

APLICAÇÃO DE PROCESSO TERMOQUÍMICO COMO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DE BABAÇU

G. E. G. VIEIRA¹, A. PICKLER², L. F. P. GALLO², L. F. TEIXEIRA¹, A. G. N. COLEN¹,
C. E. A. CAMPOS¹, G. L. de AGUIAR Jr.¹ e R. C. da SILVA¹

¹ Universidade Federal do Tocantins (UFT), Laboratório de ensaio e desenvolvimento em biomassa e biocombustíveis (LEDBIO)

² CENPES – PETROBRAS

E-mail para contato: glauciaeliza@pq.cnpq.br

RESUMO – No contexto atual de crescentes preocupações ambientais, a valorização de resíduos agroindustriais do ponto de vista energético é de grande interesse. Dentre as formas de aproveitamento dos resíduos, os processos termoquímicos possibilitam a obtenção de produtos com potencial e propriedades energéticas, dentre elas, o processo de pirólise permite a obtenção de quatro frações: bio-óleo, aquosa, sólida e gasosa. O babaçu possui uma das cadeias do extrativismo vegetal mais representativas do Brasil. No presente trabalho, foi realizada a caracterização físico-química e aplicação do processo de pirólise ao resíduo torta de babaçu, resultante da extração de óleo do babaçu, utilizando as temperaturas de processo de 550°C e 450°C, taxa de aquecimento de 10°C/min e tempo de retenção de 120 minutos, para cálculo de rendimento das frações. Os resultados obtidos na caracterização foram de 3,42% de umidade, 92,32% de voláteis, 3,93% de cinzas e 0,33% de carbono fixo. O processo de pirólise apresentou rendimento de 18,41% e 18,50% de bio-óleo, 14,39% e 11,79% de fração aquosa, 29,89% e 32,50% de fração sólida, 37,31% e 37,21% de fração gasosa, respectivamente nas temperaturas de 550°C e 450°C.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem um grande potencial para o uso de matérias-primas renováveis. É um dos maiores produtores de *commodities* agrícolas e culturas extrativistas, produzindo grandes quantidades de agrosresíduos. Estes resíduos podem ser efetivamente transformados em energia e outros produtos, em processos integrados envolvendo a conversão da biomassa em combustíveis, energia e produtos químicos (Foster-Carneiro *et al.*, 2013).

A identificação, avaliação e controle dos impactos ambientais das atividades agroindustriais devem ser estimulados visando à redução dos impactos decorrentes da disposição inadequada dos resíduos gerados. A Resolução Conama nº 316/2002, por sua vez, dispõe sobre os resíduos agrícolas e da silvicultura que possuem potencial para serem encaminhados para tratamento térmico, além da Lei Federal no 8.171/91 (Brasil, 1991) que prevê o aproveitamento dos resíduos da agricultura.

Os termos resíduos agrícolas e resíduos agroindustriais possuem um amplo significado, referindo-se a qualquer resíduo de natureza lignocelulósica produzido pela prática agrícola ou

agroindustrial em suas operações diárias, tais como folhas, raízes, talos, cascas, babaçu, resíduos de palha, sementes, resíduos de madeira e resíduos de origem animal. Todos estes resíduos representam uma fonte de bilhões de toneladas por ano, em grande parte disponível e renovável, constituindo uma categoria importante com alto potencial de aproveitamento, aliado ainda ao fato de não competirem com a disponibilidade de alimentos (Taherzadehe; Karimi, 2007).

A abrangência da palmeira babaçu é de aproximadamente 13 a 18 milhões de hectares em 279 municípios, situados em 11 Estados, com inúmeras potencialidades e atividades econômicas desenvolvidas a partir de sua incidência (Carrazza *et al.*, 2012). Em 2011 foram extraídas 102.499 toneladas de amêndoas de babaçu no Brasil, que girou um capital de cerca 142 milhões (IBGE, 2012). A amêndoa do babaçu é o segundo produto florestal não madeireiro mais vendido no Brasil, o valor da venda dessa produção chega a ultrapassar o do açaí (produto não madeireiro mais vendido no país), alcançando quase R\$ 150 milhões. Sua cadeia produtiva é uma das mais representativas do extrativismo vegetal no Brasil (Carrazza *et al.*, 2012).

Em termos de produção, a cadeia produtiva do babaçu é relativamente simples. Na prensagem da amêndoa do babaçu para obtenção de óleo, principal produto comercial do babaçu, tem-se o rendimento médio de 4,6% de óleo de babaçu e 2,4% de torta (Santos, 2008).

A produção de energia a partir de biomassa pode ser dividida em duas categorias principais: processos termoquímicos e vias de conversão biológica. Existem diversas rotas termoquímicas para produção de energia, dentre elas a pirólise (Balat *et al.*, 2009).

No processo pirolítico são gerados produtos com potencial fonte de combustíveis ou usos relacionados à indústria (Karayildirim *et al.*, 2006). Essa possibilidade de obter produtos com valor agregado torna esse processo uma opção diante das iniciativas atuais de busca de novas fontes renováveis para a produção de energia limpa (Gómez, 2002). Durante a pirólise são obtidos produtos gasosos, líquidos e sólidos, que são gerados em diferentes proporções a partir do rompimento térmico das ligações, obtenção de produtos com densidade energética mais alta e melhores propriedades do que àquelas da biomassa inicial (Vieira, 2004).

Neste estudo foram realizadas análises de teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo de torta de babaçu, a fim de conhecer as características deste agrosíduos, e foi aplicado o processo de pirólise de diferentes temperaturas de processo obtendo-se quatro frações: bio-óleo, aquosa, sólida e gasosa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Aquisição e preparo analítico da amostra

A torta de babaçu utilizada no presente trabalho foi doada pela empresa TOBASA Bioindustrial de Babaçu S/A, localizada no município de Tocantinópolis, no Estado do Tocantins, gerada a partir do processamento agroindustrial do coco babaçu. Foi classificada

de acordo com a norma NBR 10.004 em resíduos da classe II A – não perigoso e não inerte, e o procedimento de amostragem foi realizado segundo a norma NBR 10.007.

A amostra de torta de babaçu foi triturada em moinho e homogeneizada através de peneiras do sistema da Tyler (partículas de aproximadamente 1,7 mm), com a finalidade de facilitar os procedimentos analíticos. A Figura 1 mostra a amêndoa do coco babaçu, a torta proveniente da prensagem da amêndoa e a amostra de torta de babaçu triturada e homogeneizada.



Figura 1 – Amêndoa do coco babaçu (1); Torta de babaçu (2); Amostra de torta de babaçu triturada (3)

2.2. Análises imediatas

Caracterizou-se a amostra de torta de babaçu através da determinação do teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo, segundo metodologia descrita pela Tabela 1.

Tabela 1 – Metodologias para análises imediatas

Análise	Métodos
Umidade	ASTM D3173-85
Voláteis	ASTM D2415-66
Cinzas	ASTM D2415-66
Carbono fixo	Diferença

2.3. Processo termoquímico

O processo de pirólise termoquímica foi realizado em escala laboratorial, em reator de leito fixo da marca EDG, constituído pelos seguintes sistemas: tubo de cerâmica, tubo reator de quartzo, sistema de alimentação de gás inerte (nitrogênio), sistema de condensação, sistema de separação de líquidos ou bio-óleo e lavadores de gases. Os ensaios foram realizados em duplicata, utilizando 40 gramas de amostra. As condições do processo aplicadas à biomassa em estudo estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições de processo utilizadas na pirólise

Amostra	Temperatura (°C)	Tempo de retenção (min)	Taxa de Aquecimento (°C/min)
Torta de babaçu	450	120	10
	550		

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coco babaçu é dividido em quatro partes: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa. Sua capacidade de fornecer uma ampla variedade de produtos úteis. A Tabela 3 mostra a composição típica dos cocos babaçu da cidade de Tocantinópolis (TO).

Tabela 3 - Composição típica do coco babaçu - Tocantinópolis - TO

Peso médio do coco	230 g
Epicarpo	12 g
Mesocarpo	23 g
Endocarpo	58 g
Amêndoas	7 g

Fonte: Pavlak *et al.*, (2007)

A caracterização físico-química por meio da determinação dos teores de umidade, sólidos voláteis, cinzas, carbono fixo é de grande importância em processos térmicos. A Tabela 4 apresenta os valores médios para a amostra de torta de babaçu.

Tabela 4 - Teores médios em porcentagem das análises imediatas de torta de babaçu

Análise	% (m/m)
Umidade	3,42
Voláteis	92,32
Cinzas	3,93
Carbono fixo	0,33

*Teor de carbono fixo obtido por diferença

Segundo Carrazza *et al.* (2012) e Silva (2009), o teor de umidade da torta de babaçu encontra-se aproximadamente em 11,5%, sendo o teor máximo de umidade na torta resultante do processo de prensagem e extração por solvente químico de 12%. O baixo valor de umidade encontrado na amostra de torta de babaçu em estudo (3,42%) pode estar relacionado ao processo de extração de óleo utilizado pela indústria a qual foi fornecido.

Dentre os compostos orgânicos que compõe a fração dos sólidos voláteis estão os materiais lignocelulósicos, como a celulose, hemicelulose, lignina, ácidos húmicos e ácidos carboxílicos (Pedroza, 2011). Silva (2009), analisou a torta de babaçu e apresentou 87,56% de matéria orgânica, desse teor apresentou cerca de 31,98 % de hemicelulose, 21,98% de celulose e 12,24% de lignina. O teor de voláteis do presente estudo foram superiores ao de agroresíduos como casca de coco (67,9%), palha de arroz (65,47) e palha de cana (73,78%) (Teixeira, 2002; Vale *et al.*, 2007).

Para aplicação da matéria-prima em processos de pirólise o teor de cinzas é de grande interesse, pois pode estar relacionado ao rendimento das frações no processo. O elevado teor de cinzas favorece reações com desprendimento de compostos voláteis em menores temperaturas, ocasionando formação de fração gasosa (Vieira, 2004; Fonts *et al.*, 2009). O valor do teor de cinzas foi aproximado ao encontrado por Castro (2012), de 4,49% (m/m) em torta de babaçu.

As características finais dos produtos obtidos em processos de pirólise possuem dependência em grande parte das propriedades físico-químicas da matéria-prima utilizada, por exemplo, grande parte da fração volátil é formada a partir da celulose e da hemicelulose. Por outro lado a lignina contribui para a formação da fração sólida resultante do processo de pirólise (Mohan *et al.*, 2006).

O processo de pirólise designa a decomposição térmica, consistindo em um processo termoquímico, ou seja, as transformações ocorrem em função da influência da temperatura e de reações químicas (Vieira, 2004). No processo de pirólise foram obtidas quatro frações: aquosa, bio-óleo, sólida e gasosa, a Figura 2 apresenta as frações bio-óleo, aquosa e sólida obtidos no processo de pirólise de torta de babaçu.

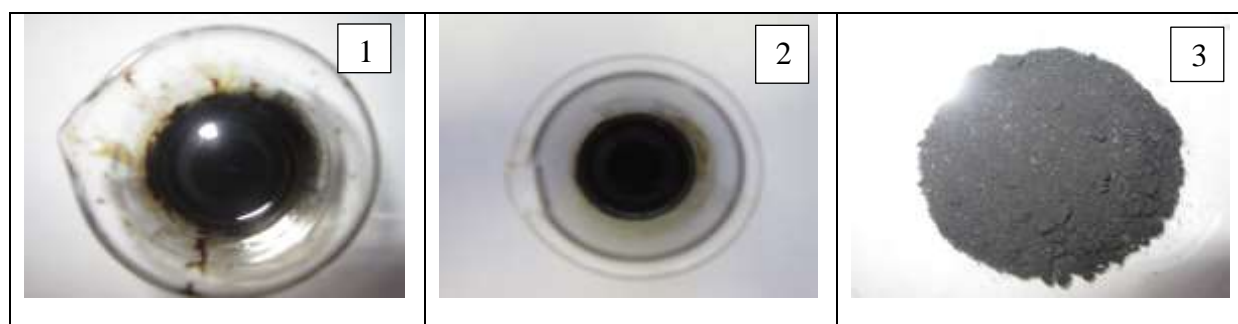


Figura 2 - Frações bio-óleo (1), aquosa (2) e sólida (3) obtidas a partir da pirólise de torta de babaçu

Os rendimentos médios de frações da pirólise da amostra de torta de babaçu foram comparados pela análise de variância a um nível de 95% de confiança. Os rendimentos dos produtos das pirólises realizadas nesse trabalho podem ser visualizados na Tabela 3. Diferença significativa foi encontrada somente na fração sólida, enquanto que para o bio-óleo, aquosa e gasosa a diferença entre os dois tratamentos não foi significativa.

Tabela 3 - Rendimentos das frações do processo termoquímico de torta de babaçu em percentagem (%) (m/m)

Frações	450°C			550°C		
	1ª repetição	2ª repetição	Média	1ª repetição	2ª repetição	Média
Bio-óleo	19,25	17,75	18,50 _{ns}	17,90	18,93	18,41 _{ns}
Aquosa	11,34	12,25	11,79 _{ns}	13,46	15,31	14,39 _{ns}
Sólida	32,54	32,46	32,50*	29,77	30,01	29,89*
Gasosa	36,88	37,21	37,21 _{ns}	38,87	35,75	37,31 _{ns}

ns: não significativo a um nível de 5% de probabilidade pela análise de variância; * significativo a 5% de probabilidade pela análise de variância

Os rendimentos em bio-óleo apresentaram médias iguais a 5% de significância pelo teste de variância nos dois experimentos de pirólise, sendo os rendimentos obtidos de 18,5% e 18,4%, para as temperaturas de 450°C e 550°C, respectivamente. Santos (2013) pirolisou amostra de torta de tucumã nas temperaturas 300°C, 400°C, 500°C e obteve os respectivos rendimentos de bio-óleo 5,5%, 7,9%, 6,29% e fração aquosa 14,7%, 14,24%, 10,77%. Em

pirólise de torta de mamona, Santos (2013) obteve o rendimento máximo de bio-óleo de 16% a 400°C e 14,59% a 500°C, já 600°C obteve 6,53% de bio-óleo.

Os rendimentos da fração sólida nos dois tratamentos apresentaram diferença significativa a 95% de confiança pela análise de variância. Comparando as médias dos dois tratamentos, pode se observar que com o aumento da temperatura, o rendimento da fração sólida diminuiu. O decréscimo na fração sólida a 550°C pode ser atribuído a um aumento da volatilização dos hidrocarbonetos sólidos no carvão.

4. CONCLUSÃO

Os estudos de caracterização físico-química da torta de babaçu através das análises imediatas mostraram que o mesmo apresentou alto teor de sólidos voláteis (93,32%), baixo teor de umidade na amostra (3,42%) e teor de cinzas (3,93%), sendo uma baixa umidade um parâmetro desejável na biomassa para aplicação em processo de pirólise.

No processo de pirólise foram obtidas quatro frações, sendo o bio-óleo, aquosa, sólida e gasosa. As análises estatísticas de variância mostraram que não houveram diferença significativa entre médias das frações bio-óleo, aquosa e gasosa. Como as médias dos dois tratamentos são estatisticamente iguais entre si, pode-se justificar o uso da temperatura de 450°C em vez da de 550°C, podendo com isso evitar o gasto desnecessário de energia, uma vez que estas frações sejam desejadas.

5. REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.004 Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, ABNT, 1987a.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *D 2415-66. Standard Test Method for ash Determination*, 1986.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *D 3173-85. Standard Test of Humidity*, 1985.

BALAT, M. et al. Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. **Energy Conversion And Management**, v. 50, p.3147-3157, 2009.

BRASIL. *Presidência da República*. LEI Nº 8.171/1991. Dispõe sobre a Política Agrícola. 1991.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C. e; SILVA, M. L. da. *Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu (Attalea spp.)*. 2. ed. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, p.68, 2012.

CASTRO, K.J. *Torta de babaçu: consumo, digestibilidade, desempenho, energia metabolizável, energia líquida e produção de metano em ruminantes*. Tese (Doutorado em zootecnia). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

FONTES, I. et al. Physicochemical properties of product liquid from pyrolysis of sewage sludge. **Energy & Fuels**, [s. l.], v. 23, p.4121-4128, 2009.

FOSTER-CARNEIRO, T.; BERNI, M. D.; DORILEO, I. L.; ROSTAGNO, M. A. Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries. *Resources, Conservation And Recycling*, v. 77, p.78-88, 2013.

GÓMEZ, E. O. *Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão*. 2002. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. *Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura: Busca por Estados*. 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 02 dez. 2013.

KARAYILDIRIM, T.; YANIK, J.; YUKSEL, B.. Characterization of products from pyrolysis of waste sludges. *Energy Fuel*, v. 85, p.1498-1508, 2006.

MOHAN, D.; PITTMAN JUNIOR, C. U.; STEELE, P. H.. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. **Energy & Fuels**, v. 20, p.848-889, 2006.

PAVLAK, M. C. de M. et al. Aproveitamento da farinha do mesocarpo do babaçu (*Orbignya martiana*) para obtenção de etanol. *Evidência*, Joaçaba, v. 7, n. 1, p.7-24, 2007.

PEDROZA, M. M. *Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo*. 2011. 192 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 316/2002. *Conselho Nacional de Meio Ambiente*. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, 2002.

SANTOS, J. R. de J. *Biodiesel de babaçu: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias* / João Pessoa: UFPB, 2008.

SANTOS, N. A. do V. *Pirólise rápida de coprodutos do processo produtivo do biodiesel: efeito das condições de pirólise e caracterização dos produtos*. Lavras – UFLA, 2013.

SILVA, R. F. da. *Avaliação nutricional da torta de babaçu e sua Utilização em dietas para frangos de corte label Rouge*. 2009. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Animal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K.. Enzymatic-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. **Bioresources**, ., v. 2, n. 4, p.707-738, 2007.

TEIXEIRA, M. A. Biomassa babaçu no Brasil. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4.,, Campinas. *Proceedings* .Campinas, 2002. p. 29 .40, 2002.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V.; GONÇALEZ, J. C.; COSTA, A. F. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café e de madeira. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 4, p. 416-420, 2007.

VIEIRA, G. E. G. *Fontes alternativas de energia – Processo aperfeiçoado de conversão térmica*. 2004. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Orgânica, Departamento de Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2004.