, 2024.

YANG, X. *et al.* Effects of torrefaction pretreatment on the structural features and combustion characteristics of biomass-based fuel. **Molecules**, Basel, v. 28, n. 12, p. 4732, 2023.

YANG, Y. *et al.* A fundamental research on synchronized torrefaction and pelleting of biomass. **Renewable Energy**, Kidlington, v. 142, p. 668–676, 2019.

YILGIN, M.; DURANAY, N.; PEHLIVAN, D. Torrefaction and combustion behaviour of beech wood pellets. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Dordrecht, v. 138, n. 1, p. 819–826, 2019.

YU, X. *et al.* A CFD study of biomass pyrolysis in a downer reactor equipped with a novel gas–solid separator — I: Hydrodynamic performance. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 126, p. 366–382, 2014.

YUE, D.; YOU, F.; SNYDER, S. W. Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges. **Computers & Chemical Engineering**, Kidlington, v. 66, p. 36–56, 2014.

YUE, Y. *et al.* Torrefaction of sorghum biomass to improve fuel properties. **Bioresource Technology**, London, v. 232, p. 372–379, 2017.

ZHAO, A. *et al.* Characteristics of bio-oil and biochar from cotton stalk pyrolysis: Effects of torrefaction temperature and duration in an ammonia environment. **Bioresource Technology**, London, v. 343, p. 126145, 2022.

ZHENG, K. *et al.* Upgrading biomass waste to bio-coking coal by pressurized torrefaction: synergistic effect between corncob and lignin. **SSRN Electronic Journal**, Amsterdam, 2022.

ZHENG, Y. *et al.* Effect of the torrefaction temperature on the structural properties and pyrolysis behavior of biomass. **BioResources**, Raleigh, v. 12, n. 2, 2017.

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	MILLOS JULIÁN ENRIQUE JINETE TORRES 04/04/2000
Nacionalidade	Colombiana
Nome em citações bibliográficas:	Jinete-Torres, Millos Julian Enrique Jinete-Torres, M.
Currículo Lattes	http://lattes.cnpq.br/2400580481144580
ORCID	https://orcid.org/0009-0008-7480-4569
outro identificador	Scopus ID: 60348615300
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
2017/2023	Graduação (Engenharia mecânica - Engenheiro) Universidad Industrial de Santander - UIS
2024/2026	Mestrado (Mestrado em engenharia - Mestre) Universidade Estadual Paulista - UNESP
PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	
ARTEAGA-RAMOS, JUAN PABLO; ALEXANDRE-PIO, GABRIEL; JINETE-TORRES, MILLOS JULIAN ENRIQUE; CARASCHI, JOSÉ CLÁUDIO; ARCE-FERRUFINO, GRETTE LARISA AURORA; ÁVILA, IVONETE; ROMERO-LUNA, CARLOS MANUEL. Oxidative torrefaction of eucalyptus woodchips using a silica sand layer for bioenergy enhancement. South African Journal of Chemical Engineering , v. 55, p. 316-324, 2026.	
PIO, GABRIEL ALEXANDRE; RAMOS, JUAN PABLO ARTEAGA; TORRES, MILLOS JULIÁN ENRIQUE JINETE; ARCE FERRUFINO, GRETTE LARISA AURORA; DA SILVA FERREIRA, JOSILEI; FRANCO, MARIANA PIRES; DE MATOS, CARLOS ALBERTO OLIVEIRA; CARASCHI, JOSÉ CLÁUDIO; LUNA, CARLOS MANUEL ROMERO. Lignocellulosic residue from 2G ethanol production as an effective binder for enhancing the quality of pine sawdust briquettes. BIOMASS & BIOENERGY , v. 210, p. 109042, 2026.	
PIO, GABRIEL ALEXANDRE; RAMOS, JUAN PABLO ARTEAGA; TORRES, MILLOS JULIÁN ENRIQUE JINETE; FERRUFINO, GRETTE LARISA AURORA ARCE; DE MATOS, CARLOS ALBERTO OLIVEIRA; FRANCO, MARIANA PIRES; CARASCHI, JOSÉ CLÁUDIO; LUNA, CARLOS MANUEL ROMERO. Integration of	

the torrefaction and briquetting of eucalyptus sawdust to produce a high-quality solid biofuel. **BIOMASS CONVERSION AND BIOREFINERY**, v. 16, p. 1, 2026.

PARTICIPAÇÃO EM BANCAS E ORIENTAÇÕES

Orientações

Vanni Rezende, M. **Melhoramento das propriedades energéticas do bagaço de cana-de-açúcar através da torrefação solar**. 2024. Orientador: Millos Julián Enrique Jinete Torres. 2024. Iniciação Científica. (Graduando em Ensino médio) - Escola Estadual Profa. Zulmira de Oliveira, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Itapeva, 2024.

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

28th INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING - COBEM2025, 2025, Curitiba. Impact of Torrefaction on Biomass Combustion: A Bench-Scale Evaluation. 2025. (Congresso internacional).

20th BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 2024, (Cidade de realização). Effect of Oxidative Dry Torrefaction Parameters in Mineral Filler on the Energy Properties of Eucalyptus Chips. 2024. (Congresso).

20th BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 2024, (Cidade de realização). Integrative Approach to Biomass Improvement: Torrefaction and Densification of Eucalyptus Sawdust. 2024. (Congresso).

20th BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 2024, (Cidade de realização). Oxidative Torrefaction: The Way to Improve the Energy Density of Sugarcane Bagasse. 2024. (Congresso).

20th BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 2024, (Cidade de realização). Energy Densification of Eucalyptus Wood Pellets Through Dry Torrefaction. 2024. (Congresso).

20th BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 2024, (Cidade de realização). Thermal Behavior of Torrefied Sugarcane Bagasse in Different Torrefaction Atmospheres. 2024. (Congresso).

XXXVII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UNESP, 2025, (Cidade de realização). Caracterização físico-mecânico e energético de briquetes provenientes dos resíduos florestais da espécie de *Pinus elliottii*. 2025. (Congresso).

XXXVII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UNESP, 2025, (Cidade de realização). Efeito da torrefação na qualidade combustível e na durabilidade de pellets de eucalipto. 2025. (Congresso).

VIII WORKSHOP DA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA, 2024, Guaratinguetá. Análise da Reatividade de Bagaço de Cana-de-Açúcar Torreficado em Atmosferas Oxidativa e Inerte. 2024. (Workshop).

CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA DE BIOMASA (COMBUSTIÓN). 2025. (Conferência ou palestra).

10th INTERNATIONAL COMBUSTION INSTITUTE WINTER SCHOOL, 2025, (Campinas). Combustion Stability and Energy Potential of Torrefied Sugarcane Bagasse Briquettes. 2025. (Congresso).

BIOMASS AND BIOENERGY CONFERENCE, 2025, (Sorocaba). Effect of Torrefaction Atmosphere on the Combustion Performance of Sugarcane Bagasse Briquettes. 2025. (Congresso).

BIOMASS AND BIOENERGY CONFERENCE, 2025, (Sorocaba). Effect of Pretreatment on the Combustion Kinetics of Sugarcane Bagasse: Comparison of Inert and Oxidative Torrefaction. 2025. (Congresso).

BIOMASS AND BIOENERGY CONFERENCE, 2025, (Sorocaba). Oxidative Torrefaction of Eucalyptus Woodchips Using a Silica Sand Layer for Bioenergy Enhancement. 2025. (Congresso).

BIOMASS AND BIOENERGY CONFERENCE, 2025, (Sorocaba). An Investigation into the Co-Densification Process for Briquette Production Using Blends of Raw and Torrefied Eucalyptus Sawdust. 2025. (Congresso).