II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER - PDVAgro 2017

CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS DE BAMBU (*Bambusa vulgaris*) E ANGELIM VERMELHO (*Dinizia excelsa* Ducke)

Apresentação: Comunicação Oral

Djailson Silva da Costa Júnior¹; Elias Costa de Souza²; Stephanni Ingrid de Souza Silva³ Pedro
Paulo Barros Interaminense⁴; Alexandre Santos Pimenta⁵

Resumo

Neste trabalho objetivou-se realizar a caracterização energética dos resíduos de bambu e angelim vermelho, buscando conhecer suas propriedades e avaliar a viabilidade dos mesmos para a produção de briquetes. O briquete é um produto feito a partir da compactação de resíduos sólidos, provenientes da biomassa vegetal, sendo utilizados na produção de energia, substituindo a lenha e o carvão. Os resíduos de bambu foram coletados na empresa *Espetinhos Dona Maria* Ltda, localizada em Nazaré da Mata – PE, que utiliza varas de bambu colhidas em plantios de *Bambusa vulgaris* Schard, para produção de espetinhos para uso doméstico e comercial. A serragem de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) foi coletada em uma marcenaria localizada no município de Macaíba - RN. Nos resíduos, foram determinados o teor de umidade de equilíbrio, a densidade à granel, o poder calorífico superior (kcal.kg^{-1}) e densidade energética (Gcal.m^{-3}). Para avaliar a decomposição térmica dos resíduos, os mesmos foram analisados em uma balança termogravimétrica modelo TG 209 F3 Tarsus, marca NETZCH, obtendo-se as curvas TG e DTG (Termogravimetria e Termogravimetria derivada), em atmosfera dinâmica de N_2 , com temperatura inicial igual a 50°C e taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C.min}^{-1}$, com temperatura final igual a 500°C . Os dados foram inicialmente submetidos ao teste de Shapiro Wilk para avaliação da normalidade. Verificada essa pressuposição, realizou-se análise de variância (ANOVA), e quando detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey para comparações das médias. As massas residuais, ao fim da degradação térmica analisada, são diferentes entre os dois materiais, sendo a serragem o resíduo que apresentou maior valor. Os picos de degradação dos materiais também são diferentes, porém, estas diferenças podem ser benéficas para o briquete, visto que a mistura dos dois materiais irá gerar uma suavização nestas propriedades energéticas.

Palavras-Chave: Entre três e cinco palavras-chave, separadas por vírgula. São palavras características do tema que servem para indexar o artigo.

Introdução

O setor madeireiro, através de suas atividades, produz grandes volumes de resíduos durante o processo de beneficiamento da madeira. Estes resíduos podem ser utilizados como fonte de

¹ Doutorando em Ciências Florestais, UFRPE, djailson_junior@hotmail.com

² Mestrando em Ciências Florestais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, eliasrem@hotmail.com

³ Engenharia Florestal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, stephanniflorestal@gmail.com

⁴ Engenharia Florestal, UFRPE, pinteraminense@gmail.com

⁵ Pós-Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, alexandre_spimenta@hotmail.com

energia, sendo aproveitados na produção de biocombustíveis sólidos. O briquete é um tipo de biocombustível sólido que tem a característica de aproveitar de maneira eficiente os resíduos, através da compactação do material, que faz com que haja o adensamento da matéria e a sua concentração de energia, agregando valor ao produto (PEREIRA JÚNIOR, 2001; QUIRINO; 1991).

O poder calorífico (kJ/kg), a densidade (kg/m³) e a composição são as principais propriedades para a caracterização energética da biomassa. O poder calorífico é dividido em dois tipos: o poder calorífico superior, onde não é considerado o calor associado à condensação da água formada em reação com o hidrogênio contido na biomassa; e o poder calorífico inferior, que é calculado subtraindo do poder calorífico superior, resultando no calor associado com a condensação do vapor de água formado pela reação do hidrogênio contido no resíduo de biomassa (SILVA, 2008).

A espécie *Dinizia excelsa* Ducke, conhecida como angelim- vermelho, é uma espécie da Amazônia, da família Leguminosae, sua madeira é muito utilizada na fabricação de painéis decorativos, dormentes, na construção civil e naval, macetas, no setor de marcenaria e carpintaria (EMBRAPA, 2004; LOUREIRO et al., 1979).

A espécie *Bambusa vulgaris* Schr., o bambu, é uma fibra vegetal muito abundante no Brasil. De acordo com Filgueiras e Gonçalves (1988), há 34 gêneros e 232 espécies nativas no Brasil. Com o passar dos anos, vem aumentando o interesse na utilização das fibras vegetais, isso vem fazendo com que haja a produção de novos produtos. Apesar disso, é necessário que haja o conhecimento das propriedades do material para seleção das fibras para determinado fim (MENDES, 1992).

Desta forma, neste trabalho objetivou-se realizar a caracterização energética dos resíduos de bambu e angelim vermelho, buscando conhecer suas propriedades e avaliar a viabilidade dos mesmos para a produção de briquetes.

Fundamentação teórica

O briquete é um produto feito a partir da compactação de resíduos sólidos, provenientes da biomassa vegetal, sendo utilizados na produção de energia, substituindo a lenha e o carvão. Sendo o produto produzido a partir de resíduos do setor da marcenaria, da serraria, casca de arroz, sabugos de milho, fibras de bambu, palha, bagaço de cana de açúcar, casca de algodão, troncos de árvores, casca de café, soqueira de algodão, entre outros materiais provenientes da biomassa vegetal e florestal, o cenário atual para o mercado deste é bastante promissor, pois há bastante oferta de resíduos, que poderiam ser desperdiçados pelas indústrias, minimizando o desperdício e a pressão

sobre o meio ambiente e, em contrapartida, demanda da sociedade e do mercado produtor por produtos que sejam utilizados para geração de calor (EMBRAPA, 2012; SCHUTZ et. al., 2010).

As matérias primas mais utilizadas no Brasil para produção de briquetes são oriundas da indústria florestal ponteiros de árvores, galhada, serragem, aparas e da atividade agrícola (cascas de arroz, bagaço de cana, cascas de café, etc.), além de outros resíduos agroindustriais que também são largamente utilizados com esse fim, sendo considerado um excelente meio para aproveitar os resíduos (Quirino et al., 2012).

A otimização de condições de briquetagem via combinações de pressão e temperatura de compactação é um recurso que pode ser útil para definir padrões de processo para uso em escala industrial, podendo definir condições específicas de densificação para cada resíduo individualmente (Quirino et al., 2012; Yamaji et al., 2015). Entretanto, apesar de ter usos tecnológicos conhecidos e bem definidos em termos de mercado, no Brasil ainda são escassos trabalhos publicados abordando o uso da variação de temperatura de matriz em combinação com a pressão de compactação para a produção de briquetes com resíduos de bambu.

A qualidade dos briquetes está diretamente relacionada com o tipo de resíduos que lhe deu origem, assim como suas propriedades físicas, mecânica e química. Dentre as propriedades que mais interferem na produção e qualidade dos briquetes do material de origem: estão teor de umidade, geometria das partículas, densidade granel e teor de lignina.

Para aproveitamento racional, misturas de resíduos de bambu em combinação com outros resíduos, em diferentes proporções, foram empregados com sucesso para produção de briquetes (Dias Júnior et al., 2014).

Os principais consumidores de briquetes com fonte energética são as indústrias de cerâmica para queima direta em fornos e as indústrias têxteis e de alimentos. A queima de briquetes é justificada porque é um combustível de alta densidade energética, baixo teor de umidade e maior facilidade de manuseio em relação à lenha (Altener, 2004), podendo ser a queima conduzida com sucesso em olarias, cerâmicas, fornos, alambiques, caldeiras, geradores de ar quente para secagem de grãos e em todo tipo de equipamento projetado originalmente para uso de lenha como fonte de energia.

A TGA (análise termogravimétrica) é realizada na balança termogravimétrica, que é o aparelho onde algumas análises térmicas são realizadas, como, por exemplo, a Análise Termogravimétrica (TGA) ou a Termogravimetria Derivada (DTG), amplamente utilizada para caracterizar os mais diversos materiais, polímeros, cerâmicos, permitindo conhecer algumas características destes materiais, para, assim, conhecer ainda mais sua aplicabilidade (BEZZON, 2008; SANTOS, 2010).

Além destas análises, outras análises são chamadas de análises térmicas, podemos destacar a Análise Térmica Diferencial (DTA), a Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC), a Detecção de gás desprendido (EGA) e a Análise Termomecânica (TMA), estas técnicas obtêm informações sobre variação de massa, estabilidade térmica, pureza, ponto de ebulição e fusão, entre outras (PEREIRA, 2013).

A análise termogravimétrica, que é realizada na balança, gera uma curva termogravimétrica, como no exemplo da Figura 1, onde é mostrado um termograma do carvão vegetal, em atmosfera de oxigênio, com taxa de aquecimento de $20^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$. A curva termogravimétrica mostra a perda de massa em relação à temperatura e o tempo.

Figura 1 - Curva termogravimétrica do carvão vegetal em atmosfera de oxigênio

A análise térmica se constitui de um conjunto de técnicas, onde cada técnica acompanha uma propriedade física específica e para que uma técnica térmica possa ser considerada termoanalítica, devem ser obedecidos três critérios: Deve haver a medição de uma propriedade física; A medida deve ser expressa em função da temperatura; A medida deve ser feita em um programa controlado de temperatura (DENARI, 2012; IONASHIRO, 2004).

Metodologia

Os resíduos de bambu foram coletados na empresa *Espetinhos Dona Maria Ltda*, localizada em Nazaré da Mata – PE, que utiliza varas de bambu colhidas em plantios de *Bambusa vulgaris*

Schard, para produção de espetinhos para uso doméstico e comercial. A serragem de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) foi coletada em uma marcenaria localizada no município de Macaíba - RN.

Nos resíduos, foram determinados o teor de umidade de equilíbrio, a densidade à granel (kg.m^{-3}) com base na norma NBR 6922 (ABNT, 1983), o poder calorífico superior (kcal.kg^{-1}) de acordo com a NBR 8633 (ABNT, 1984) e densidade energética (Gcal.m^{-3}) de acordo com (Protásio et al., 2011).

Para avaliar a decomposição térmica dos resíduos, os mesmos foram analisados em uma balança termogravimétrica modelo TG 209 F3 Tarsus, marca NETZCH, obtendo-se as curvas TG e DTG (Termogravimetria e Termogravimetria derivada), em atmosfera dinâmica de N_2 , com temperatura inicial igual a 50°C e taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C.min}^{-1}$, com temperatura final igual a 500°C .

Os dados foram inicialmente submetidos ao teste de Shapiro Wilk para avaliação da normalidade. Verificada essa pressuposição, realizou-se análise de variância (ANOVA), e quando detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey para comparações das médias.

Resultados e discussões

Para a briquetagem, os materiais empregados devem apresentar teor de umidade em torno de 8%, o que está de acordo com a especificação de Filippeto (2008), que recomenda a faixa de 5 a 15% e preconiza o teor de 8%, como sendo o teor de umidade mais indicado para a maioria dos materiais a serem briquetados. Teores de umidade mais altos tendem a resultar em explosão com a consequente ruptura dos briquetes imediatamente após a prensagem (Filippeto, 2008; Gentil, 2008).

Observa-se na Tabela 1, que a densidade a granel da serragem foi maior em função da mesma estar com sua granulometria menor, em comparação aos resíduos de bambu, que estavam sob a forma de raspas e maravalhas.

Tabela 1: Análise física e energética dos resíduos “in natura”.

Resíduo	U (%)	DG (kg m^{-3})	DE (MJ.m^{-3})	PCS (kcal.kg^{-1})
Bambu	10,5 b	136,6 b	693.707 b	4746 b
Serragem	12,1 a	305,9 a	1.536.839 a	5057 a

Onde: U= Umidade; DG = Densidade a granel; D.E= Densidade energética e PCS = Poder calorífico superior. Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste F, ao nível de 5% de significância.

A densidade energética da serragem foi significativamente mais alta que a dos resíduos de bambu, o que é explicado pelo alto poder calorífico e alta densidade do granel apresentado pela serragem. A serragem tem maior poder calorífico do que a biomassa do bambu em função das diferenças de composição química. A madeira tem maior teor de lignina, de holocelulose e de extrativos totais em relação em comparação a várias espécies de bambu (Brito et al., 1987).

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de decomposição térmica, sendo a linha cheia a curva termogravimétrica e a linha pontilhada a primeira derivada da curva termogravimétrica (TG/DTG).

Figura 2 - Curvas TG/DTG dos resíduos de bambu (A) e da serragem (B)

A decomposição térmica do bambu apresenta resultados de uma menor massa residual ao final da programação de temperatura em comparação com a serragem, sendo de 16,53% e 21,54%, respectivamente, fato explicado pelas diferenças na composição química dos dois materiais. Materiais lignocelulósicos com maiores teores de lignina e extrativos tendem a resistir mais ao aumento da temperatura, resultando em maiores massas residuais ao final da decomposição térmica até valores de 500 a 600 °C, haja visto que durante a transformação térmica a lignina se torna o principal constituinte do carvão (Santos et al., 2013).

A maior perda de massa ocorreu na faixa de temperatura de 250 a 400 °C, com valores de 59,87% e 51,37% para bambu e serragem, respectivamente. Diferenças de composição química podem acarretar variações nessa faixa de temperatura e nas massas residuais, conforme resultados encontrados por Pereira et al. (2013), que ao analisarem a degradação térmica para madeira de

diferentes clones de *Eucalyptus*, encontraram valores de picos inferiores, assim como massas residuais acima daquelas encontradas no presente trabalho.

Os valores obtidos estão em acordo com as faixas de temperatura de decomposição térmica mais intensa determinados por Santos et al. (2013). Todavia, as análises de (TG/DTG) não apresentaram variações expressivas entre os picos analisados, embora ao final na massa residual, a serragem tenha apresentado maior resistência à degradação térmica.

Conclusões

Ao fim deste trabalho, foi possível realizar algumas considerações sobre os resultados obtidos. Foi possível verificar que tanto o resíduo do bambu quanto a serragem de angelim vermelho possuem um alto poder calorífico. A serragem possui uma densidade maior que o bambu e, conseqüentemente, possui uma densidade energética maior.

As massas residuais, ao fim da degradação térmica analisada, são diferentes entre os dois materiais, sendo a serragem o resíduo que apresentou maior valor. Os picos de degradação dos materiais também são diferentes, porém, estas diferenças podem ser benéficas para o briquete, visto que a mistura dos dois materiais irá gerar uma suavização nestas propriedades energéticas.

Referências

- ABNT. NBR 6922 – Carvão Vegetal – Ensaio físico – Determinação da massa específica – Densidade a granel. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 2p.
- ABNT. NBR 8633 – Carvão Vegetal – Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.
- BEZZON, G.; FELFLI, F. E. F.; LUENGO, C. A. Pirólise e torrefação de biomassa. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). Biomassa para Energia. 1 ed. Campinas: Editora da Unicamp, v. 1 Cap.5, p.333-351, 2008.
- BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. Boletim técnico IPEF, n.36, p. 13-17, 1987.
- DENARI, G. B. ; CAVALHEIRO, E. T. g. Princípios e Aplicações de Análise Térmica. Ogr. por Gabriela Bueno Denari e Eder Tadeu Gomes cavalheiro. Material de Apoio Teórico/Prático. São Carlos: IQSC, 41 p. 2012.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Angelim Vermelho Dinizia Excelsa. Espécies arbóreas da Amazônia. Belém, 2004, 6p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. EMBRAPA agroenergia. Brasília, 2012.

FILGUEIRAS, T. S. , GONÇALVES A. P. A. “Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil”. Bamboo Science and Culture; the journal of the American Bamboo Society, 18 (1), 7 2004.

FILIPPETTO, D. *Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado*. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

GENTIL, L. V. B. Tecnologia e economia de briquetes de Madeira. Brasília: UNB, 2008. 195p. Tese Doutorado

IONASHIRO, M. G. Fundamentos da termogravimetria, análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial. Araraquara: Giz editorial, 2004. 96p.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F.; ALENCAR, J.C. Essências madeireiras da Amazônia. Manaus: INPA/SUFRAMA, U.A, 1979. 245p.

MENDES, T. M. F. “Propriedades de resistência à tração e ao impacto de compósitos poliéster/sisal. Um estudo comparativo”. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, RN, 1992.

PEREIRA JÚNIOR, V. B. Alternativas para a co-geração de energia de uma indústria de chapas de fibra de madeira. *Energia na Agricultura* 2001, 17, 34.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. DE. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimétrica e calorimetria. *Revista Árvore*, v.37, p.567-576, 2013a.

PEREIRA, T. M. M.; Caracterização térmica TG/DTG, DTA, DSC, DSC-Fotovisual de hormônios bioidênticos estriol e estradiol. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 104p. 2013b.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. R. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, p.273-283, 2011.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. DE. O.; MOREIRA, A. C. DE. O.; SOUZA, F.; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios X na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. *Revista Scientia Forestalis*, v.40, n.96, p. 525-536, 2012.

QUIRINO, W.F. Características de briquetes de carvão vegetal a e comportamento na combustão. 1991. 80p. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba: ESALQ, 1991.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. P.; CASTRO, R. V.; MARINHO, I. V.; TRUGILHO, P. F.; ALVES, I. C. N.; CASTRO, A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte. *Ciência Florestal*, v.23, p.493-504, 2013.

SANTOS, R.C. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 173p. 2010.

SCHÜTZ , F. C. A.; ANAMI, M. H.; TRAVESSINI, R.Desenvolvimento e ensaio de briquetes fabricados a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria. Inovação e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2010.

SILVA, Marcelo Bacci Da; MORAIS, Anderson Dos Santos. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. XXVIII encontro nacional de engenharia de produção, Rio de janeiro, 8 p., out. 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_stp_077_543_11289.pdf>.Acesso em: 13 out. 2017.

YAMAJI, F.M; VENDRASCO, L; CHRISOSTOMO, W; FLORES, W. P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. Revista Energia na Agricultura, v.28, n.1, p. 11-15, 2013.