

Torrefação de resíduos do desdobro da madeira de *Hevea brasiliensis*

Luiza Catarina Lobo de Godoi^{1, 2}; Marília Amas Pires da Silva¹; Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹; Gustavo Strack Jager Pereira¹; Macksuel Fernandes da Silva¹; Carlos Roberto Sette Junior¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia/GO, Brasil; ² Comissão de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CMARH), Assembleia Legislativa do Estado de Goiás, Goiânia/GO, Brasil –

luiza.godoi@discente.ufg.br

Resumo: O processo de desdobro da madeira implica na geração de alto volume de resíduos e a sua reutilização significa uma oportunidade de ganhos tanto econômicos quanto ambientais. O objetivo deste estudo foi avaliar a utilização de resíduos de *H. brasiliensis* para geração de energia por meio da torrefação. Foram analisados o teor de umidade, poder calorífico superior (PCS), poder calorífico útil (PCU) e a análise imediata (materiais voláteis, carbono fixo, cinzas) para biomassa em 3 tratamentos: temperatura ambiente (*in natura*), 200°C e 300°C. A análise da biomassa mostrou que os tratamentos *in natura* e a 200°C não apresentaram diferenças significativas nos níveis de cinzas e carbono fixo. Já a torrefação a 300°C melhorou as propriedades energéticas, aumentando o carbono fixo e o poder calorífico. Conclui-se que a torrefação promove um incremento energético que pode impactar no aumento de sua utilização e comercialização, com ganhos financeiros e ambientais.

Palavras-chave: Seringueira, Biomassa, Energia.

Torrefaction of waste from the splitting of *Hevea brasiliensis*

Abstract: The wood splitting process generates a high volume of waste and its reuse represents an opportunity for both economic and environmental gains. The aim of this study was to evaluate the use of *H. brasiliensis* residues to generate energy through torrefaction. Moisture content, higher calorific value (HCV), useful calorific value (HCV) and proximate analysis (volatile materials, fixed carbon, ash) were analyzed for biomass in 3 treatments: room temperature (*in natura*), 200°C and 300°C. The biomass analysis showed that the *in natura* and 200°C treatments did not present significant differences in ash and fixed carbon levels. Roasting at 300°C improved the energy properties, increasing fixed carbon and calorific value. It can be concluded that torrefaction promotes an energy increase that can have an impact on increasing its use and commercialization, with financial and environmental gains.

Keywords: Rubber trees, Biomass, Energy.



SOCIEDADE BRASILEIRA
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DA MADEIRA

1. INTRODUÇÃO

Nativa da região Amazônica, a espécie *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Müell. Arg., conhecida como seringueira, adquiriu notoriedade por ser a principal fonte mundial de borracha natural (Lorenzi, 2002). Ocupa a terceira posição entre as espécies mais plantadas no Brasil, abrangendo uma área de aproximadamente 230 mil hectares, estando atrás apenas do eucalipto e do pinus (IBÁ, 2023).

Ao final do ciclo de extração do látex, que abrange um período de 25 a 30 anos de idade, há um declínio de produtividade e, conseqüentemente, o corte das árvores (Kamala & Rao, 1989), que são manejados visando a comercialização da madeira, que apresenta ótima qualidade para a produção de painéis e móveis (Gonçalves *et al.*, 2021).

Contudo, essa atividade de desdobro da madeira destinada a serraria implica na geração de um alto volume de resíduos (Stragliotto, 2020). O rendimento no processo de laminação do gênero *Hevea* é de aproximadamente 36,6% (Escobar, *et al.* 2011), resultando na geração de 63,4% de resíduos.

Diante da disponibilidade desta biomassa e a crescente busca de fontes renováveis de energia, surgem as oportunidades de aproveitamento desse material, reduzindo a dependência energética de fontes tradicionais e o volume de resíduos (Gomes, 2004).

Sendo assim, o aproveitamento energético dos resíduos de *Hevea brasiliensis* pode contribuir para geração de energia renovável, com conseqüente mitigação dos impactos ambientais, além de promover a geração de renda na cadeia produtiva da borracha.

A torrefação é uma das alternativas para melhorar as propriedades da biomassa. Esse processo consiste na aplicação térmica entre 225 e 300°C onde ocorre a degradação de constituintes da madeira, em grande parte, das hemiceluloses, promovendo a elevação da densidade energética e redução da umidade (Protásio, 2012).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de resíduos de *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Müell. Arg. gerados a partir do desdobro da madeira para geração de bioenergia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos resíduos e definição dos tratamentos

O material utilizado neste estudo foi obtido a partir do desdobro de toras de *Hevea brasilienses*, aos 22 anos de idade, cultivados no estado de São Paulo. Os resíduos coletados na serraria foram cortados em peças de corpos de prova com dimensões de $t_g = 10,73$ mm, $r_d = 23,07$ mm e $l_g = 69,71$ mm para facilitar seu transporte e, em seguida, foram acondicionados em saco plástico para manter suas condições iniciais de umidade. Posteriormente os corpos de provas foram triturados, moídos e submetidos ao agitador de peneiras resultando em uma porção de 20g de material retido na peneira de 60 *mesh*.

A caracterização da biomassa foi realizada a partir de três tratamentos de torrefação, sendo: T1 - *in natura* (temperatura ambiente), T2 - 200 e T3 - 300°C, com três repetições cada. A torrefação ocorreu em forno mufla elétrico com dimensões de 60 x 60 x 70 cm, equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo numa taxa de aquecimento de 1,67 °C min⁻¹ e temperatura final de 300 °C, permanecendo estabilizado na temperatura final por um período de 30 minutos. Os parâmetros avaliados foram:

Teor de umidade (%): O teor de umidade da madeira refere-se à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca após passar pela câmara de secagem conforme descrito na norma ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997).

Poder calorífico superior (PCS, MJ kg⁻¹): A determinação do poder calorífico superior e sua análise foi realizada por meio de uma adaptação da norma ASTM D5865-13 (ASTM, 2013), utilizando-se uma bomba calorimétrica.

Poder calorífico útil (PCU): determinado segundo a metodologia proposta por Koppejan & Van Loo (2006) por meio da Equação 1:

$$PCU = PCS \left(\frac{100 - W}{100} \right) - 6 * W \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

PCU: poder calorífico inferior (MJ kg⁻¹);

PCS: poder calorífico superior (MJ kg⁻¹);

W: umidade (%).

Densidade energética (DE, MJ m⁻³): obtida pelo produto entre o poder calorífico útil (PCU, MJ kg⁻¹) e da densidade a granel da madeira (DB, Kg m⁻³) para cada repetição dos três tratamentos (Equação 2).

$$DE = PCU \times DA \qquad \text{Eq. 2}$$

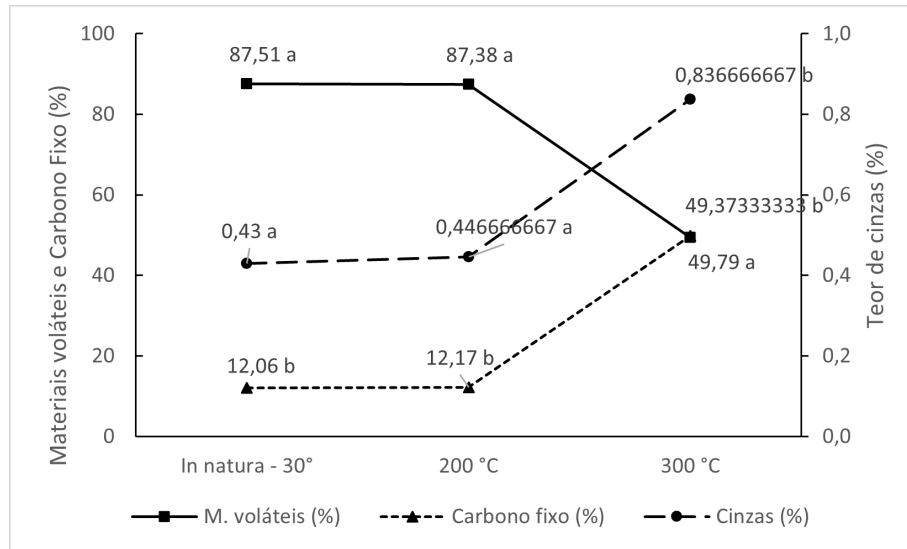
Análise imediata: determinação dos teores de cinzas (CZ), materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CF) nas 9 amostras de biomassa (3 de cada tratamento) com base nas normas ASTM E872-82 (2013) e ASTM D1102-84.34 (2013) a partir dos resíduos com granulometria de 60 *mesh* previamente secos em estufa até atingirem massa constante.

Os dados foram analisados no SISVAR 5.6, verificando pressuposições e aplicando ANOVA para três tratamentos. Foram encontrados efeitos significativos, e os resultados passaram pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os resultados referentes as médias dos teores de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo (análise imediata) para os três tratamentos avaliados. Foram observadas diferenças significativas desses parâmetros no tratamento a 300°C quando comparado aos tratamentos *in natura* e a 200°C.

Figura 1: Análise imediata da biomassa de *Hevea brasiliensis*.



Fonte: (Autor).

O tratamento térmico de torrefação na biomassa, com temperaturas de 300°C, melhorou significativamente as suas propriedades energéticas (figura 1).

Para a torrefação a 200°C, os ganhos associados ao tratamento térmico não justificam o custo monetário, já que estes estiveram apenas décimos acima do tratamento *in natura*. Estudos realizados por Kongto *et al.* (2023), utilizando a espécie *H. brasiliensis* aos 28 anos de idade, com objetivo de avaliar as alterações físico-químicas e propriedades energéticas da biomassa de seringueira *in natura* e torrefada em três variações de temperatura (200°C, 250°C e 300°C), encontraram valores de teores de cinzas de 1,53%, 1,73% e 3,9%; e de carbono fixo de 15,84%, 18,17% e 52,61% para os tratamentos *in natura*, 200°C e 300°C, respectivamente.

Quanto ao teor de umidade, poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico útil (PCU), foi possível observar que todos os tratamentos se diferenciaram entre si (Tabela 1).

Tabela 1: Valores médios de teor de umidade (U%), poder calorífico superior (Kcal kg⁻¹), poder calorífico útil (Kcal kg⁻¹) de *Hevea brasiliensis*.

Tratamento	Teor de Umidade (U%)	PCS (Kcal/kg)	PCU (Kcal/kg)
<i>In natura</i>	10,94 b	4485,00 c	3946,41 c
200	10,59 b	4655,33 b	4258,25 b
300	7,55 a	5970,33 a	5251,76 a

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não se diferenciam pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Fonte: (Autor).

O menor valor encontrado para o teor de umidade foi para o tratamento a 300°C (7,55%) enquanto o maior para o *in natura*. Esse fato é explicado uma vez que a biomassa *in natura*, após o tratamento térmico diminui o percentual de água (capilar e higroscópica) em função da evaporação e da decomposição térmica dos componentes orgânicos que contém essa substância em sua estrutura (Klock, 2005). Quanto ao PCS e PCU, ambos os parâmetros apresentaram maiores valores significativos para o tratamento a 300°C e menores para o *in natura*.

Resultados semelhantes foram constatados por Santos *et al.* (2013) e Pereira *et al.* (2016) para o gênero *Eucalyptus*. O alto teor de umidade representa um problema na utilização da biomassa, pois implica no aumento do consumo do combustível em questão, perda de calor, incrustações nas superfícies de aquecimento entre outros fatores indesejáveis (Castro, 2018).

O teor de umidade e o poder calorífico útil são inversamente proporcionais, como constatado nos resultados apresentados na tabela 01, onde todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si para o poder calorífico. Com uma pequena diminuição na umidade (0,40%) do tratamento *in natura* para 200°C, houve um aumento de 170,33 Kcal/kg no PCS. Os valores de poder calorífico superior reportados por Kongto *et al.* (2023) para *H. brasiliensis* aos 28 anos de idade foram superiores em relação a todos os tratamentos do presente estudo, apresentando 4.724,37 Kcal/kg, 4.850,96 Kcal/kg e 6.489,44 Kcal/kg para *in natura*, 200°C e 300°C, respectivamente.

4. CONCLUSÃO

A torrefação da biomassa, especialmente a 300°C, demonstra-se como um método eficaz para melhorar as propriedades energéticas como o poder calorífico da biomassa viabilizando sua utilização e comercialização.

Com a potencialização do material através do tratamento térmico e a geração de renda adquirida com a venda desse produto espera-se que ocorra o fomento na utilização e valorização da biomassa proveniente dos resíduos florestais gerados a partir do desdobro da madeira de *Hevea brasiliensis*.

A destinação correta e o aproveitamento desses resíduos é fundamental para a mitigação dos impactos ambientais atrelados a cadeia produtiva de base florestal.

5. REFERÊNCIAS

ABNT - **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira - Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ASTM - **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. D1102-84: standard test method for ash in wood, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013a.

ASTM - **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. D5865-13: standard test Method for gross calorific value of coal and coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013c.

ASTM - **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. E872-82: standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels, ASTM International, Phyladelphia, 2013b.

CASTRO, Luís Roberto. **Estudo da combustão de biomassa de eucalipto em um reator de leito fixo**. 2018. Tese de Doutorado.

ESCOBAR, Javier F. *et al et al*. Rendimento da laminação e módulo de elasticidade das lâminas da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*). **1º Congresso Ibero Latino-Americano da madeira na Construção**, Coimbra, jun 2011.

GOMES, Joaquim Ivanir; SAMPAIO, Simonne Silva. Aproveitamento de resíduos de madeira em três empresas madeireiras do Estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental – Comunicado Técnico**. Belém -PA, 2004.

GONÇALVES, Rivalalve Coelho *et al et al*. Produção de Borracha natural de seringueira: histórico e caminho a seguir. **Embrapa Acre**. Capítulo, v. 1, 2021.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores - **Relatório Ibá 2023**. Brasília, DF, 2024.

KAMALA, B.S. & RAO, P.V.K. Physical and mechanical properties of *Hevea brasiliensis* (rubber wood) – a review. **Rubber Board Bulletin**, Kottayam, 25, 27-28, 1989.

KLOCK, Umberto *et al et al*. **Química da madeira**. Fupef, Curitiba, 2005.

KONGTO, Pumin *et al et al*. Physicochemical changes and energy properties of torrefied rubberwood biomass produced by different scale moving bed reactors. **Renewable Energy**. (2023). Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/375068214_Physicochemical_changes_and_energy_properties_of_torrefied_rubberwood_biomass_produced_by_different_scale_moving_bed_reactors>
Acesso em 25 de junho de 2024.

KOPPEJAN, J.; VAN LOO, S. **The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing**. (1ª ed.). Routledge, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.

PEREIRA, Matheus Perdigão de Castro Freitas *et al*. Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 36, n. 87, p. 269-275, 2016. Disponível em:<<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1093>>. Acesso em: 5 de jul de 2024.

PROTÁSIO, Thiago de P. et al. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1252-1258, 2012.

SANTOS, F.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J.; SOUZA, C. J. Produção de etanol celulósico a partir da cana-de-açúcar. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Eds). **Bioenergia e Biorrefinaria – Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais** - . Viçosa: 2013. p 129-164.

STRAGLIOTTO, Michelly Casagrande; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; OLIVEIRA, Aylson Costa. Indústrias madeireiras e rendimento em madeira serrada na Amazônia Brasileira. **Engenharia florestal: desafios, limites e potencialidade**, p. 499-518, 2020.