

# Determinação do poder calorífico e análise elementar do fruto da Macaubeira (*Acrocomia aculeata*)

## Determination of calorific power and elementary analysis of Macaw palm (*Acrocomia aculeata*)

David Cardoso DOURADO [1](#); Giovanni Francisco RABELO [2](#); Waldir Nagel SCHIRMER [3](#); Erivelton César STROPARO [4](#); Fabrício Ventura BARSÍ [5](#); Pedro Castro NETO [6](#)

Recebido: 06/09/2017 • Aprovado: 05/10/2017

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
  - [2. Materiais e métodos](#)
  - [3. Resultados e discussão](#)
  - [4. Conclusão](#)
- [Bibliografia](#)

#### RESUMO:

O presente trabalho avaliou a caracterização das propriedades caloríficas (Poder Calorífico Superior) e dos constituintes elementares – Carbono (C) - Hidrogênio (H) – Nitrogênio (N) - Enxofre (S) - relação Carbono/Nitrogênio (C/N) e Carbono/Hidrogênio (C/H), processos estes, provenientes da queima de coprodutos da macaúba, realizadas nas seguintes partes do fruto: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e sua torta. Foi observado que as diferentes regiões do fruto apresentaram estatisticamente o mesmo teor de carbono elementar com média de 47,66%. No entanto, todos os outros elementos analisados, H, N, S, relação C/N e C/H, apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 5%; seus respectivos valores médios foram: 6,51% (H), 2,85% (N), 0,211% (S), relação C/N (7,45) e relação C/H (39,55). Quanto ao poder calorífico superior, foi observada uma média de 4.897 Kcal com menor valor encontrado no epicarpo (4.602 Kcal) e maior valor no mesocarpo (5.113 Kcal).

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos, biomassa, aproveitamento energético, biodiesel.

#### ABSTRACT:

The present work evaluated the characterization of the calorific properties (High Calorific Power) and elementary constituents - Carbon (C) - Hydrogen (H) - Nitrogen (N) - Sulfur (S) - Carbon/Nitrogen (C / N) and Carbon/Hydrogen (C/H), these processes, from the burning of co-products of the macaw palm, were carried out in the following parts of the fruit: epicarp, mesocarp, endocarp and its pie. It was observed that the different regions of the fruit presented statistically the same elemental carbon content with a mean of 47,66%. However, all the other analyzed elements, H, N, S, C/N and C/H, presented some statistically significant difference, and their respective mean values were: 6,51% (H) 2,85% (N), 0,211% (S), C/N ratio (7,45) and the C/H (39,55). As for the higher calorific value, an average of 4,897 Kcal was observed, with a lower value found in the epicarp (4,602 Kcal) and higher value in the mesocarp (5,113 Kcal).

**Keywords:** Solid waste, biomass, energetic recovery, biodiesel.

## 1. Introdução

É certo que o sistema de produção industrial mundial gera muitos resíduos, os quais nem sempre aproveitáveis para geração de energia ou outra aplicação. Em muitos países, principalmente os de

clima tropical, há uma enorme quantidade de resíduos produzidos anualmente provenientes dos setores florestal e agrícola. Grande parte destas biomassas vem sendo utilizada no meio rural com baixa eficiência energética na produção de energia elétrica ou na produção de calor para secagem de produtos agrícolas (DOURADO et al, 2017, SILVA; SOBRINHO; SAIKI, 2004).

Além do uso direto ou *in natura* de biomassas, o uso do carvão vegetal para fim energético, vem ganhando destaque no cenário mundial frente às fontes não renováveis de energia. O Brasil é o maior produtor de carvão vegetal do mundo, com 48,6 milhões de toneladas e representa 14% da produção mundial (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2011). Sua utilização tem sido principalmente nas indústrias siderúrgica, cimento, alimentícia e química. No país, cerca de 80% do consumo de carvão vegetal é destinado aos setores de ferro-gusa, ferro-liga e aço (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011). Neste cenário, o Estado de Minas Gerais destaca-se atendendo 60% da demanda de carvão vegetal do Brasil.

A busca por energias alternativas tem gerado resultados expressivos e tecnologias perfeitamente aplicáveis a vários segmentos da sociedade. Sendo assim, as energias renováveis se tornam solução no enfrentamento das mudanças climáticas e na diminuição da dependência das fontes fósseis de energia (HIRSCHL, 2009).

Nesse seguimento, a macaúba, espécie *Acrocomia aculeata*(Jacq.) Lodd. ex Martius, é uma palmeira arborescente e possui um grande potencial energético a partir do processamento de seus frutos (EVARISTO et al., 2016).

O fruto da macaúba é esférico, tipo drupa; é constituído pela casca fibrosa (epicarpo), polpa oleaginosa (mesocarpo), endocarpo e amêndoa oleaginosa. Dentre estas partes constituintes, o endocarpo, em especial, pode ser convertido em carvão vegetal, constituindo-se em um subproduto da cadeia produtiva do biodiesel, podendo ser utilizado na metalurgia, siderurgia ou para cocção (CETEC, 1983). Além de utilizada como fonte energética, o fruto da macaubeira também pode ser empregada na forma medicinal, alimentícia, cosmética, entre outros (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986).

Apesar das inúmeras aplicações a *Acrocomia aculeata* ainda é pouco estudada, por isso inúmeros autores vêm desenvolvendo trabalhos de pesquisa que melhor caracterize suas aplicações e sua localização geográfica (COSTA et al., 2017; REIS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2016; MATSIMBE et al., 2015).

Quanto a localização espacial dessa palmácea, ela ocorre ao longo da América tropical e subtropical, desde o Sul do México e Antilhas até o sul do Brasil, chegando ao Paraguai e Argentina, porém estando ausente no Equador e Peru. No Estado de Minas Gerais ocorrem grandes populações de macaubeira, apontadas como economicamente promissoras. Nas regiões de Montes Claros, Alto Paranaíba e Zona Metalúrgica, são considerados como as regiões com maior ocorrência natural de macaúba no Estado de Minas Gerais (MOTTA; OLIVEIRA FILHO; GOMES, 2002).

Sendo assim, visando às distintas aplicabilidades desse fruto e de sua vasta incidência em inúmeras regiões no continente Sul Americano, o presente trabalho objetivou a caracterização das propriedades caloríficas e dos constituintes elementares do epicarpo, mesocarpo, endocarpo e da torta dos frutos da macaúba. Esses resíduos têm origem da cadeia produtiva do Biodiesel.

---

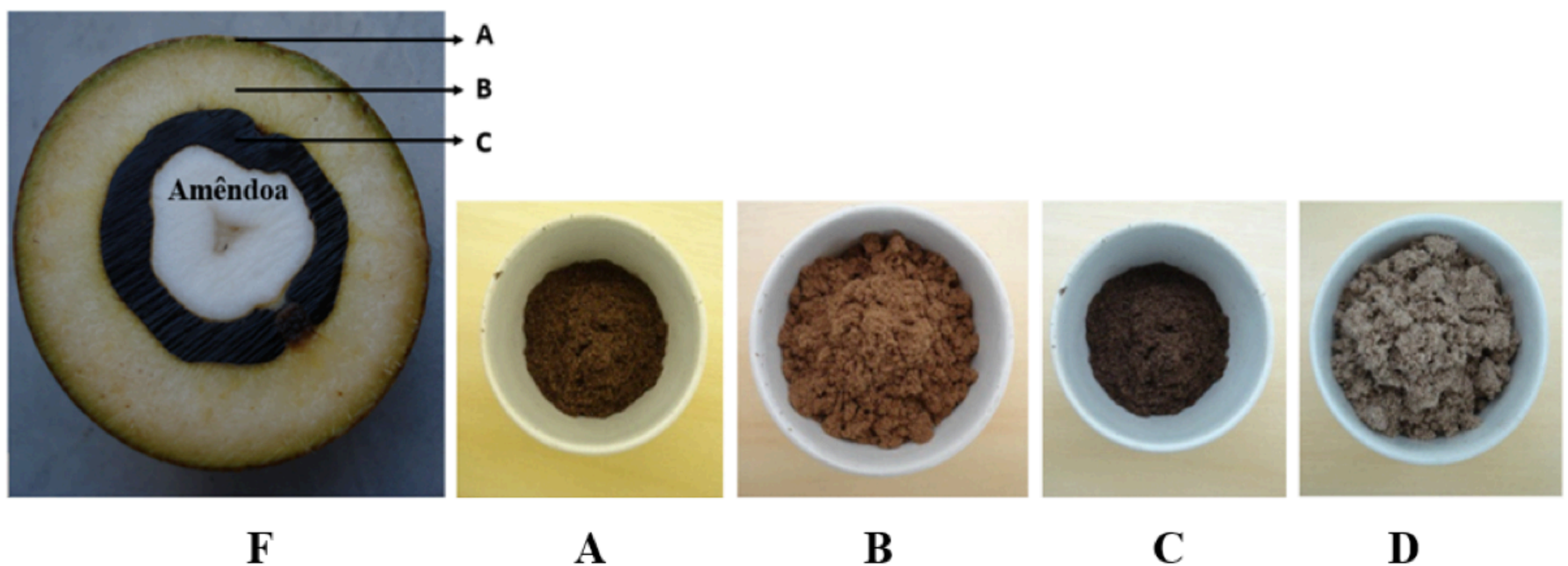
## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Amostras

As matérias primas avaliadas neste trabalho vieram do processamento de frutos na região Norte do Estado de Minas Gerais, nos municípios de Montes Claros e circunvizinhos.

Os frutos foram submetidos ao processo de separação do epicarpo; o material sem casca foi despulpado e a amêndoa foi separada do endocarpo, sendo todo o material enviado para as análises. A torta da macaúba (amêndoa e endocarpo) resultou do processo de moagem mecânica via Prensa *expeller*. A figura 1 apresenta o fruto bem como os coprodutos finais do processamento, respectivamente, epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta.

**Figura 1 (próprio autor)**



Amostras: (F – fruto; A - epicarpo; B - mesocarpo; C- endocarpo; D - torta).

## 2.2. Determinação do poder calorífico superior

Os coprodutos processados foram peneirados e a alíquota utilizada foi a que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh. Após peneiramento, o material foi desidratado em estufa convencional à temperatura de  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$  por 24 horas. As amostras com aproximadamente 1,0g de cada coproduto foram individualmente replicadas e separadas, seguindo para análise em um calorímetro adiabático e bomba calorimétrica *Parr*® empregando-se a Norma 8633 da ABNT (1984).

## 2.3. Análise elementar

Utilizou-se a análise elementar a fim de determinar o teor de Carbono, Nitrogênio, Hidrogênio e Enxofre, seguindo o mesmo processo de peneiramento e secagem anterior.

Inicialmente, utilizando uma balança com precisão de 0,005 mg, os coprodutos foram individualmente pesados em frações de 2 mg de resíduo que foram colocados em uma porta amostra de estanho. O conjunto (resíduo + porta amostra) foi depositado no carrossel do equipamento *Elementar Vário Micro Cube*.

A análise foi realizada em uma amostra por vez e em duplicata. Como gás de arraste, foi utilizado o gás hélio e o oxigênio como gás de ignição.

A temperatura do tubo de combustão, localizado no interior do equipamento, no momento da queda da amostra do carrossel, foi de  $1.150^\circ\text{C}$ . Logo após a combustão, os gases foram transportados por arraste para o tubo de redução e dele seguiram para a coluna de detecção. Os elementos foram determinados com o auxílio de um detector de termo condutividade, em que cada elemento fez sua interação e teve seu pico específico. Um computador contendo um software específico, acoplado ao equipamento, fez o cálculo dessa integração e foram determinados os valores dos elementos em porcentagem.

## 2.4. Análises estatísticas

Na avaliação das características quantificadas nos resíduos lignocelulósicos da macaúba utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (Eq.1). Para a comparação múltipla das médias foi utilizado o teste de Tukey em nível de 5% de significância.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad (1)$$

Em que:  $Y_{ij}$  é a observação do  $i$ -ésimo nível do fator região do fruto ( $i = 1, 2, 3$  e  $4$ ) na  $j$ -ésima repetição ( $j = 1$  e  $2$ );  $\mu$  é uma constante inerente a todas as observações;  $t_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo nível do fator região do fruto ( $i = 1, 2, 3$  e  $4$ );  $e_{ij}$  é o erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ , independente e identicamente distribuído de uma Normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

### 3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 apresenta o resumo da análise de variância para as características avaliadas levando-se em consideração as diferentes regiões no fruto da macaúba. Observa que o efeito da interação dos diferentes resíduos não foi significativo para o elemento carbono. Quanto aos demais elementos avaliados mais o poder calorífico superior, estes tiveram significância para o tipo de resíduo avaliado. O Efeito significativo da interação indica a existência de dependência entre os mesmos. Dessa forma, optou-se em fazer o seu desdobramento e avaliação do efeito do tipo de resíduo.

**Tabela 1**  
Resumo da análise de variância efetuada considerando-se como fator de variação as diferentes regiões do fruto da macaúba.

FV	GL	Quadrado Médio							
		C	H		N	S	C/H	C/N	PCS
<b>TRAT</b>	3	0,552ns	0,704*		10,134*	0,028*	1,225*	4715,16*	97870,37*
<b>Erro</b>	4	0,107	0,003		0,001	0,0001	0,042	0,442	2816,78
	<b>CVe</b>	0,69	0,79		1,15	4,09	2,76	1,68	1,08

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%);  
C: carbono; H: hidrogênio; N: nitrogênio; S: enxofre; C/H: relação carbono –hidrogênio;  
C/N: relação carbono – nitrogênio; PCS: poder calorífico superior; ns: não significativo a 5% pelo Teste F;  
\*: significativo a 5% pelo Teste F.

Na Tabela 2 encontram-se os valores médios das características avaliadas no fruto da macaúba, bem como o teste de comparação múltipla realizado.

**Tabela 2**  
Valores médios das características avaliadas no fruto da macaúba.

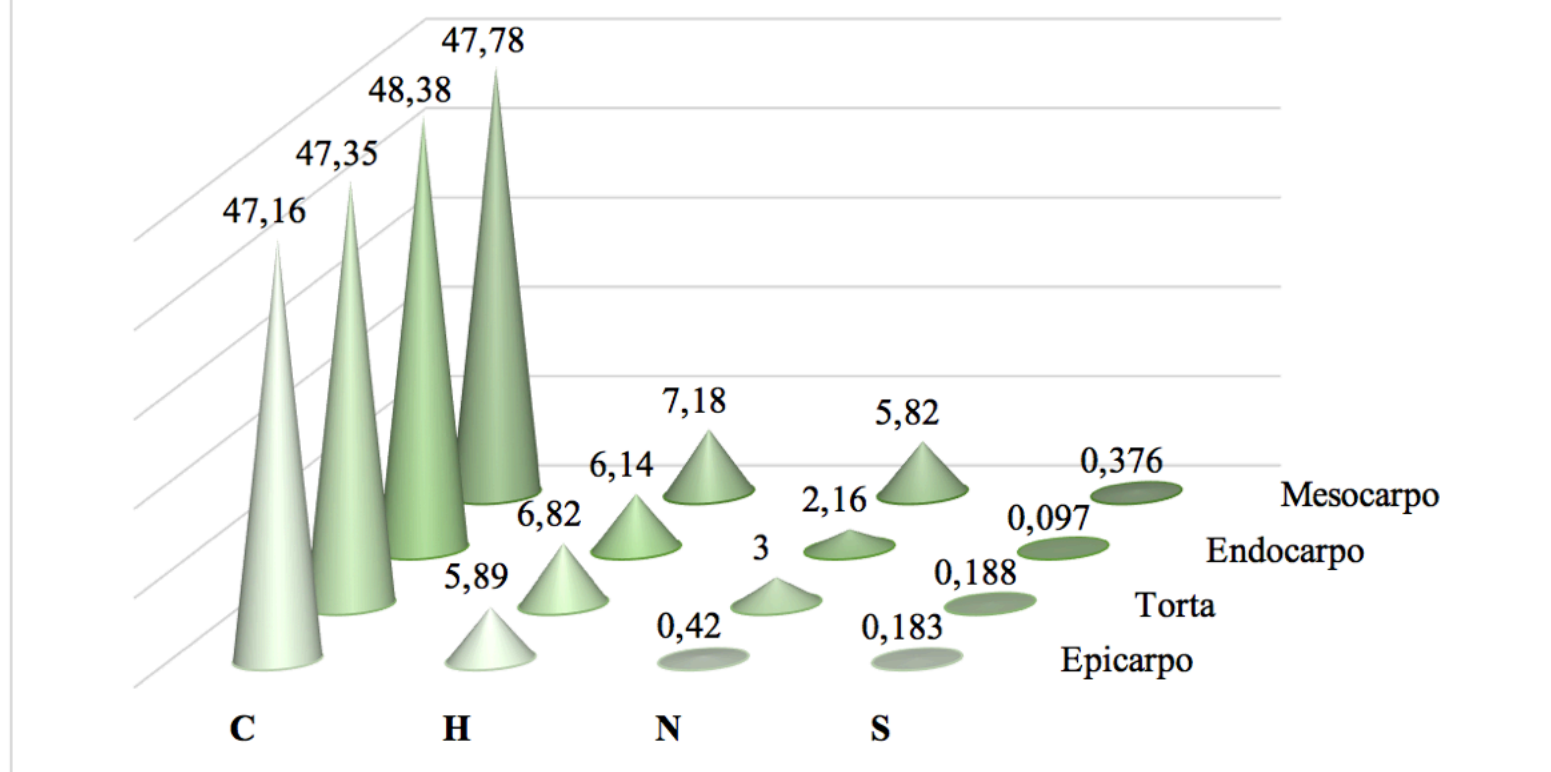
	C	H	N	S	C/H	C/N	PCS
<b>Epicarpo</b>	47,16a	5,89a	0,42a	0,183b	8,33b	111,87d	4602,33a
<b>Torta</b>	47,35a	6,82c	3,00c	0,188b	6,94a	15,76 b	4866,88b
<b>Endocarpo</b>	48,38a	6,14b	2,16b	0,097a	7,87b	22,38c	5008,10bc
<b>Mesocarpo</b>	47,78a	7,18d	5,82d	0,376c	6,65a	8,21a	5113,16c

C: carbono (%); H: hidrogênio (%); N: nitrogênio (%); S: enxofre (%);  
C/H: relação carbono – hidrogênio; C/N: relação carbono – nitrogênio;  
PCS: poder calorífico superior (kcal/kg). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na figura 2 apresenta as propriedades químicas do fruto da macaúba em porcentagem de seus referidos resíduos.

**Figura 2**

## Propriedades Químicas do Fruto da Macaúba (%)



C: carbono (%); H: hidrogênio (%); N: nitrogênio (%); S: enxofre (%).

Observa-se que nas diferentes partes constituintes que formam o fruto da macaúba (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta) apresentaram estatisticamente o mesmo teor de carbono elementar, em média 47,66%. Conforme DOURADO et al., (2017), que comparando inúmeros resíduos agrícolas como o amendoim, mamona e pinhão manso, encontrou os teores de carbono 46,14%, 40,76% e 39,01% respectivamente. Dentre os resíduos que o mesmo autor avaliou, estava também os resíduos do fruto da macaubeira (epicarpo ou casca) com 46,42% de carbono.

Já para teor de hidrogênio e para o poder calorífico superior do epicarpo e do mesocarpo da macaúba apresentaram estatisticamente o menor e o maior valor, respectivamente. Observa-se que a diferença no teor de hidrogênio entre essas regiões do fruto foi de 1,29% o que possivelmente resultou no aumento do poder calorífico superior em 510,83 kcal/kg no mesocarpo. Segundo Protásio et al. (2010) a cada 1% de acréscimo no teor de hidrogênio há um aumento de 514,75 kcal/kg no PCS considerando-se vários combustíveis de biomassa vegetal, assemelhando-se ao encontrado neste trabalho.

Quanto ao epicarpo, Evaristo et al. (2016) relataram em sua pesquisa que outro fator que contribui no acréscimo do PCS são os resquícios de óleo da polpa aderido no epicarpo durante o processamento. Os autores encontraram para poder calorífico superior o valor de 4.989Kcal/kg no epicarpo do fruto da macaubeira, ou seja, algo próximo do valor encontrado neste trabalho - PCS de 4.602,33 Kcal/.

Segundo (VALE et al., 2000) trabalhando com *Eucalyptus grandis*, sob diferentes adubações, encontraram PCS médio de 4.650 cal/g, valor este próximo ao poder calorífico superior da casca de macaúba. (PROTÁSIO et al., 2010), encontraram valores médios de 4.606 e 4.515 Kcal/kg para resíduos do processamento dos grãos de café e da colheita do milho, respectivamente.

Quanto ao mesocarpo, o resultado para PCS foi de 5.113 Kcal/Kg, o maior poder calorífico entre todos os resíduos avaliados, entretanto esse valor, pode ser melhor justificado em função das diferentes concentrações de óleo disponível em sua polpa. A justificativa encontra respaldo no fato da polpa representar a maior proporção em relação ao fruto devido ao seu maior teor de água e seu elevado teor de óleo. Ciconini et al. (2012), estudando a biometria dos frutos e o teor de óleo, encontraram nas populações de macaúba do cerrado do Mato Grosso do Sul, 49,1% e 25,1% teor de umidade e de óleo, respectivamente. CETEC (1983), estudando as populações de macaúba em Minas Gerais encontrou teor de óleo na polpa superior, 55-69%.

Já para a torta proveniente do fruto da macaúba, foram encontrados valores semelhantes se comparado aos seguintes valores para a maravalhas de pinus, carbono (49%), hidrogênio (6,65%) e poder calorífico de (4864 kcal/kg). Quanto ao endocarpo do fruto da macaúba, os valores se aproximam daqueles encontrados por PROTÁSIO et al. (2010) para maravalhas de eucalipto - carbono

(48,20%), hidrogênio (6,36%).

VILAS BOAS (2010) avaliando os valores médios da densidade aparente e o poder calorífico do endocarpo e caroço da macaúba não carbonizados, obteve: para o caroço (amêndoa + endocarpo) - 4.840,01 kcal/kg; endocarpo - 5.152,36 kcal/kg. EVARISTO et al. (2016) analisando o endocarpo não carbonizado, obtiveram para o PCS, 5.011 Kcal/kg.

PAULA et al. (2011) trabalhando com diversos resíduos de diversas culturas agrícolas (arroz, café, cana-de-açúcar, soja, feijão e milho) e com resíduos do setor madeireiro (aparas e serragem) encontraram PCS variando de 3.812 a 4.615 Kcal/kg.

Os baixos teores em enxofre, com média de 0,211%, são características benéficas quando o objetivo é a geração de energia, uma vez que a liberação deste elemento na atmosfera causa impactos ambientais incalculáveis como a acidificação da água das chuvas (BRITO; BARRICHELO, 1978).

---

## 4. Conclusão

Ao se avaliar o potencial energético dos resíduos do fruto da macaubeira bem como seus constituintes elementares, observa-se que esta é uma fonte promissora de energia para produção de calor, principalmente quando se compara com outros resíduos agroindustriais.

---

## Bibliografia

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 08633**. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: Análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, v. 16, p. 63-70, jun. 1978.
- CICONINI, G. Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. 2012, 127p. **Dissertação** (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco, UCDB, Campo Grande, 2012.
- COSTA, A. G.; PINTO, F. A. C.; BRAGA, R. A.; MOTOIKE, S. Y.; GRACIA, L. M. N. Relationship between biospeckle laser technique and firmness of *Acrocomia aculeata* fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Agriambi. v.21, n.1, p.68-73, 2017.
- DOURADO, D. C.; STROPARO, E. C.; TAVARES, E. L.; SOUZA, K. V.; HILLIG, E.; SCHIRMER, W. N. Determination of the elemental contents of lignocellulosic residues coming from biodiesel productio. **Revista Espacios**. V. 38 (Nº 27), Pág.24, 2017.
- DOURADO, D. C.; TAVARES, E. L.; STROPARO, E. C.; SOUZA, K. V.; HILLIG, E.; SCHIRMER, W. N. Avaliação das propriedades físicoquímicas de resíduos lignocelulósicos provenientes da produção do biodiesel. **Revista Espacios**. V. 38 (Nº 26), Pág.24, 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. BEN 2011. **Balanco Energético Nacional 2011**: Ano Base 2010. Rio de Janeiro: EPE, 266 p. 2011.
- EVARISTO, A. B.; MARTINO, D. C.; FERRAREZ, A. H.; DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. C. O.; GROSS, J. A. S.; Potencial energético dos resíduos do fruto da macaúba e sua utilização na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 571-577, 2016.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Programa Energia. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Relatório final. Belo Horizonte: **CETEC**, p. 152, 1983.
- HIRSCHL, B. International renewable energy policy - between marginalization and initial approaches, **Energy Policy**, v. 37, n. 11, p. 4407-4416, 2009.
- MATSIMBE, S.F.S.; MOTOIKE, S.Y.; PINTO, F.A. de C.; LEITE, H.G.; MARCATTI, G.E. Prediction of oil content in the mesocarp of fruit from the macauba palm using spectrometry. **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, p.21-28, 2015.
- MOTTA, P. E.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1023-1031, 2002.

OLIVEIRA, D.; MEDEIROS, M.; PEREIRA, S.; OLIVEIRA, M.; FROSI, G.; ARRUDA, E.; SANTOS, M. Ecophysiological leaf traits of native and exotic palm tree species under semi-arid conditions. **Bragantia**, v.75, p.128-134, 2016.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of Residues from Plant Biomass for use in Energy Generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr./jun. 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Contabilidad financiera y presentación de informes ambientales por las empresas**. 2011. Disponível em: <<http://www.unctad.org/sp/sphome.html>>. Acesso em: 15 maio de 2017.

PROTÁSIO, T. P. et al. Aproveitamento e caracterização de resíduos da biomassa agrícola e florestal visando a produção de energia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA E BIOTECH FAIR, 5., 2010, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Centro de Eventos FIEP, CD-ROM,2010.

REIS, E. F.; PINTO, J. F. N.; ASSUNÇÃO, H. F.; SILVA, D. F. P. Genetic diversity of macaúba fruits from 35 municipalities of the state of Goiás, Brazil. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.52, n.4, p.277-282, abr. 2017.

SILVA, J. C.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de Macaúba e de Babaçu comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **IPEF**, Piracicaba, n. 34, p. 31-34, 1986.

SILVA, J. N.; SOBRINHO, J. C.; SAIKI, E. T. Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 405-411, 2004.

VALE, A.T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

VILAS BOAS, M. A. et al.Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 481-490, set. 2010.

---

1. (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará) - [davidourado@unifesspa.edu.br](mailto:davidourado@unifesspa.edu.br)

2. (Universidade Federal de Lavras)

3. (Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná).

4. (Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná).

5. (Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná).

6. (Universidade Federal de Lavras)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 39 (Nº 03) Año 2018

[Índice]

[No caso de você encontrar quaisquer erros neste site, por favor envie e-mail para [webmaster](mailto:webmaster)]

©2018. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados