

A extração da madeira de *Pinus elliottii* em etanol impacta o seu estoque energético

Elias Costa de Souza*¹, Aécio Dantas de Sousa Júnior², Emanuelle Cristina Barbosa³, Maiara Sanches Tetti⁴, Ananias Francisco Dias Júnior⁵, José Otávio Brito¹

¹Laboratório de Química, Celulose e Energia / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo; ² Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; ³Faculdade de Tecnologia Piracicaba; ⁴Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba; ⁵Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais / Universidade Federal do Espírito Santo. *eliasrem@usp.br

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos extrativos solúveis em etanol no poder calorífico superior da madeira de *Pinus elliottii*. Foram utilizados cavacos de *Pinus elliottii*, secos ao ar livre durante sete dias. O material foi dividido em duas partes, uma utilizada no processo de extração e definição do poder calorífico superior (PCS) e a outra utilizada diretamente para obtenção do PCS. A extração foi realizada em etanol utilizando a norma de determinação dos extrativos totais. A retirada de parte dos extrativos teve influência direta no poder calorífico da madeira de *Pinus elliottii*, sendo responsável pela diminuição da quantidade de calor disponível por unidade de massa. O processo de extração teve influência direta no poder calorífico da madeira de *Pinus elliottii*. Mesmo sem os extrativos solúveis em etanol, a madeira apresentou melhores resultados para PCS quando comparados aos resultados do PCS de *Araucária angustifolia*, *Pinus* sp. e *Pinus elliottii* encontrados na literatura, indicando que seu uso energético ainda é viável, mesmo após o processo de extração.

Palavras-chave: Poder calorífico superior, Extrativos, Energia da biomassa.

Extraction of *Pinus elliottii* wood in ethanol impacts its energy stock

Abstract: The aim of this study was to evaluate the influence of soluble extractives in ethanol on the higher calorific value of *Pinus elliottii* wood. *Pinus elliottii* chips, dried outdoors for seven days, were used. The material was divided in two parts, one used in the process of extraction and definition of the upper calorific value (PCS) and the other one used directly to obtain the PCS. The extraction was carried out in ethanol using the norm of determination of the total extractives. The removal of part of the extractives had a direct influence on the calorific value of *Pinus elliottii* wood, being responsible for the decrease of the amount of available heat per unit mass. The extraction process had a direct influence on the calorific power of *Pinus elliottii* wood. Even without ethanol-soluble extractives, the wood presented better results for PCS when compared to the PCS results of *Araucaria angustifolia*, *Pinus* sp. and *Pinus elliottii* found in the literature, indicating that their energy use is still viable, even after the extraction process.

Keywords: Higher calorific value, Extractive, Biomass energy.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil apresentou um avanço na utilização de energias renováveis como a biomassa vegetal para geração de energia, sendo que o consumo mundial de insumos energéticos crescerá 40% até 2035 (IEA, 2013). Goldemberg (2017), afirma que a atual rota de desenvolvimento com base no consumo de combustíveis fósseis não é sustentável em função da exaustão das reservas, segurança de abastecimento e impactos ambientais indicando, entre outras

soluções, a utilização crescente de energias renováveis.

Tendo em vista o equilíbrio ambiental e econômico, a busca por novas fontes renováveis de energia se torna cada vez maior e mais importante. A utilização da madeira de espécies florestais plantadas como matéria-prima é aplicada para a obtenção de diversos produtos como madeira serrada, painéis reconstituídos e compensados, carvão vegetal, papel e celulose (Carneiro, 2013; Protásio et al, 2015; Fernandez et al., 2016). A pirólise tem sido amplamente estudada como forma de melhorar a eficiência energética de diversos materiais lignocelulósicos. A partir desse processo são produzidos carvões e outros subprodutos energéticos, como o licor pirolenhoso e uma fração de gases inflamáveis (Padilla et al., 2018).

Dada a natureza heterogênea de biomassas lignocelulósicos, sua composição química influencia diretamente o seu desempenho energético. O maior conhecimento sobre sua composição química das biomassas pode melhorar a eficiência energética de diferentes materiais (Nakashima et al., 2014; Goldemberg, 2017). O teor de extrativos é um importante indicador de conformidade da madeira para diversos usos industriais (Panshin e De Zeeuw, 1980). Os extrativos são compostos da madeira não pertencentes à parede celular, com baixa ou média massa molecular, encontrados em pequenas quantidades e podem ser extraídos em água, álcool, solventes orgânicos neutros e presentes em toda árvore, mas principalmente, na casca (Barrichelo e Brito, 1985).

Dentre as espécies florestais plantadas, podemos citar as do gênero *Pinus*, que compreende aproximadamente 600 espécies florestais, destacando-se o *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* por apresentar grande aplicação industrial no Brasil. O *Pinus elliottii* possui teores aproximados de celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos de 45%, 30%, 20% e 10%, respectivamente (Horst et al., 2014).

Nesse contexto, existem parâmetros energéticos que avaliam o potencial comburente das biomassas, entre eles a análise do poder calorífico (Demirbas, 2004). O poder calorífico superior reflete na quantidade de energia do combustível, incluindo a energia usada para a vaporização de água do material, sendo esta uma importante propriedade dos combustíveis (Gillespie et al., 2013; Wahid et al., 2017). Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos extrativos no poder calorífico superior da madeira de *Pinus elliottii* e verificar a viabilidade do seu uso energético após o processo de extração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

Foram selecionados cavacos de *Pinus elliottii* e os mesmos foram secos ao ar livre durante

sete dias. O material foi dividido em duas partes, uma utilizada no processo de extração e definição do poder calorífico superior (PCS) e a outra foi utilizada diretamente para obtenção do PCS.

2.2 Extração

Para a realização da extração e a determinação do teor de extrativos em etanol, foram utilizados aproximadamente 20,0 g de serragem de Pinus e os procedimentos foram realizados de acordo com a norma Tappi T 204 cm-97 (TAPPI, 1997).

2.3 Determinação do poder calorífico superior

Para a realização do poder calorífico, foram realizadas 5 repetições com a madeira contendo extrativos e 5 repetições com a madeira após o processo de retirada dos extrativos em etanol. As amostras foram secas em estufa, a 103 ± 2 °C, durante 24 h, a fim de determinar a umidade. Posteriormente, as amostras foram analisadas em bomba calorimétrica modelo Ika C200 seguindo a norma NBR 8633 (ABNT, 1984).

O poder calorífico inferior (PCI) foi obtido através da Equação 1.

$$(1)$$

Em que: PCI= Poder Calorífico Inferior; PCS= Poder Calorífico Superior; %H= Teor de Hidrogênio (considerado 6,00 para este trabalho).

O poder calorífico útil (PCU) foi obtido através da Equação 2 (Brito, 1993).

$$(2)$$

Em que: PCU= Poder Calorífico Útil; PCI= Poder Calorífico Inferior; %U= Teor de Umidade.

2.4 Análise dos dados

Inicialmente, foi realizado o teste de normalidade de Shapiro Wilk, e, em seguida, foi realizado o Teste de t, a nível de 5% de significância. Foram comparadas as médias do poder calorífico superior, inferior, útil e umidade do material com e sem extrativos.

3. RESULTADOS

Tabela 1 - Valores do poder calorífico e do teor de umidade da madeira de pinus antes e depois do processo de extração

	PCS	PCI	PCU	U
	kcal.kg ⁻¹			%
<i>Pinus elliottii</i>	4776 a	4474 a	3199 a	25.13 b

Pinus elliottii após a extração

4671 h 4369 h 1598 h 55,76 a

Em que: PCS= Poder Calorífico Superior; PCI= Poder Calorífico Inferior; PCU= Poder Calorífico Útil; U= Umidade. Médias acompanhadas de mesma letra na coluna não apresentam diferença significativa pelo Teste de t a 5% de probabilidade.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho comprovam a influência do poder calorífico dos extrativos no poder calorífico da madeira. Pode-se observar que, após o processo de extração, o poder calorífico da madeira reduziu em mais de 100 kcal.kg⁻¹. A madeira com extrativos apresentou, também, um maior poder calorífico inferior (PCI), que leva em consideração o teor de oxigênio da madeira, geralmente na faixa dos 6% (Brito, 1993). Já no poder calorífico útil (PCU), que leva em consideração o teor de umidade da madeira, os resultados foram mais discrepantes, visto que, após o processo de extração e a secagem ao ar livre, a madeira ainda apresentou uma umidade de 55,76%.

Os valores de poder calorífico superior (PCS) encontrados para *Pinus elliottii* com os extrativos foi de 4776 kcal.kg⁻¹ e 4671 kcal.kg⁻¹ após as extrações, estes valores são superiores aos obtidos por Balloni (2009), que obteve uma média de 4323 kcal.kg⁻¹ ao caracterizar a madeira de *Pinus elliottii* de um pequeno povoamento na cidade de Itapeva/SP. Ferreira et al. (2014) encontraram resultados inferiores (4387 kcal.kg⁻¹) aos resultados obtidos neste trabalho, quando utilizaram os cavacos e as cascas de pinus para a determinação do poder calorífico superior.

Os valores de PCS obtidos neste trabalho também foram superiores aos valores obtidos por Menezes (2013), que avaliou o poder calorífico de *Pinus sp.* e *Araucaria angustifolia* e encontrou valores médios iguais a 4115 e 4139 kcal.kg⁻¹, respectivamente. Os valores de PCI obtidos neste trabalho também foram superiores aos valores obtidos por Menezes (2013) tanto para o *Pinus sp.* (4038 kcal.kg⁻¹) quanto para a *Araucaria angustifolia* (4060 kcal.kg⁻¹). Deve-se atentar para o alto teor de umidade encontrado na madeira após o processo de extração, o que influenciou diretamente o PCU do material avaliado, visto que a umidade se correlaciona negativamente com o PCS. Lima, Abdala e Wenzel (2008) ao analisarem discos de *Eucalyptus benthamii* com umidades variando entre 0 e 60% encontrou uma correlação de 0,99 nos dados, indicando que, quanto mais alto o teor de umidade, menor é o PCS da madeira, visto que ocorre um gasto energético para que ocorra a evaporação da água. Um resultado semelhante foi obtido por Furtado et al. (2012), que encontraram um alto coeficiente de correlação negativo (0,94) ao correlacionar a umidade da madeira de *Pinus taeda* de diferentes idades com o seu respectivo PCS.

Os resultados indicam que, mesmo após a retirada dos extrativos solúveis em etanol, a madeira de *Pinus elliottii* possui alta viabilidade energética para utilização no setor de energia.

5. CONCLUSÕES

O processo de extração teve influência direta no poder calorífico da madeira de *Pinus elliottii*. Mesmo sem os extrativos solúveis em etanol, a madeira apresentou melhores resultados para PCS quando comparados aos resultados do PCS de *Araucária angustifolia*, *Pinus sp.* e *Pinus elliottii* encontrados na literatura, indicando que seu uso energético ainda é viável, mesmo após o processo de extração.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) pelos recursos cedidos para a realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

Balloni CJV. Caracterização Física e Química da Madeira de *Pinus elliottii* [trabalho de conclusão de curso] - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2009.

Barrichelo LEG, Brito JO. Química da Madeira. Piracicaba: ESALQ, 1985. 125 p.

Brito JO. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: Congresso Florestal Panamericano, 1.; Congresso Florestal Brasileiro, 7., 1993, Curitiba. Anais... Curitiba: SBS, SBEF, 1993. p.280-282.

Carneiro ACO. Bioenergia e biorrefinaria - Cana-de-açúcar e espécies florestais: Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal. 2013. 455 p.

Demirbas A. Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, v. 30, n. 2, p. 219-230.

Fernandez BO, Gonçalves BF, Pereira ACC, Hansted ALS, Pádua FA, Róz AL, Yamaji FM. Características mecânicas e energéticas de briquetes produzidos a partir de diferentes tipos de biomassa. Revista Virtual de Química, 2016, vol. 9, n. 1, p. 29-38.

Ferreira ITM, Schirmer WN, Machado GO, Guerri MVD. Estimativa do Potencial Energético de Resíduos Celulósicos de Fabricação de Papel Através de Análise Imediata. Revista Brasileira de Energias Renováveis, 2014, v. 3, p. 284-297.

Furtado TS, Ferreira JC, Brand MA, Neves MD. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 577-582, 2012.

Gillespiea, GD, Everard CD, Fagan CC, McDonnell KP. Prediction of quality parameters of biomass pellets from proximate and ultimate analysis. Fuel, 2013, v. 111, n. 1., p. 771-777.

Goldemberg J. Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia. Revista Virtual de Química, 2017, v. 9, n. 1, p. 15-28.

Horst DJ, Petter RRH, Vieira RA, Wagner TM. HPLC mapping of second generation ethanol production with lignocelluloses wastes and diluted sulfuric hydrolysis. Acta Scientiarum Technology, 2014, v. 36, n. 4, p. 591–598.

International Energy Agency – IEA. CO2 emissions from fuel combustion highlights [online]. 2013. Disponível em: <www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2013.pdf> Acessado em: 02 jun 2019.

Lima EA, Abdala EM, Wenzel AA. Influência da Umidade no Poder Calorífico Superior da Madeira. Comunicado Técnico, 220. Embrapa Florestas, 2008. 3 p.

Menezes MJS. Poder calorífico e análise imediata da maravalha de pinus (*Pinus* sp) e araucária (*Araucaria angustifolia*) de reflorestamento como resíduos de madeira [dissertação]. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel. 2013.

Nakashima GT, Martins MP, Silva DA, Chrisostomo W, Yamaji FM. Aproveitamento de resíduos vegetais para a produção de briquetes. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 2014, n. 34, p. 22-29.

Padilla ERD, Belini GB, Nakashima GT, Waldman WR, Yamaji FM. Potencial energético da casca de coco (*Cocos nucifera* L.) para uso na produção de carvão vegetal por pirólise. Revista Virtual de Química, 2018, v. 10, n. 2, 12 p.

Panshin, AJ, De Zeeuw C. Textbook of wood technology. 4. ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722p.

Protásio TP et al. Thermal stability of particleboards of sugar cane bagasse and *Pinus* spp. Wood Science and Technology, New York, v. 43, n. 107, p. 683-691, Sept. 2015.

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

Vidaurre GB, Carneiro ACO, Vital BR, Santos RC, Valle, MLA. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). Revista Árvore, 2012, v. 36, n. 2, p. 365-371.

Wahid FRAA, Saleh S, Samad NAFA. Estimation of Higher Heating Value of Torrefied Palm Oil Wastes from Proximate Analysis. Energy Procedia, 2017, v. 138, n. 1, p. 307-312.