

ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE UMBU CAJÁ (*Spondia* spp.)

T. S. E. PEREIRA¹, B. F. M. L. GOMES², P. T. TAVARES¹, S. L. F. ANDERSEN¹

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Energias Renováveis

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

E-mail para contato: silvia@cear.ufpb.br

RESUMO – A umbu cajazeira pertence à família das *Anacardiáceas*, é considerada uma planta xerófila, híbrida natural entre o umbuzeiro (*Spondias tuberosa Arruda*) e a cajazeira (*Spondias mombin L.*). Pesquisas em torno do umbu cajá estão sendo desenvolvidas para desvendar as propriedades da espécie e alternativas para o aproveitamento agroindustrial, bem como energético. Neste trabalho a caracterização físico-química do resíduo sólido do processamento de umbu cajá foi realizada para avaliar o potencial deste resíduo como fonte alternativa e renovável de energia utilizando processos de conversão térmica. A caracterização físico-química se deu por meio de análise imediata, densidade aparente, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise termogravimétrica (TGA/DTG). A análise do teor de cinzas resultou em 5,24%; teor de material volátil de 69,02%; carbono fixo de 25,59%; densidade aparente de 1,46 g/mL e poder calorífico superior de 18,63 MJ.kg⁻¹. Por meio das curvas do TGA e DTG em atmosfera inerte observam-se três principais perdas de massa, havendo um consumo total de aproximadamente 78,5%. Com poder calorífico superior a algumas biomassas comumente utilizadas para a geração energética, o umbu cajá pode ser considerado um potencial combustível a ser utilizado em processos de conversão térmica.

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por energia tem gerado um grande desafio à humanidade: produzir energia com redução na geração de resíduos e emissões de carbono. É necessário o aperfeiçoamento de processos para que a geração de resíduos seja a menor possível. Dada tal necessidade, a biomassa tem ganhado destaque, pela sua importância energética e na mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

Com economia predominantemente agrícola, o Brasil já ultrapassou a marca de 2,0 milhões de hectares dedicados ao agronegócio e é o terceiro maior produtor mundial de frutas (IBRAF, 2010). No nordeste a fruticultura é um setor de extrema importância devido à oferta de emprego e alimentos; além de ser uma região semiárida, onde poucas espécies conseguem se adaptar.

A umbu cajazeira pertence à família das *Anacardiáceas* e é considerada uma planta xerófila, híbrida natural entre o umbuzeiro (*Spondias tuberosa Arruda*) e a cajazeira (*Spondias mombin L.*) e por não ter espécie definida é denominada *Spondia* spp. (Giacometti, 1993). A origem da planta é desconhecida, entretanto, é considerada uma frutífera nativa do nordeste (Carvalho, 2010).

Os produtos do umbu cajá podem ser utilizados para diversos fins alimentícios, diminuindo a quantidade de resíduos descartados. No entanto, com a expansão da fruticultura no nordeste brasileiro, da indústria alimentícia e da demanda por alimentos saudáveis e nutritivos, pesquisas em torno do umbu cajá estão sendo desenvolvidas para desvendar as propriedades da espécie e alternativas para o aproveitamento agroindustrial (Santos *et al.*, 2010), bem como energético.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar físico-quimicamente resíduo sólido do processamento de umbu cajá (bagaço) e avaliar o potencial deste resíduo para ser utilizado como fonte alternativa e renovável de energia, principalmente utilizando processos de conversão térmica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foi coletado bagaço de umbu cajá de uma indústria de sucos da cidade de João Pessoa – PB. Assim que coletado, o bagaço foi seco em estufa a 105 °C, para posterior caracterização, portanto o teor de umidade não foi medido.

A primeira etapa para a caracterização físico-química foi a preparação das amostras. Os resíduos de umbu cajá foram secos, triturados e peneirados para que o diâmetro da partícula fosse menor do que 100 µm.

A caracterização físico-química se deu por meio de análise imediata, densidade aparente, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise termogravimétrica (TGA/DTG). A partir da análise imediata determinou-se o teor de cinzas segundo a norma ASTM E1755 e o material volátil segundo a norma ASTM E872. O carbono fixo foi calculado por diferença como mostra a equação (1):

$$CF = 100 - (\% \text{ cinzas} + \% \text{ voláteis}) [\%] \quad (1)$$

O poder calorífico superior do umbu cajá foi calculado a partir da equação empírica (2) (DEMIRBAS, 1997), que utiliza a análise imediata.

$$PC = 0,312 (FC) + 0,1534 (VM) [MJ.kg^{-1}] \quad (2)$$

A densidade aparente do umbu cajá foi feita utilizando o método da picnometria em água.

A análise de MEV foi realizada para o bagaço e as cinzas do umbu cajá e utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura, Oxford Instruments, modelo LEO 1430.

A análise termogravimétrica (TGA) é uma técnica usada para avaliar a variação de massa da amostra em função do tempo ou temperatura (Denari, 2012). Já a termogravimétrica derivada (DTG) é a derivada primeira da TGA, onde a derivada da variação de massa em relação ao tempo (dm/dt) pode ser registrada ou em função da temperatura ou do tempo (Denari, 2012). Esta pode ser obtida a partir do mesmo ponto de massa residual da TGA. A análise termogravimétrica foi realizada utilizando o equipamento marca TA, modelo Q-50. As amostras de umbu cajá foram aquecidas a uma taxa de 10 °C.min⁻¹ a partir da temperatura ambiente até 900 °C, em atmosfera inerte (N₂, pureza mínima 99,996%) a um fluxo de 50,0 mL.min⁻¹. A massa das amostras foi de aproximadamente 10 mg.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises imediata, de densidade, e o poder calorífico calculado da amostra de bagaço de umbu cajá.

Tabela 1 - Análise imediata, densidade e poder calorífico superior do bagaço de umbu cajá.

Amostra	Umbu cajá
Densidade aparente* [g.mL ⁻¹]	1,47
Cinzas a,*[%]	5,25
Material Volátil ^{a,*} [%]	69,03
Carbono fixo a,*[%]	25,59
PCS*[MJ.kg ⁻¹]	18,64

^a% mássica; *base seca.

A análise do teor de cinzas resultou em 5,24%. Comparando com o teor de cinzas de outras biomassas como a casca de café, 13,96% (Vale, *et al.* 2007) e a casca de arroz, com o teor de cinzas de 15,51% (Vieira, *et al.* 2011), percebe-se que o umbu cajá possui baixo teor de cinzas, o que é favorável para os processos de conversão térmica de energia. Segundo Ferreira (2013) as cinzas e a sua composição química, afetam o comportamento dos processos de conversão energética a elevadas temperaturas, pois, podem formar escórias e aglomerações, prejudicando os equipamentos dos processos.

O teor de material volátil de biomassa é geralmente elevado (acima de 60%), e para o umbu cajá o teor de material volátil resultou em 69,02%. Comparando o valor obtido neste estudo com valores encontrados na literatura como, por exemplo, com o da madeira de Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*) em forma de maravalha - 83,19% (Vale, *et al.* 2007) e com casca de arroz - 66,36% (Paula, *et al.* 2011) verifica-se que este valor é comum, e pode indicar uma eficiência do processo de queima dos resíduos de umbu cajá.

O carbono fixo do resíduo de umbu cajá é de 25,59%. Comparando este valor com o encontrado para *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* por Telmo *et al.* (2010), de 14,1% e 13,3% e o encontrado no caule do milho - 20,47% (Paula, *et al.* 2011), pode-se prever que se submetido à combustão, a queima do resíduo do umbu cajá é mais lenta que destas outras biomassas.

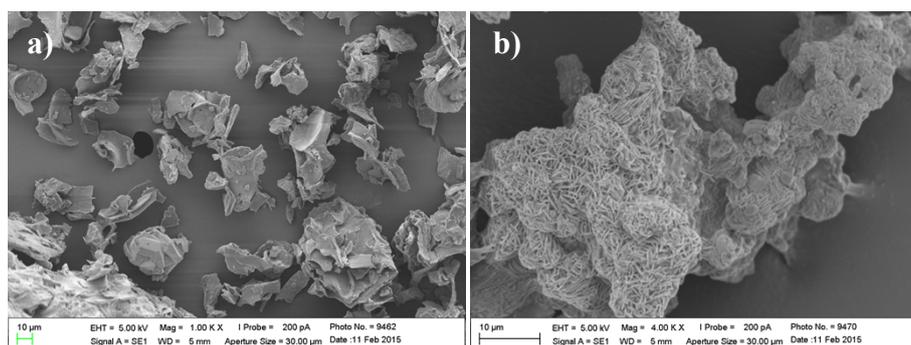
O resultado encontrado para a densidade aparente foi de 1,46 g.mL⁻¹. Vale *et al.* (2007) apresentaram densidade de 0,14 g/mL para a casca de grão de café e de 0,095 g.mL⁻¹ para a madeira na forma de maravalha, todos analisados em base seca. Em termos energéticos, uma densidade elevada acarretará uma maior produção de energia na forma de calor por unidade volumétrica (Vale, *et al.* 2007). A densidade também pode determinar os custos de transporte e armazenamento da biomassa. Quanto mais densa a biomassa, menores serão os custos.

A partir do cálculo do PCS do bagaço de umbu cajá obteve-se o resultado de 18,63 MJ.kg⁻¹. O valor encontrado é superior aos apresentados por Menezes (2013), para maravalha de Araucária (*Araucaria angustifolia*), PCS igual a 17,32 MJ.kg⁻¹, e Pinus sem espécie definida (*Pinus sp.*), PCS igual a 17,23 MJ.kg⁻¹, já Pérez *et al.* (2006) apresenta o PCS de duas espécies de eucalipto: 17,384 e 17,927 kJ.kg⁻¹ para *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus*

nitens, respectivamente. Isso mostra que o conteúdo energético do bagaço do umbu cajá torna-o um potencial combustível a ser utilizado em processos de conversão térmica.

Por meio da análise de MEV observa-se na Figura 1 que a estrutura morfológica da amostra é formada por grãos de tamanhos e formatos diferentes. O bagaço (Figura 1.a), tem a forma de várias lamelas sobrepostas. Enquanto as cinzas do bagaço (Figura 1.b) apresenta uma morfologia esponjosa, ou mais porosa.

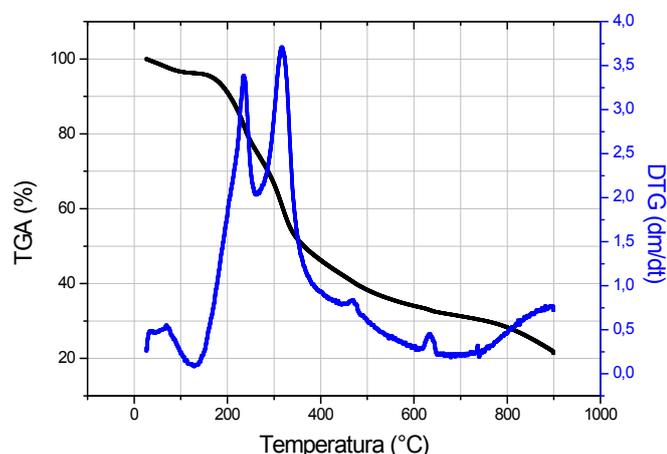
Figura 1 – Microscopia Eletrônica de Varredura
a) bagaço de umbu cajá (10 μ m); b) cinzas de umbu cajá (10 μ m)



Quanto se trata de pirólise, a transferência de calor e as reações químicas influenciam a composição e os rendimentos do produto, as temperaturas de pirólise e as taxas de decomposição. Todos estes fatores variam com a composição da biomassa, devido à energia interna diferente de seus três constituintes poliméricos: hemicelulose, celulose e lignina. A celulose se decompõe rapidamente a produtos gasosos, a lignina se decompõe devagar e forma um conteúdo com elevado nível carbonoso e a hemicelulose se degrada em velocidade intermediária (Bach, 2006).

O comportamento do resíduo de umbu cajá submetido ao processo de pirólise é mostrado no termograma da Figura 2. A Figura 2 mostra a perda de massa em função da temperatura e mostra os picos de variação de massa com o tempo em função da temperatura (DTG).

Figura 2 – TGA e DTG do bagaço de umbu cajá submetido à pirólise



De acordo com a Figura 2, verificam-se três principais perdas de massa, a umidade residual, 4,3%, foi perdida entre 32 e 155 °C aproximadamente, já a perda de massa entre 155 e 345°C é referente ao início da degradação da matéria volátil de ligações químicas menos estáveis (em torno de 52,6%), desta temperatura até 900 °C, 31% de material volátil mais estável foi degradado.

Observando a curva do DTG (Figura 2) verifica-se a ocorrência de três picos com maiores taxas de perdas de massa: o primeiro aos 235 °C, com uma variação de massa de 3,38%/min, o segundo aos 317 °C, com uma variação de massa de 3,70%/min e o menor aos 469 °C com uma perda de 0,84%/min. Burhenne *et al.* (2013) citam para a madeira três fases de decomposição durante a pirólise: uma referente à hemicelulose, um pico durante a decomposição da celulose e um pico menor durante a volatilização da lignina, porém este mesmo estudo apresentou que a decomposição de três biomassas distintas (palha de trigo, bagaço de palha e madeira de abeto com casca) foi completa aos 557 °C para a biomassa herbácea e 627 °C para a biomassa lenhosa. Já Xin *et al.* (2013), analisando os três componentes principais da biomassa em forma de pó, extraídos da madeira de bétula, citam que o intervalo onde ocorreram as maiores taxas de perda de celulose foi entre 350 e 650 °C; entre 50 e 75% da lignina foi transformada em biocarvão no intervalo de 750 e 850 °C, confirmando a resistência deste componente à baixas temperaturas e possui alto teor de carbono fixo. Cortez *et al.* (2008) citam que com o aumento gradual da temperatura, como ocorre neste estudo, as reações favorecem a formação de frações sólidas em detrimento da gasosa e da líquida e, a medida que a temperatura de pirólise aumenta, os teores de hidrogênio e oxigênio diminuem e o teor de carbono aumenta na composição da fração sólida do combustível, conseqüentemente este tem seu poder calorífico superior aumentado.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, o bagaço de umbu cajá foi caracterizado físico quimicamente para avaliar o potencial deste resíduo sólido como fonte alternativa e renovável de energia. O baixo teor de cinzas, de 5,25%, é um resultado favorável para os processos de conversão energética e o carbono fixo é de 25,59%, resultado similar ao encontrado na literatura, incluindo madeira de pinus e eucalipto. O poder calorífico superior foi calculado sendo 18,63MJ.kg⁻¹, mostrando que o conteúdo energético do bagaço é adequado para que o mesmo seja utilizado em processos de conversão térmica. Os resultados das análises deste estudo validam a possibilidade de aproveitamento do potencial energético dos resíduos de umbu cajá.

6. REFERÊNCIAS

- BACH, R. B. *Ueber die strukture der oligomeren bestandteile von flash-pyrolyseaus biomass.* Hamburg: Von-Melle-Park, 2006. Tese. Universidade de Hamburg, 2006.
- BRASIL, Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF). *Retrospectiva analítica 2010 - Cadeiaprodutiva das frutas.* São Paulo, 2011.
- BURHENNE, L.; MESSMER, J.; AICHER, T.; LABORIE, M. P. The effect of the biomass components lignin, cellulose and hemicellulose on TGA and fixed bed pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.*, v. 101, p. 177–184, 2013.

- CARVALHO, L. D. *Produção de geléia dietética de umbu cajá (Spondias SP.): Avaliação sensorial, física e físicoquímica*. 2010. 14 p. Dissertação (Mestrado Ciência de Alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.
- CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GOMEZ, O. *Biomassa para energia*. Campinas, SP: Unicamp, 2008.
- DEMIRBAS, A. Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel*, v. 76, n. 5, p. 431-434, 1997.
- FERREIRA, A. C. O. Caracterização de vários tipos de biomassa para valorização energética. p. 3-5, 9, 10. 2013.
- GIACOMETTI, D.C. Recursos genéticos de fruteiras nativas do Brasil. In: Simpósio Nacional de Recursos Genéticos de Fruteiras, 1992, Cruz das Almas. *Anais...* Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1993. p.13-27.
- MENEZES, M. J. S. Poder calorífico e análise imediata da maravalha de Pinus (*Pinus sp.*) e Araucária (*Araucaria angustifolia*) de reflorestamento como resíduos de madeira. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.
- PAULA, L. E. de R. e; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M.L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne*, v. 17, n. 2, p. 237, 2011.
- PERÉZ, S.; RENEDO, C. J.; ORTIZ, A.; MANANA, M.; SILIÓ, D. Energy evaluation of the *Eucalyptus globulus* and the *Eucalyptus nitens* in thenorthof Spain (Cantabria). *Thermochimica Acta*, 451, p. 57-64, 2006.
- SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. de O.; CONCEIÇÃO, M. do N. Caracterização e qualidade de frutos de umbu cajá (*Spondias tuberosa x mombin*) provenientes do recôncavo sul da Bahia. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1089-1097, Dezembro 2010.
- TELMO, C.; LOUSADA, J.; MOREIRA, N. Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource technology*, v. 101, n. 11, p. 3808-3815, 2010.
- VALE, A. T. do; GENTIL, L. V.; GONÇALVES, J. C.; COSTA, A. F. da. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 4, p. 416-420, 2007.
- VALE, A. T. do; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S. A.; DANTAS, V. F. de. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.
- VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M. de; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; Caracterização da casca de arroz para geração de energia. *Revista Varia Scientia Agrárias*, v. 3, n. 01, p. 51-57.
- XIN, S.; YANG, H.; CHEN, Y.; WANG, X.; CHEN, H. Assessment of pyrolysis polygeneration of biomass based on major components: Product characterization and elucidation of degradation pathways. *Fuel*, v. 113, p. 266-273, 2013.
- YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; ZHENG, C.; LEE, D. H.; LIANG, D. T. In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. *Energy and Fuels*, v. 20, p. 388-393, 2006.