

## PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DE CO-PRODUTOS FLORESTAIS

<sup>1</sup>Nickson Fernandes de Oliveira Carvalho (agronickson@gmail.com), <sup>1</sup>Ellen Rachel Evaristo de Moraes (ellen-rachel@hotmail.com), <sup>1</sup>Rosimeire Cavalcante dos Santos (meire\_caico@yahoo.com.br), <sup>1</sup>Sarah Esther de Lima Costa (sarahcostaa@yahoo.com.br), <sup>1</sup>Cynthia Patrícia de Sousa Santos (cynpss@live.com), <sup>1</sup>Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes (izabelle.rodriguesferreira@gmail.com), <sup>1</sup>Luiz Carlos Dantas de Oliveira (luiz.ufrn@hotmail.com).

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Unidade Acadêmica especializada em Ciências Agrárias/Escola Agrícola de Jundiá  
RN 160 – Km 03 – Distrito de Jundiá – Macaíba/RN  
CEP: 59280-000 | Cx Postal 07

**RESUMO:** Objetivou-se com esse trabalho, a caracterização energética de co-produtos florestais. Para a realização dos procedimentos da caracterização energética dos co-produtos, foram adotados dois tratamentos, E1 referente ao resíduo de eucalipto e P2 ao resíduo de pinus. Em laboratório, o material foi moído em moinho martelo de 2 mm, em seguida. Para a avaliação da densidade a granel, foi adotada a norma EM 15103: DIN (2010). A análise química imediata foi realizada de acordo com norma ABNT NBR 8112 (1986), para determinação do carbono fixo, teor de cinzas e teor de voláteis. O poder calorífico superior foi realizado conforme a norma ABNT NBR 8633 (1984). Para o cálculo do poder calorífico inferior, foi adotada a equação:  $PCI=PCS-324$ . Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos e três repetições para cada análise. Os dados foram submetidos ao teste F, e as médias comparadas por Tukey, com nível de significância de 5%. Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do programa BioEstat, versão 5.3. Ambos os resíduos apresentaram características para a geração de energia satisfatórias, podendo ser verificado em estudos posteriores a sua transformação em biocombustíveis sólidos.

**Palavras-chave:** poder calorífico; eucalipto; pinus; biomassa.

## 1. INTRODUÇÃO

Estima-se que no Brasil a produção de co-produtos florestais esteja na ordem de 19 milhões de metros cúbicos por ano (FAO, 2017). A biomassa florestal, para geração de energia, pode ser obtida na colheita, em tratamentos silviculturais, no processamento da madeira ou de florestas energéticas, que tem como finalidade o fornecimento de matéria prima para co-geração de energia (Spanhol et al., 2015).

Para Vassilev, Vassileva e Vassilev (2015) e Basso et al. (2016) as vantagens da utilização de biocombustíveis sólidos são ambientais, sociais e econômicas, uma vez que as matérias-primas utilizadas para sintetizá-las são oriundas do processamento da biomassa natural. Isso significa baixo custo e gerenciamento do grande volume de biomassa "residual" produzida. Também proporcionaria os benefícios de reduzir a mudança climática, as emissões de poluentes e o uso de combustíveis fósseis. Ao mesmo tempo, essa abordagem diversifica a matriz energética, melhora a segurança energética e gera empregos e renda.

Para Ferreira et al. (1989), o aproveitamento da transformação de uma tora com casca em tábuas, é de aproximadamente 40% de madeira processada, sendo os 60% restantes assim alocados: 10% de aparas de plaina, 26% de aparas do corte, 13% de pó de serra e 11% de cascas. O desperdício no setor madeireiro ainda é muito grande, apesar dos avanços tecnológicos. Estima-se que do volume total de uma tora, seja aproveitado cerca de 40% a 60%, significando que a cada dez árvores cortadas, apenas cinco serão aproveitadas comercialmente (MADY, 2000).

Esses co-produtos podem ser obtidos a partir de madeiras e serrarias por exemplo, e propõe a total utilização do potencial das árvores além de reduzir os produtos de

madeira não utilizados nas indústrias, bem como mitigar o impacto da poluição ambiental resultante da queima da madeira ou carvão (PUROHIT; KUMARTRIPATHI; KANDPAL, 2006).

Os principais problemas da utilização de co-produtos industriais e florestais para produção de energia estão relacionados, principalmente, a baixa densidade energética, as dimensões e volumes variados, a alta higroscopicidade e teor de umidade (SANTOS et al., 2011). Desse modo, objetivou-se com esse trabalho a caracterização das propriedades energéticas de co-produtos da exploração florestal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos procedimentos da caracterização energética dos co-produtos, estes foram coletados no município de Viçosa/MG. Sendo assim, foram adotados dois tratamentos, sendo o tratamento E1 referente ao resíduo de eucalipto e P2 ao resíduo de pinus. Para a espécie de eucalipto foram utilizadas ponteiros, tais quais não são empregadas na cadeia econômica, e constituídas por folhas e galhos. Para o pinus, foram utilizadas sobras de madeira empregadas na indústria moveleira. A partir disso, o material foi encaminhado ao laboratório de Painéis e Energia da Madeira do departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, para a realização das análises.

Primeiramente, o material foi moído com a finalidade de obter granulometria adequada para as análises de caracterização e para isso foi utilizado o moinho martelo de 2 mm. A fim de preparar o material para a análise química imediata, ambos os co-produtos foram peneirados em peneiras com malha de 40 mesh e utilizada a porção concentrada na peneira de 60 mesh, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998).

O material estudado foi inserido em um Becker de 0,001 m<sup>3</sup> e pesado para a avaliação da densidade a granel de acordo com a norma EM 15103: DIN (2010). A análise química imediata foi realizada conforme os procedimentos indicados na norma ABNT NBR 8112 (1986), para determinação do carbono fixo, teor de cinzas e teor de voláteis. O poder calorífico superior foi realizado conforme a descrição da norma ABNT NBR 8633 (1984). Para o cálculo do poder calorífico inferior, foi adotada a equação 1:

$$PCI = PCS - 324 \quad (1)$$

Sendo:

PCI: Poder calorífico inferior (kcal/kg);

PCS: Poder calorífico superior (kcal/kg).

O estudo foi conduzido segundo um experimento inteiramente casualizado com dois tratamentos e três repetições para cada análise. Os dados foram submetidos ao teste F, sendo as médias comparadas por Tukey, com nível de significância de 5%. Para os procedimentos estatísticos utilizou-se o programa BioEstat, versão 5.3.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão apresentados os valores médios dos resultados obtidos para materiais voláteis (%), cinzas (%) e carbono fixo (%), dos resíduos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.

Tabela 1 – Análise química imediata dos resíduos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.

Tratamento	Voláteis (%)		Cinzas (%)		Carbono Fixo (%)	
	Média	SD	Média	SD	Média	SD
1E	82,74 ns	± 1,26	1,71 a	± 0,00	15,54 ns	± 1,26
2P	89,46 ns	± 2,93	0,45 b	± 0,07	10,53 ns	± 2,93

Médias seguidas por letras diferentes indicam que houve diferença estatística com nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Médias seguidas por ns indicam que os dados não são significativos ( $p > 0,05$ ).

Os materiais voláteis podem ser conceituados como as substâncias que são desprendidas da madeira como gases durante o processo de carbonização. A quantidade de materiais voláteis está diretamente relacionada com a queima no processo de carbonização, pois quanto maior o teor de materiais voláteis, mais rápido é a queima.

O percentual de teor de material volátil encontrado para os resíduos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. foram respectivamente 82,74 % e 89,46%, corroborando com os resultados obtidos em estudos realizados por Arola (1976) e Brito e Barrichelo (1982), onde verificaram-se teores de materiais voláteis e de carbono fixo entre 75 e 85 % e 15 e 25%, respectivamente. Amorim *et al.* (2015) obteve teores médios de materiais voláteis de 85,3% para *Pinus* sp., também consoante ao teor obtido no presente estudo.

A cinza é composta por materiais inorgânicos que não se queimam e, portanto, não liberam energia na forma de calor, apresentando uma relação inversa com o poder calorífico. Observou-se que o eucalipto apresentou teor de cinzas superior ao resíduo de pinus, diferindo significativamente entre si. Britto (1997) encontrou para *Eucalyptus urophylla* 0,7% de teor de cinzas e 1,0% para *Eucalyptus citriodora*. De acordo com Carroll e Finnan (2012), o valor médio do teor de cinzas encontrado para espécies de *Pinus* sp. é de 0,7%, logo, o valor 0,45% está dentro do que normalmente é verificado.

Os materiais estudados podem ser considerados aptos para aplicação, em relação aos teores de cinza, uma vez que se um material com o mínimo de impurezas para uso, ou seja, baixo teor de cinzas.

Materiais que possuam altos teores de carbono fixo e teores de materiais voláteis mais baixos tendem a se queimar mais lentamente, necessitando um longo período em fornalha para se obter combustão total, quando comparados com combustíveis com baixo índice de carbono fixo (BRAND, 2010). Para o teor de carbono fixo, os materiais analisados obtiveram teor médio de 15,54 e 10,53%, respectivamente, apresentando padrão de queima fundamental para produção de energia.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios para características de densidade a granel ( $\text{kg/m}^3$ ), poder calorífico superior (kcal/kg) e poder calorífico inferior (kcal/kg) em função dos tratamentos.

Tabela 2 – Densidade a granel, poder calorífico superior e poder calorífico inferior dos resíduos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.

Tratamento	Densidade a granel ( $\text{kg/m}^3$ )		PCS (kcal/kg)		PCI (kcal/kg)	
	Média	SD	Média	SD	Média	SD
1E	224,4 a	$\pm 0,87$	4992 ns	$\pm 41,72$	4668 ns	$\pm 41,72$
2P	186,6 b	$\pm 0,70$	5088 ns	$\pm 9,90$	4764 ns	$\pm 9,90$

Médias seguidas por letras diferentes indicam que houve diferença estatística com nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Médias seguidas por ns indicam que os dados não são significativos ( $p > 0,05$ ).

De acordo com Protásio *et al.* (2011), são preconizados resíduos lignocelulósicos que apresentem valores de densidade a granel mais elevados, considerando que esta variável terá influência direta sobre o custo de transporte e densidade energética. Com relação aos resíduos analisados, observa-se que houve diferença significativa ao nível de

5% de probabilidade, indicando que o resíduo de *Eucalyptus* sp. apresentou maior valor de densidade a granel, expressando um resíduo de boa qualidade para fins energéticos.

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão completa de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989 *apud* QUIRINO et al., 2005). Observou-se que os valores de poder calorífico superior (PCS) para o *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. correspondem a 4992 kcal/kg e 5088 kcal/kg, respectivamente. O maior valor desta variável para madeira de pinus muito possivelmente está associado ao fato da mesma ser uma conífera, apresentando altas concentrações de lignina e resina e consequentemente, maior poder calorífico.

Segundo Jara (1989), o poder calorífico inferior (PCI) é caracterizado pela energia disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação de água. Analisando-se os dados obtidos, entende-se que o valor do tratamento 2 (resíduo de *Pinus* sp.) obteve maior resultado como consequência do valor de poder calorífico superior (5088 kcal/kg) que também foi elevado, porém este não difere estatisticamente do tratamento com *Eucalyptus* sp.

#### **4. CONCLUSÕES**

Para a maioria das variáveis analisadas, não houve diferença significativa entre os tratamentos, portanto embora os co-produtos sejam provenientes de espécies diferentes e por consequência poderiam possuir características distintas, ambos os co-produtos apresentaram características satisfatórias do ponto de vista da co-geração de energia, esse fato evidencia a potencialidade de transformação desses co-produtos florestais em biocombustíveis sólidos de qualidade.

#### **5. AGRADECIMENTO**

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte, à Escola Agrícola de Jundiá, ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, e ao Grupo de Estudos em Energia da Biomassa pelo apoio para realização deste estudo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

#### **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AMORIM, F.S.; RIBEIRO, M.X.; PROTÁSIO, T.P. BORGES, C.H.A. & COSTA, R.M.C. (2015) - Produção de briquetes a partir de espécies florestais. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, vol. 10, n. 4, p. 34-41.
- AROLA, R.A. Wood fuels – how do they stack up? Atlanta: Forests Products Research Society, 1976. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997, 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633: Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- BASSO, D. et al. Agroindustrial waste to solid biofuel through hydrothermal carbonization. Waste Management, v. 47, p 114–21, 2016.
- BRAND, M. A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.
- BRITO, J. O. BARRICHELO, L. E. G. MURAMOTO, M. C. HILTON, T. Z. C. Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal a partir de sua densidade aparente. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 150. Outubro/1982.

- BRITO, J.O. DE; BARRICHELO, LUIZ ERNESTO G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEF, Piracicaba, v. 14, p. 9-20, 1977.
- CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C. Emerging timber bridge program to São Paulo State: a five-year report. Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 5, p. 459-464, 2011.
- CARROLL, J.P. & FINNAN J. (2012) - Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. Biosystems Engineering, vol. 112, n. 2, p. 151-159.
- CHEUNG, A. B. Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos. 2007. 305 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.
- Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.
- EUROPEAN STANDARD NORME. EN 15103: Solid biofuels - Determination of bulk density. DIN EN 15103, Brussels 2010.
- FAO – Forestry Production and Trade. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- FERREIRA, C. E. M.; CARRASCO, E. V. M.; HELMEISTER, J. C. Tecnologia de adesivos poliuretanos: propriedades e aplicações em madeiras. In: Anais Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeiras. São Carlos, São Paulo: LaMEM/EESC-USP, 1989. p. 39- 74.
- HALDAR, A.; MAHADEVAN, S. Probability, reliability and statistical method in engineering design. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. 304 p.
- JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)
- MADY, F. T. M. Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais. Programa de Desenvolvimento Tecnológico. SEBRAE; 2000.
- MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. Avaliação experimental de vigas mistas de MLC e concreto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, EBRAMEM, 12., 2010, Lavras, MG, Brasil. Anais.... Lavras, MG: UFLA, 2010. 8 p. CD-ROM.
- MLA. How do I document sources from the web in my works-cited list? Modern Language Association. Disponível em: <<http://www.mla.org>>. Acesso em: 10 jul. 2013.
- PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V.O.; BALIZA, A. E. R. PUROHIT, P.; KUMARTRIPATHI, A.; KANDPAL, T. C. Energetics of coal substitution by briquettes of agricultural residues. Energy, New Delhi, v. 31, p.1321-1331, jul. 2006.
- QUIRINO, WALDIR F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno- celulósicos. Revista da Madeira, v. 89, p. 100-106, 2005.
- SANTOS, R.C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. Scientia Forestalis, vol. 39, p. 221 - 230, 2011.
- SPANHOL, A.; NONES, D.L.; KUMABE, F.J.B. & BRAND, M.A. – Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. Revista Floresta, vol. 45, p. 833 - 844, 2015.
- STATSOFT, Inc. STATISTICA, /Data analysis software system, version 8.0/, 2010.
- TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI test methods. Atlanta: 1998. 46 p.
- VASSILE. S. V.; VASSILEVA, C. G.; VASSILEV V. S. Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. Fuel, v. 158, p. 330-35015, 2015.



**12 A 14 de novembro de 2018**  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido | Mossoró-RN

**Tema: O Futuro e Inovação Tecnológica no Setor Florestal Brasileiro: Como Expandir a Produção Florestal no Semiárido?**

