



Propriedades físicas e estimativa energética de biomassa residual de teca a partir da análise química imediata

Paulo Renato Souza de Oliveira ¹; Sueo Numazawa ²; Paulo Fernando Trugilho ³

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade Federal de Lavras / pr.oliveira0@gmail.com; ² Professor Titular / Universidade Federal Rural da Amazônia / sueo.numazawa@gmail.com; ³ Professor Titular / Universidade Federal de Lavras / trugilho@ufla.br;

Resumo: Há uma crescente demanda no panorama mundial pela utilização de energia advinda de fontes renováveis, tal como a biomassa florestal. Em vista disso, o trabalho objetivou caracterizar qualitativamente toras de desbaste iniciais e galhadas de povoamentos de teca, no Estado do Pará, para fins energéticos. Foram analisados atributos físicos (umidade e densidade básica) e químicos (teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo), que foram usados para estimar os atributos energéticos (poder calorífico superior, inferior, útil e densidade energética). O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, com 2 tratamentos e 10 repetições para os atributos físicos e 3 repetições para os demais. Como resultados, não houve diferença estatística para as características teor de cinzas e poder calorífico útil. No entanto, ambas as biomassas estudadas possuem atributos favoráveis para utilização bioenergética.

Palavras-chaves: Fonte renovável, Potencial energético, *Tectona grandis* L.f.

Physical properties and energy estimation of residual biomass teak from proximate chemical analysis

Abstract: Globally, there is a growing demand for the use of energy from renewable sources, as well as forest biomass. Therefore, the aim of this research was to qualitatively characterize the logs from first thinning and brushwood of teak stands in the State of Pará for energy purposes. Physical attributes (moisture and basic density) and chemicals (volatile materials, ashes and fixed carbon content) were analyzed, which were used to estimate the energy attributes (higher heating value, lower heating value, liquid heating value and energy density). Were used a completely randomized experimental design, with 2 treatments and 10 repetitions for the physical parameters and 3 repetitions for the other. As results, there was not statistical difference for the ash content and liquid heating value. However, both biomasses studied have favorable attributes for bioenergetic use.

Keywords: Renewable source, Energy potential, *Tectona grandis* L.f .

1. Introdução

A produção de energia com impacto ambiental reduzido e baixo consumo de produtos derivados do petróleo é alcançada com o uso de fontes renováveis (Borges et al., 2016). A matriz energética brasileira ganha destaque mundial pelo uso intensivo dessas fontes. No entanto, este cenário pode ser mais promissor se incluído os resíduos obtidos na colheita, tratamentos silviculturais, processamento da madeira ou por meio de florestas energéticas.

O Brasil possui relevante número de empresas que processam espécies florestais. A área total de árvores plantadas no país totalizou 7,84 milhões de hectares em 2016. Nesse mesmo ano, o setor gerou 47,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo que, desse total, 33,7 milhões



(70,5%) foram gerados pelas atividades florestais e 14,1 milhões (29,5%) pelas indústrias (IBÁ, 2017).

Há ainda espécies florestais que são afetadas pela competição intraespecífica, o que requer a aplicação de desbastes. Esse é o caso da teca (*Tectona grandis* L. f., Família Lamiaceae). De acordo com Pelissari et al. (2014), os povoamentos são mantidos com densidade inicial de 1 a 2 mil árvores por hectare e, posteriormente, se realiza desbastes com intensidades entre 40 % a 60 % do número de indivíduos por hectare.

Esses materiais residuais poderiam ser convertidos em energia de diferentes maneiras, como na geração de calor pela queima direta da biomassa *in natura*; ou após a produção de biocombustíveis sólidos (carvão, pellets e briquetes); combustíveis líquidos e gasosos (Spanhol et al., 2015). Diante do exposto, este trabalho objetivou caracterizar qualitativamente a biomassa residual de povoamentos de teca, no Estado do Pará, para fins bioenergéticos.

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado na Fazenda São Luiz, de propriedade da empresa Tietê Agrícola Ltda. A sede da fazenda está localizada no município de Capitão Poço, Pará – em latitude 02°21'17" S e longitude 47°22'19" W. Foram estudadas duas biomassas residuais: toras de desbaste e galhadas. O primeiro foi composto de toras provenientes de desbastes iniciais dos plantios, com diâmetros inferiores aqueles necessários para processamento mecânico (47 cm) e de estocagem realizada em pequenas pilhas com tempo aproximado de 6 meses. O segundo material se tratou de galhos finos, grossos e fuste acima do limite da altura comercial estabelecido para o povoamento (5 m) e proveniente de indivíduos desbastados.

Na amostragem, utilizaram-se 10 toras de desbaste, onde se retiraram três discos (base, meio e topo) que, posteriormente, foram subdivididos em cunhas para a determinação das características da madeira. A amostragem nas galhadas consistiu na utilização de 10 copas desprovidas de folhas, das quais se retiraram as amostras para os ensaios no material lenhoso.

Para determinação da umidade, utilizou-se o método gravimétrico, como descrito na NBR 14929 (ABNT, 2003). A densidade básica foi determinada com base na NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003).

Para as determinações químicas e energéticas, usou-se uma furadeira acoplada com broca de auto alimentação para obtenção de partículas menores. Então, se fez a classificação granulométrica, sendo utilizado o material que passou por peneira de 40 e foi retido em peneira de 60 mesh. Para a análise da composição química imediata, que consiste na determinação dos teores de materiais

voláteis, cinzas e carbono fixo, seguiu-se a recomendação da norma D1762 da American Society for Testing and Material (ASTM, 2013).

O poder calorífico foi estimado por meio das equações (1), (2) e (3), obtidas através de modelagem da análise imediata e do poder calorífico de diversas biomassas sólidas (Parikh; Channiwala; Ghosal, 2005).

$$PCS = 0,3536 \times TCF + 0,1559 \times TMV - 0,0078 \times TCZ \quad (1)$$

$$PCI = PCS - (2,5116 \times 0,09 \times H) \quad (2)$$

$$PCU = (PCI \times (1 - (0,01 \times U))) - (2,5116 \times 0,01 \times U) \quad (3)$$

onde, PCS é o poder calorífico superior (MJ.kg^{-1}), PCI é o poder calorífico inferior (MJ.kg^{-1}), PCU é o poder calorífico útil (MJ.kg^{-1}), TCF é o teor de carbono fixo (%); TMV é o teor de materiais voláteis (%), TCZ é o teor de cinzas (%), H é o teor de hidrogênio elementar (%) e U, é a umidade média (%).

Considerou-se o percentual de hidrogênio o mesmo obtido por Flórez (2012), de 6,42 %, ao estudar indivíduos de teca em idade variando de 5 e 8 anos.

A densidade energética (DE) foi determinada por meio do produto entre o poder calorífico inferior em MJ.kg^{-1} e a densidade básica média em g.cm^{-3} .

O delineamento adotado foi inteiramente casualizado, com 2 tratamentos e 10 repetições para os atributos físicos e 3 repetições (determinada em duplicata) para as demais características. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variância de Bartlett, ambos à 95% de probabilidade. Posteriormente, realizou-se a análise de variância univariada para avaliação do delineamento considerado e o Teste t de Student para comparação entre médias. A análise estatística foi realizada com auxílio do *software* R (R Development Core Team, 2014).

3. Resultados

O resumo das análises de variância dos atributos físicos, químicos e energéticos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Verifica-se que, na Tabela 1, o efeito de tratamento foi significativo em nível de 5 % e 1 %, respectivamente, para a umidade e a densidade básica da madeira. Na Tabela 2 somente o teor de cinzas e poder calorífico útil não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (biomassa de toras e galhada).

Tabela 1. Resumo da análise de variância do delineamento experimental adotado, médias e respectivos desvios-padrões das características de umidade e densidade básica.

Fator de variação	GL	Quadrado médio
-------------------	----	----------------



Tratamento	1	10,422	0,006189
Resíduo	18	2,213	0,000680
Total	19		
P-valor		0,0436*	0,00742**
Tratamento	Média e desvio-padrão		
	U (%)	Db (g.cm ⁻³)	
Galhada	20,72a ± 1,48	0,478a ± 0,018	
Tora de desbaste	19,28b ± 1,50	0,513b ± 0,032	

U = Umidade, Db = Densidade básica. * e ** = significativo em nível de 5 e 1% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo Teste t de Student (p > 0,05).

Tabela 2. Resumo da análise de variância do delineamento experimental adotado, médias e respectivos desvios-padrões das características da análise química imediata, poder calorífico e densidade energética.

Fator de variação	GL	Quadrado médio						
		TMV (%)	TCZ (%)	CF (%)	PCS (MJ.kg ⁻¹)	PCI (MJ.kg ⁻¹)	PCU (MJ.kg ⁻¹)	DE (GJ.m ⁻³)
Tratamento	1	9,175	0,000301	9,071	0,3511	0,3511	0,01286	0,22755
Resíduo	4	0,494	0,006716	0,451	0,0166	0,0166	0,01061	0,00405
Total	5							
P-valor		0,0125*	0,843 ^{NS}	0,0109*	0,01*	0,01*	0,333 ^{NS}	0,0017**
Tratamento		Média e desvio-padrão						
		TMV (%)	TCZ (%)	CF (%)	PCS (MJ.kg ⁻¹)	PCI (MJ.kg ⁻¹)	PCU (MJ.kg ⁻¹)	DE (GJ.m ⁻³)
Galhada		79,02a ± 0,82	0,44a ± 0,08	20,54a ± 0,74	19,58a ± 0,14	18,13a ± 0,14	13,85a ± 0,11	8,66a ± 0,07
Tora de desbaste		81,50b ± 0,56	0,43a ± 0,08	18,08b ± 0,59	19,09b ± 0,12	17,64b ± 0,12	13,76a ± 0,10	9,05b ± 0,06

TMV = Teor de materiais voláteis, TCZ = Teor de cinzas, CF = Carbono fixo, PCS = Poder calorífico superior, PCI = Poder calorífico inferior, PCU = Poder calorífico útil, DE = Densidade energética. * e ** = significativo em nível de 5 e 1% de probabilidade, NS = não significativo. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo Teste t de Student (p > 0,05).

4. Discussão

A umidade próxima a 20 % para as biomassas estudadas facilita o emprego energético por meio de vias de conversão termoquímicas. O teor de água até 30 % é considerado adequado, pois diminui custos de transporte, de armazenamento e aumenta a eficiência térmica durante a conversão de energia (Garstang et al., 2002; Liu et al., 2014).

Para densidade básica, os valores obtidos estão dentro da faixa de 0,442 e 0,584 g.cm⁻³ encontrada no estudo de Silva et al. (2015) ao avaliar a madeira de teca de 5 e 8 anos,

respectivamente. No entanto, sabe-se que, quanto maior o valor, maior será a disponibilidade de energia por unidade de volume de madeira (Trugilho et al., 1997), indicando certa vantagem uso da tora de desbaste.

A análise química imediata de ambas as biomassas foi satisfatória, devido ao baixo teor de cinzas, já que se trata do resíduo inorgânico que não atua no processo de geração de energia (Arantes, 2009); e também ao carbono fixo similar a demais biomassas florestais, como resíduos da colheita de *Eucalyptus* sp., de CF de 19,3%, e de casca, galhos e folhas de *Eucalyptus grandis*, de 21,18 %, 18,86 % e 20,87 %, respectivamente (Texeira et al., 2016; Eloy, 2015). Esse valor é necessário para estabelecer o tempo de queima do material combustível (Brand, 2010).

As estimativas médias de PCS mostraram-se próximas das obtidas por outros autores ao estudarem indivíduos jovens de teca. Para Floréz (2012), o PCS médio foi de 19,95 MJ.kg⁻¹, já para Silva et al. (2015) foi de 19,23 MJ.kg⁻¹. Embora a umidade e PCI tenham sido estatisticamente diferente para as biomassas, isso não refletiu na característica de PCU, indicando que seu uso imediato na queima direta, por exemplo, não seria divergente.

A densidade energética estimada foi maior para toras de desbaste. No entanto, para ambas as biomassas estudadas as DEs estimadas foram maiores que aquelas obtidas por Jesus et al. (2017) ao avaliar 5 espécies de *Eucalyptus* (média de 6,58 GJ.m⁻³).

5. Conclusão

As toras de desbastes iniciais e galhadas de povoamentos de teca possuem atributos favoráveis para utilização bioenergética. A disponibilidade de energia térmica útil das biomassas, no modo que se encontram, não diferiu estatisticamente. Desse modo, seus comportamentos em outras vias de conversão podem estar sujeitos a modificações, devido a densidade básica, teor de materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico.

Referências

Borges ACP., Silva MS, Alves CT, Torres EA. Energias Renováveis: uma Contextualização da Biomassa como Fonte de Energia. Revista REDE 2016; 10(2): 23-36.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual da IBÁ 2017, ano base 2016. [acesso em 18 dez. 2018] Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>.

Pelissari AL, Guimarães PP, Behling A, Ebling AA. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. Agrarian Academy 2014; 1(1):127–145.

Spanhol A, Nones DL, Kumabe FJB, Brand, MA. Qualidade dos pellets de biomassa florestal

produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. Floresta 2015; 45(4):833-844.

Garstang J, Weekes A, Poulter, R, Bartlett, D. Identification and Characterisation of Factors Affecting Losses in the Large-Scale, Nonventilated Bulk Storage of Wood Chips and Development of Best Storage Practices. 1ª Ed. London, UK: DTI/Pub URN, Department of Trade and Industry Technology: 2002.

Liu Y, Azis M, Kansha Y, Battacharia S, Tsutsumi A. Application of the self-heat recuperation technology for energy saving in biomass drying system. Fuel Processing Technology 2014; 117(1):66-74.

Silva DA, Christo ER, Belhing A, Mayer SLS, Pelanda KA, Simetti R. Potencial e qualidade da madeira de desbaste de teca para produção de biocombustível. Pesquisa Florestal Brasileira 2015; 35(83):299-305.

Trugilho PF, Vital BR, Regazzi AJ, Gomide JL. Aplicação da Análise de Correlação Canônica na Identificação de Índices de Qualidade da Madeira de Eucalipto para a Produção de Carvão Vegetal. Revista Árvore 1997; 21(2):259-267.

Arantes, MDC. Variação das características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake [tese]. Lavras: Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras; 2009.

Teixeira CM, Martins MP, Yamamoto H, Chrisostomo W, Yamaji FM. Caracterização Química de Resíduos de *Eucalyptus sp.* de Floresta de Curta Rotação para a Produção de Bioenergia. Revista Virtual de Química 2016; 8(5): 1693-1701.

Eloy E. Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do Rio Grande do Sul [tese]. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná; 2015.

Brand MA. Energia de biomassa florestal. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

Floréz, JB. Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L. f) [dissertação]. Lavras: Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras; 2012.

Jesus MS, Costa LJ, Ferreira JC, Freitas FP, Santos LC, Rocha MFV. Caracterização Energética de Diferentes Espécies de Eucalyptus. Floresta 2017; 47(1):11-16.