

Efeito do método de caracterização química da madeira no poder calorífico de diferentes resíduos madeireiros

Emilly Soares Gomes da Silva¹; Idalina de Jesus Domingo²; Bruno Miguel Morais Lemos Esteves²; Fabricio Gomes Gonçalves¹; Yuliya Dulyanska²; Bruna da Silva Cruz¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil; ² Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), Viseu, Portugal – emillysoaresgomes@gmail.com

Resumo Resíduos gerados pelo processamento da madeira possuem potencial para aplicação no setor energético, onde alguns métodos aplicados para sua caracterização, podem promover o aumento do poder calorífico. O estudo teve como objetivo avaliar se o método de caracterização da biomassa influencia no poder calorífico de diferentes resíduos. Para isso, foi avaliado se a remoção de extrativos com diferentes reagentes utilizados para caracterização, influenciam no valor calorífico dos resíduos de angico-vermelho, calabura e mogno. Com os resultados foi possível verificar que o procedimento aplicado para remoção de extrativos não influenciou no desempenho do poder calorífico em resíduos *in natura* e após aplicação das substâncias. Os constituintes lignina e extrativos não influenciaram nos valores caloríficos das espécies. A diferença do poder calorífico entre resíduos *in natura* e caracterizados ficou abaixo de 5%. Os resíduos apresentam potencial para exploração energética. Recomenda-se o uso dos resíduos *in natura* por não necessitarem de pré-tratamentos.

Palavras-chave: Amazônia, Floresta, Energia da biomassa.

Effect of the chemical characterization method of wood on the calorific value of different wood residues

Abstract: Waste generated by wood processing has potential for application in the energy sector, with some methods being applied for its characterization, alternatives that can promote an increase in calorific value. The study aimed to evaluate whether the biomass characterization method influences the calorific value of different waste. To this end, it was evaluated whether the removal of extractives with different reagents used for characterization influences the calorific value of red angico, calabura and mahogany residues. With the results, it was possible to verify that the procedure applied to remove extractives did not influence the performance of calorific value in fresh residues and after application of the substances. Lignin and extractive constituents did not influence the calorific values of the species. The difference in calorific value between natural and characterized waste was below 5%. The waste evaluated in this study has potential for energy exploration. It is recommended to use *in natura* waste as it does not require pre-treatment.

Keywords: Lignocellulosic biomass, Forest, Energy of biomass, Extractives.

1. INTRODUÇÃO

A serragem gerada pelo processamento primário da madeira é um resíduo que possui potencial para diferentes aplicações visando seu reaproveitamento, como na produção de energia elétrica e térmica, produção de briquetes, biocombustíveis e entre outros, onde em muitos casos, esse material ainda é descartado de forma inadequada, o que conduz a contaminação do meio ambiente, gerando impactos ambientais que a longo prazo podem ser irreversíveis (Oliveira *et al.*, 2023).

Esses resíduos, também conhecidos como biomassa lignocelulósica, são compostos por uma variedade de constituintes, incluindo celulose (40-60%), hemicelulose (20-40%), lignina (10-24%), pectina e proteína, bem como extrativos (Putro *et al.*, 2016; Haldar; Purkait, 2021 ; Okolie *et al.*, 2021; Mujtaba *et al.*, 2023; Diniz *et al.*, 2023), sendo a geração anual de resíduos no Brasil, estimada em cerca de 30 milhões de toneladas, onde a indústria madeireira contribui com 91% da biomassa produzida (Finotti *et al.*, 2006; Tuoto, 2009; Ramos *et al.*, 2018).

Esses números evidenciam uma certa necessidade em alcançar alternativas que visem o reaproveitamento dos resíduos gerados, sendo uma das formas fundamentais para a exploração desse material, a caracterização e a quantificação dos constituintes presentes na biomassa, o que permite uma maior elucidação sobre as propriedades da matéria-prima, possibilitando assim que inferências possam ser realizadas quanto a sua aplicação industrial.

Em determinados segmentos, como é o caso do setor energético, características como densidade energética, produção de biomassa seca de madeira, teor de cinzas, poder calorífico e entre outros, são fundamentais para geração de energia com uso de resíduos (Nair, 1993; Munslow *et al.*, 2010; Vidal; Hora, 2011; Montes *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 2017).

No caso do poder calorífico, que é definida como a quantidade de energia térmica disponível após o processo de combustão completa por unidade massa (Nobre *et al.*, 2012), é necessário a caracterização dos resíduos como forma de entender o desempenho do valor calorífico a ser obtido, uma vez que, esse valor pode gerar respostas distintas em decorrência das suas características intrínsecas,

o que pode interferir na sua aplicação.

A composição química da madeira é uma das principais variáveis que influenciam no desempenho do poder calorífico, pois, a lignina e os extrativos são constituintes que apresentam maiores valores caloríficos em comparação com a celulose e hemicelulose devido à sua estrutura química rica em carbono e baixo oxigênio, o que permite que haja uma menor tendência a degradação térmica (Rambo *et al.*, 2015).

Em estudos efetuados por Philipp e D'Almeida (1988), Rossi *et al.* (2013) e Mauladdini *et al.* (2022), é possível verificar ainda, que além da constituição química da madeira, o método aplicado no processo de caracterização também deve ser considerado, tendo em vista que, nos trabalhos realizados pelos autores, durante o processo de remoção dos extrativos contidos na madeira, foi verificado um aumento do valor calorífico da biomassa, o que a torna mais interessante para fins comerciais.

Contudo, essa resposta pode variar tanto em decorrência da matéria-prima, quanto no método a ser adotado na remoção dos extrativos. Estudos que avaliam a correlação entre a matéria prima e o método de caracterização são poucos discutidos na literatura, limitando a exploração de métodos que podem ser aplicados para melhoria das propriedades da biomassa, contribuindo para desvalorização dos resíduos lignocelulósicos. Com isso, em decorrência do contexto apresentado, o trabalho teve como objetivo avaliar se o método de remoção de extrativos influencia no poder calorífico de resíduos de diferentes espécies brasileiras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Material experimental*

O material que foi utilizado no presente estudo é proveniente de madeiras coletadas em áreas experimentais de posse da Universidade Federal do Espírito Santo, sendo as coletas realizadas na cidade de Alegre, situada na região sul do Estado do Espírito Santo.

As espécies moídas (*Khaya grandifoliola*), angico vermelho (*Anadenanthera peregrina* L. Speg) e calabura (*Muntingia calabura*) utilizadas são provenientes de

resíduos utilizados em pesquisas internas efetuadas no laboratório de Painéis, vinculado ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, situada em Jerônimo Monteiro, Espírito Santo.

2.2 *Preparo do material*

As amostras foram moídas e peneiradas em malha na fração de 40-60 mesh, sendo as amostras retidas na malha de 60 mesh utilizadas para caracterização química da madeira, e posteriormente, utilizadas para determinação do poder calorífico. Para nível de comparação, foram utilizadas amostras moídas sem qualquer tipo de tratamento químico (*in natura*), sendo as amostras retidas na malha de 60 mesh também utilizadas para determinação do poder calorífico.

As amostras utilizadas para caracterização química foram tratadas conforme metodologia descrita pela Tappi T-204 (2007) e Tappi T-264 (1997), sendo as amostras submetidas a extrações com diclorometano, etanol e água para quantificação dos constituintes da madeira. Após submetidas as extrações, as amostras foram utilizadas para avaliação do poder calorífico.

Para determinar o poder calorífico das madeiras, foi adotada a metodologia descrita por Domingos *et al.* (2020), onde após o método de caracterização, as amostras foram submetidas a secagem à uma temperatura de 105° C, e posteriormente, prensadas (4 ton, 10s) para formação de um pellet de 1 cm de diâmetro, que foi inserido na bomba de calor, sendo o poder calorífico determinado com o auxílio de um calorímetro.

Para a análise estatística, as médias do poder calorífico *in natura* e após a aplicação do método de extração, e os constituintes lignina e extrativos da madeira *in natura* foram comparadas por meio do teste *t Student*, em nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes ao poder calorífico dos resíduos madeireiros das espécies de mogno, anilicó vermelho e calabura, *in natura* e após do método de caracterização das madeiras estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Poder calorífico de resíduos madeireiros analisados.

Espécies	Poder calorífico (kcal kg ⁻¹)		
	Mogno	Angico vermelho	Calabura
Resíduos <i>in natura</i>	4622	4599	4635
Resíduos caracterizados	4419	4446	4609

Com os resultados obtidos para o poder calorífico foi possível verificar que não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos aplicados, evidenciando nesse estudo, que o procedimento de caracterização que visa a remoção de extrativos, não influenciou no desempenho do poder calorífico em resíduos madeireiros *in natura* e após aplicação do método de caracterização com as substâncias diclorometano, etanol e água.

Os resultados mostraram que a diferença do poder calorífico entre os resíduos *in natura* e após aplicação do método de caracterização variaram de 4,39%, 3,32% e 0,5% para mogno, angico vermelho e calabura, respectivamente.

O desempenho dos resultados obtidos para o poder calorífico apresentados na Tabela 1 evidenciaram que apesar de não apresentar diferença significativa, os resíduos madeireiros caracterizados apresentaram resultados superiores quando comparados aos valores obtidos para resíduos não caracterizados.

Em estudos, Sjöström (1981) e Zanuncio *et al.* (2014) explicam que o desempenho do poder calorífico de resíduos madeireiros após aplicação de reagentes para extração de constituintes da madeira, está associado ao fato dos extrativos apresentarem quantidades diferentes de grupos hidroxila e teor de carbono, o que pode variar de acordo a espécie estudada.

Em relação a constituição química das madeiras estudadas *in natura*, os valores médios referentes a lignina e extrativos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios referentes a lignina e extrativos da madeira *in natura*.

Espécies	Lignina total (%)	Extrativos (%)
Calabura	31,00	2,37
Angico-vermelho	24,76	5,92
Mogno	23,54	6,91

Conforme verificado, a madeira de calabura apresentou valor superior em relação a lignina, quando comparadas as demais espécies avaliadas. Contudo, os

valores obtidos foram baixos, corroborando com a discussão de que as propriedades químicas lignina e extrativos, não influenciaram no desempenho dos valores obtidos para o poder calorífico nesse estudo.

Diferente do que foi observado por Kollmann (1959) e Ngangyo-Heya *et al.* (2016), os elevados valores do poder calorífico foram influenciados pelo alto teor de extrativos da madeira, o que promoveu resultados elevados para essa propriedade.

De modo geral, os valores do poder calorífico obtidos foram superiores ao que é comumente verificado para resíduos madeireiros que é de 4275 kcal kg⁻¹ (Dias *et al.*, 2012), sendo as espécies estudadas em ambos os tratamentos adequadas para geração de energia.

4. CONCLUSÃO

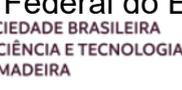
Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- O método de remoção de extrativos com diferentes reagentes não influenciou no desempenho do poder calorífico em resíduos madeireiros de diferentes espécies.
- Os constituintes químicos lignina e extrativos das madeiras avaliadas no presente estudo não influenciaram no poder calorífico obtido.
- O uso dos resíduos com ou sem a aplicação de pré-tratamentos possuem potencial para exploração energética. Contudo, por não necessitar de quaisquer tipos de tratamento químico, recomenda-se o uso dos resíduos *in natura*.

5. AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) que contribui com o financiamento de pesquisas realizadas em parceria com instituições nacionais e internacionais. A Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu (ESTGV-IPV). Aos docentes parceiros do IPV, professor Dr. Bruno Esteves e professora Dr^a. Idalina Domingos. Ao Laboratório Multiusuário de Painéis (LABPA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

6. REFERÊNCIAS



DINIZ, M. P.; CARREIRO, S. C.; SÁGIO, S. A. *et al.* Transformation of solid waste into renewable energy: perspectives for the production of 2G biofuels. **Engenharia Agrícola**. v. 43, p. e20220140, 2023.

DOMINGOS, I.; AYATA, U.; FERREIRA, K. *et al.* Calorific power improvement of wood by heat treatment and its relation to chemical composition. **Energies**. v.13, p. 5322, 2020.

FINOTTI, A. R.; SCHNEIDER, V. E.; WANDER, P. R. *et al.* Uso energético de resíduos de madeira na cadeia produtiva de madeira /móveis e possibilidades de geração de créditos de carbono. *In*: Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha, 2006, Caxias do Sul. **Anais [...]**. Caxias do Sul: p. 191-230, 2006

HALDAR, D.; PURKAITM, M. K. A review on the environment-friendly emerging techniques for pretreatment of lignocellulosic biomass: Mechanistic insight and advancements. **Chemosphere**. v. 264, p. 128523, 2021.

KOLLMANN, F. Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera: Madrid, 1959.

MAULADDINI, R.; NAWAWI, D. S.; SYAFII, W. Pengaruh zat ekstraktif kayu terhadap nilai kalor. **Jurnal Ilmu Kehutanan**. v. 16, p. 64-73, 2022.

MONTES, C. S.; WEBER, J. C.; SILVA, D. A. *et al.* Growth and fuelwood properties of five tree and shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali: relationships with mean annual rainfall and geographical coordinates. **New Forests**, v. 45, p. 179-197, 2014.

MUJTABA, M.; FRACETO, L. F.; FAZELI, M. *et al.* Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. **Journal of Cleaner Production**. v. 402, p. 136815, 2023.

MUNSLOW, B.; KATERERE, Y.; FERF, A. *et al.* The Fuelwood trap: a study of the SADCC Region. Londres: SADCC Energy Secretariat, 2010. 160p.

NAIR, P. K. R. An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer, 1993. 499p.

NGANGYO-HEYA, M.; FOROUGHBAHCHK-POURNAVAB, R.; CARRILLO-PARRA, A. *et al.* Calorific value and chemical composition of five semi-arid Mexican tree species. **Forests**. v. 7, p. 58, 2016.

NOBRE, J. R. C.; TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L. *et al.* Determinação do poder calorífico superior de resíduos da indústria madeireira da Amazônia e dos carvões sob diferentes temperaturas de carbonização. *In*: Conference: EnerBiomassa, 2012, Maceió. **Anais [...]**. Maceió, p. 1-5, 2012



OKOLIE, J. A.; NANDA, S.; DALAI, A. K. *et al.* Chemistry and specialty industrial applications of lignocellulosic biomass. **Waste and Biomass Valorization**. v. 12, p.

2145–2169, 2021.

OLIVEIRA, H.A.; SANTOS, C.P.; MELO, F.M.C. *et al.* Lightweight aggregate: a sustainable alternative for reuse of sawdust waste in the industrial process. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. v.58, p. 125-133, 2023.

PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. Pulp and paper: manufacturing technology of cellulosic pulp. **IPT**, p. 169-319, 1988.

PUTRO, J. N.; SOETAREDJO, F. E.; LIN, S-H. *et al.* Pretreatment and conversion of lignocellulose biomass into valuable chemicals. **Royal Society of Chemistry**. v.6, p. 46834-46852, 2016.

RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F.L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**. v. 144, p. 696-703, 2015.

RAMOS, W. F.; RUIVO, M. L. P.; JARDIM, M. A. G. *et al.* Geração de resíduos madeireiros do setor de base florestal na região metropolitana de Belém, Pará. **Ciência Florestal**. v. 28, p. 1823-1830, 2018.

RIBEIRO, G. B. D.; ISBAEX, C.; VALVERDE, S. R. Produção de biomassa florestal para energia em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 37, p. 605-618, 2017.

ROSSI, T.; MOURA, L. F.; TORQUATO, P. R. *et al.* Effect of extractive removal on the calorific value of brazilian woods residues. **Journal of Chemistry and Chemical Engineering**. v. 7, p. 340-343, 2013.

SJÖSTRÖM, E. Wood chemistry. Nova York: Academic Press, 1981. 223p.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry Inc – TAPPI T-204: Solvent extractives of wood and pulp. TAPPI Press, Atlanta, 2007. 4p.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry Inc – TAPPI T-264: Preparation of wood for chemical analysis. TAPPI Press, Atlanta, 1997. 3p.

TUOTO, M. Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado. Projeto PNUD BRA 00/20 – Apoio às políticas públicas na área de gestão e controle ambiental, **Ministério do Meio Ambiente, Curitiba**, 2009.

VIDAL, A.; HORA, A. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial: Papel e Celulose**, n. 33, p. 261-314, 2011.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como

combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**. n. 16, p. 63-70, 1978.

ZANUNCIO, A. J. V.; CARVALHO, A. G.; TRUGILHO, P. F. *et al.* Extractives and energetic properties of wood and charcoal. **Revista Árvore**. v.38, p. 369-374, 2014.