

## EXPLORANDO O POTENCIAL ENERGÉTICO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRAS

THOMAS JACOBSEN BURGIERT<sup>1</sup>; MATHEUS DE PAULA GOULARTE<sup>2</sup>; ÁVILA FERREIRA DE SOUZA<sup>2</sup>; WESLEY FURTADO PIRES<sup>2</sup>; DARCI ALBERTO GATTO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [tj.burgiert@gmail.com](mailto:tj.burgiert@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [almatheusgoularte@gmail.com](mailto:almatheusgoularte@gmail.com); [avilaferreira128@gmail.com](mailto:avilaferreira128@gmail.com);  
[wfp1312.wp@gmail.com](mailto:wfp1312.wp@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [darcigatto@yahoo.com](mailto:darcigatto@yahoo.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um recurso renovável que teve um papel indispensável como fonte de energia da história da humanidade, normalmente no processo termoquímico da combustão (SMIL, Vaclav 2017). Considerando a sociedade atual em busca de formas de geração de energia com menor impacto no ambiente, abre um espaço para seu uso. A lenha como um substituto aos combustíveis fósseis, pois essa têm uma liberação de carbono neutra, já que o mesmo foi absorvido da atmosfera durante seu crescimento, diminuindo seu impacto no efeito estufa, sendo uma alternativa viável e ecológica como fonte de energia (Y, WU 2023).

A madeira é um material biológico composto principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. A holocelulose é a quantidade total de celulose, um polímero de cadeia linear composto por moléculas de glicose, e a hemicelulose, composta por açúcares variados, xilose, arabinose e manose. Segundo o Wastowski, em 2018 no livro química da madeira, a porcentagem de cada componente da deste material varia para cada espécie, a holocelulose pode variar de 80% a 60% e a lignina varia de 16% a 33% e os extrativos variar de 1% a 8%.

Cada desses composto tem uma capacidade calorífica diferente, com a lignina apresentando o maior entre os 3, com um poder calorífico superior de 23.26–25.58 MJ/kg, enquanto ambas celulose e hemicelulose tem um valor de 18,60 MJ/kg (DEMIRBAŞ, A. 2001). Outros componentes como extratos etanólicos também afetam o poder calorífico como atestado em testes após remoção dos extrativos pelo solvente diclorometano. (ZANUNCIO, A. J. V. et al. 2014)

Esse trabalho busca ajudar a compreensão dos fatores que influenciam a eficiência e viabilidade do uso da madeira como recurso energético.

### 2. METODOLOGIA

Foram utilizadas para o trabalho amostras de madeira das espécies, *Pinus elliottii* (PE), *Eucalyptus Grandis* (EG), *Eucalyptus tereticornis* (ET), *Eucalyptus robusta* (ER), e *Acacia decurrens* (AD) obtida em múltiplas plantações florestais. As amostras foram climatizadas em uma umidade relativa 65% até alcançarem equilíbrio higroscópico. Cada amostra foi testada em massa específica, análise calorimétrica e foram moídas seguindo o padrão TAPPI T-257.

A densidade das amostras foi dada pela razão entre a massa da amostra seca em uma estufa, e o volume da amostra no ponto de saturação das fibras de madeira, 28% de umidade. Todos esses processos seguiram o procedimento estabelecido por CARVALHO, E. C. D. et al. 2023. A equação usada é a seguinte:

$$\rho_b = \frac{M0\%}{V28\%}$$

Seguindo os padrões e guia da TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), as amostras passaram por um teste para definir umidade seguindo o padrão TAPPI T-550, seu peso foi aferido e então as amostras foram secas em uma estufa a 105 °C. Após resfriar as amostras para temperatura ambiente em um dessecador as amostras foram pesadas e a porcentagem de umidade foi dada pela seguinte fórmula:

$$\text{Porcentagem de umidade} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100\%$$

Onde:

$P_1$  = Peso inicial da amostra.  
 $P_2$  = Peso seco da amostra.

Para a identificar a composição das amostras foi feita a caracterização química das amostras. A quantificação de extractivos etanol-tolueno pelo método TAPPI T-204, que se trata de colocar a amostra, já moída, em um processo de refluxo utilizando um frasco Soxhlet e uma mistura (1:2) de etanol e tolueno como solvente durante 5 horas. O solvente contendo os extractivos, é seco e o resíduo pesado.

Para definir o teor de lignina insolúvel em ácido, utilizou-se o padrão T-222 da TAPPI. O processo consiste em hidrolisar os carboidratos da polpa da madeira utilizando ácido sulfúrico, então se torna possível filtrar secar e pesar a lignina insolúvel em ácido. Outro processo feito foi a determinação de holocelulose pelo padrão TAPPI T-09, a junção de celulose e hemicelulose, que é feita em uma mistura da amostra em uma solução de ácido acético e clorito de sódio, e mantido em um banho maria a 70°C por 18 h, com adições de mais clorito de sódio e ácido acético a cada hora, durante as primeiras 6 horas.

A quantificação de poder calorífico superior (HCV) das amostras foi feito com 0,5 g de cada amostra, 2 vezes por amostra para maior consistência e confiabilidade de resultados, utilizando uma bomba calorimétrica Isoperibol (PARR Modelo 6200) e os resultados foram expressos em kcal/kg.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da composição química das amostras em porcentagem foi colocada em uma tabela.

**Tabela 1:** Resultados da composição química das amostras de diferentes espécies testadas. (Fonte: Autor)

Espécie	Umidade (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
P.E	7.35 ± 0.05	0.349 ± 0.01	7.70 ± 0.1	17.047 ± 2.76	55.60 ± 0.94
E.R	12.06 ± 0.51	0.478 ± 0.01	1.00 ± 0.05	25 ± 2.45	69.44 ± 1.27
E.T	16.26 ± 0.43	0.333 ± 0.01	6.65 ± 0.63	30.50 ± 0.70	69.17 ± 1.34
E.G	9.58 ± 0.33	0.282 ± 0.002	1.30 ± 0.70	27 ± 1.14	66.135 ± 0.85
A.D	8.19 ± 0.17	0.749 ± 0.02	2.20 ± 0.14	21.5 ± 0.707	73.653 ± 0.07

**Tabela 2:** Resultados das características físicas das amostras de diferentes espécies testadas. (Fonte: Autor)

Espécie	Densidade (Kg/M <sup>3</sup> )	Poder calorífico superior (Kcal/Kg)
P.E	614 ± 0.07	4614.475 ± 25.64
E.R	743 ± 0.03	4095.785 ± 37.75
E.T	751 ± 0.03	3925.24 ± 3.98
E.G	375 ± 0.01	4,086.25 ± 105.23
A.D	801 ± 0.03	4,292.27 ± 0.15

Começando nossa análise da tabela, vemos que *Pinus Elliottii* é a demonstrando que é um material seco, uma baixa quantidade de material mineral, visto pela quantidade de cinzas inferior a 0.5%. Ela também é a madeira com maior teor de extrativos causado pela criação de canais resiníferos associados com a extração de da resina do pinus (HENRIQUE, Pedro. Et Al. 2012). Seu teor de holocelulose e lignina também foram os menores entre as amostras, mas mesmo assim tendo um valor de densidade intermediária e poder calorífico superior maior entre todas as amostras mostrando sua alta viabilidade no uso como fonte de energia.

A *Eucalyptus Robusta* é a madeira com menor quantidade de extrativo no comparativo. Sua densidade alta demonstra um material compacta, tendo um poder calorífico superior considerável. O *Eucalyptus Tereticornis* é a mais úmida das amostras e tem o menor poder calorífico superior das amostras, se mostrando menos viável para energia quando comparadas a outras espécies do estudo.

A amostra de *Eucalyptus Grandis*, tem a menor parte mineral, visto pela sua quantidade mínima de cinzas, a menor entre as amostras testadas e a menor densidade, o que indicaria que o volume empregado para seu uso em produção de energia seria bem alto quando comparadas às outras, exigindo o dobro de volume para obtenção da mesma massa. Por fim a amostra de *Acacia decurrens* tem a maior quantidade de cinzas após a combustão, a com maior presença de holocelulose e o segundo maior poder calorífico superior, junto da maior

densidade, torna essa a amostra com a maior quantidade de energia por m<sup>3</sup> dos experimentos realizados.

#### 4. CONCLUSÕES

Como visto nos resultados apresentados, concluímos que as diferentes espécies de madeiras exibem diferentes características químicas que afetam diretamente no potencial energético. Esses dados provêm um uma métrica de comparação para aplicações industriais, principalmente nos setores de energia, dando ênfase na importância na escolha correta de matérias primas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CADEMARTORI, P. H. G. DE et al. Qualidade da madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. procedente de florestas resinadas. **CERNE**, v. 18, n. 4, p. 577–583, 2012.
- CARVALHO, E. C. D. et al. Xylem anatomical traits determine the variation in wood density and water storage of plants in tropical semiarid climate. **Flora**, v. 298, n. 152185, p. 152185, 2023.
- DEMIRBAŞ, A. Relationships between lignin contents and heating values of biomass. **Energy conversion and management**, v. 42, n. 2, p. 183–188, 2001.
- SMIL, V. **Energy and civilization: A history**. The MIT Press, , 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7551/mitpress/10752.001.0001>>
- TAPPI. T 09: Holocellulose in Wood. 1973.
- TAPPI. T 204: Solvent Extractives of Wood and Pulp. 2007.
- TAPPI. T 211: Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustion at 525°C. 2002.
- TAPPI. T222: Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp. 2002.
- TAPPI. T 257: Sampling and Preparing Wood for Analysis. 2002.
- TAPPI. T 550: Determination of equilibrium moisture in pulp, paper and paperboard for chemical analysis. 2013.
- Wastowski, Arci. (2018). Química da Madeira (Chemistry of Wood).
- WU, Y. et al. **AR-enhanced workouts: Exploring visual cues for at-home workout videos in AR environment**. Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Anais...New York, NY, USA: ACM, 2023.
- ZANUNCIO, A. J. V. et al. Extractives and energetic properties of wood and charcoal. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 369–374, 2014.