

# CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA E RENDIMENTO DA CARBONIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE GRÃOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*, L) E DE MADEIRA (*Cedrelinga catenaeformis*), DUKE

Ailton Teixeira do Vale<sup>1</sup>, Luiz Vicente Gentil<sup>2</sup>, Joaquim Carlos Gonzalez<sup>1</sup>, Alexandre Florian da Costa<sup>1</sup>

(recebido: 11 de maio de 2007; aceito: 26 de outubro de 2007)

**RESUMO:** Dois milhões de toneladas de casca de grãos de café são produzidas anualmente no Brasil tornando um resíduo interessante, do ponto de vista da produção de energia. Objetivou-se no presente trabalho caracterizar essa biomassa e determinar o rendimento da carbonização. Paralelamente e para servir de comparação o mesmo foi feito com resíduo (maravalhas) de cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*, Duke). A casca de grãos de café foi coletada em indústria de Unai-MG e as maravalhas em madeireiras de Brasília. Foram determinados o teor de umidade, densidade do granel, poder calorífico, análise imediata e quantidade de calor por unidade volumétrica, além do rendimento em carvão, licor pirolenhoso e gases não condensáveis. A 0% de umidade e em comparação à maravalha, a casca de grão de café apresentou maior densidade do granel (144,41 kg/m<sup>3</sup>), menor teor de carbono fixo (10,31%), menor poder calorífico superior (3.933 kcal/kg), maior rendimento em carvão vegetal (40,64%). A maior densidade do granel proporcionou uma maior produção de energia na forma de calor por unidade volumétrica (507.528 kcal/m<sup>3</sup> ou 2.179 MJ/m<sup>3</sup>).

Palavras-chave: Casca de café, energia, caracterização.

## CARACTERIZATION OF BIOMASS ENERGY AND CARBONIZATION OF COFFEE GRAINS (*Coffea arabica*, L) AND (*Cedrelinga catenaeformis*), DUKE WOOD RESIDUES

**ABSTRACT:** Brazil produces annually two million tons of coffee's husks from farms or industrial processing units. This waste material can be used for energy production; currently it is mainly used in agricultural practices as field straw cover up. This paper deals with coffee's (*Coffea arabica*, L) husks biomass energy characteristics, including wood carbonization. As a reference, the same study was performed with a wood species regularly used for building construction named Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*, Duke). Coffee's husks was obtained from a farm 150 km far from Brasilia city and cedrorana sawdust from a local saw mill. This paper presents results from energy and biomass variables like moisture content, bulk density, lower and superior heating power, ash content, fixed carbon, volatile matter and volumetric energy. It has also studied carbonization, charcoal, pyrolygneous licqor and non-condensable gases. A comparison between Coffee's husk with 0% moisture content and Cedrorana sawdust portrays the following results: bulk density 144.41 kg/m<sup>3</sup>, fixed carbon 10.31%, superior heating power 4.57 kWh (or 16.46 MJ or 3.933 Mcal/kg), charcoal content 40,64% and heating value per cubic meter 2,179 MJ/m<sup>3</sup>

Key words: Coffee's husks, energy, charcoal.

### 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, a matriz energética brasileira experimentou mudanças na participação dos energéticos primários, chegando em 2005 com: 42,04% de petróleo, 14,47% de energia hidráulica e 29,67% de biomassa (14,17% de lenha e 15,50% de cana-de-açúcar) (BRASIL, 2006). A biomassa é um bem que pode ser renovado infinitamente pelo plantio e o petróleo, não. Dentro desse contexto, vislumbra-se uma tendência estratégica do crescimento da biomassa como substituta do petróleo. Levando-se em conta a grande extensão do território nacional e a aptidão brasileira para a silvicultura, aliada à possibilidade de utilização de resíduos florestais e agrícolas, o Brasil tem as condições ideais para essa

mudança. Os resíduos de origem florestal e agrícola formam uma categoria interessante de biomassa que pode ser explorada. A serragem de madeira e as cascas dos grãos de café no Brasil, constituem resíduos de baixo custo, renováveis e às vezes mal aproveitados, ambientalmente corretos e potencialmente capazes de gerar calor, vapor e energia elétrica, podendo, dessa forma contribuir como combustível alternativo na geração de energia.

Suarez & Luengo (2003), estudando a combustão de briquetes de casca de grãos, de café encontrou teores de material volátil, cinzas e carbono fixo iguais a 78,5%, 2,4% e 19,1%, respectivamente; poder calorífico inferior de 18,39 MJ (4.393 kcal/kg), teor de umidade de 10% e densidade a granel de 196 kg/m<sup>3</sup>. Segundo Kihel (1985) de 45 a 55% do grão maduro do café é resíduo, ou seja, uma

<sup>1</sup>Professores do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília/UnB – Cx. P. 04357 – Asa Norte, 70.919-970 – Brasília, DF – ailton.vale@gmail.com, goncalvez@unb.br, lucate@unb.br

<sup>2</sup>Doutorando em Ciências Florestais na Faculdade de Agronomia e Veterinária/FAV da Universidade de Brasília/UnB – Campus Universitário – 70.910-900 – Brasília, DF – gentil22@unb.br

tonelada de grão de café produz, em média, 50% de grão limpo e 50% de casca e polpa. Giomo (2006) afirma que, para café coco, com 10 a 12% de umidade, 50% é grão (endosperma) e 50% é casca mais pergaminho constituído por exocarpo e endocarpo. Portanto, o processamento de duas toneladas de café em coco produz uma tonelada de café em grão comercial, gerando uma tonelada de resíduos. Segundo o Cooxupé (2006) e IBGE (2005), a safra brasileira de café de 2004/2005 apresentou uma produção de 33 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, produzindo 1 milhão de toneladas de resíduo de casca de café. Giomo (2006) informa que os resíduos de café são usados tanto para adubação de cobertura dos cafezais como para queima em fornalhas e até para serem usados como briquete energético.

Objetivou-se com essa pesquisa determinar as características energéticas de um resíduo agrícola: a casca de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e um resíduo florestal produzido nas madeiras: maravalhas da madeira de cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*, Duke). As características analisadas foram umidade, densidade do granel, poder calorífico, material volátil, cinzas e carbono fixo. Os resíduos foram carbonizados determinando os rendimentos em carvão, licor pirolenhoso e gases não condensáveis.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Quatro sacas de casca de grãos de café (*Coffea arabica*, L) foram obtidas de uma indústria de pré-processamento da cidade de Unaí-MG, retiradas após secagem pelo método natural, para evitar a fermentação e quatro sacas de maravalhas de cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*, Duke) foram obtidas em madeiras de Brasília. Essas sacas foram divididas em cinco amostras de cada resíduo para a caracterização e carbonização.

As determinações da umidade e da densidade do granel dos resíduos foram feitas na condição em que ele chegou ao laboratório. A umidade com base em Vital (1997) e a densidade do granel a partir da determinação da massa de um volume conhecido, utilizando-se de um recipiente de 1500 cm<sup>3</sup>.

As carbonizações também foram feitas com o resíduo na condição em que chegou no laboratório. Cada carbonização foi realizada em forno mufla modelo Quimis a uma temperatura máxima de 450±10°C, durante 3,5 horas. As amostras com cerca de 0,7 kg de resíduo foram colocadas dentro de um cadinho metálico e esse dentro do forno. O cadinho através de uma saída traseira era acoplado a um sistema de condensação para coleta do licor pirolenhoso. Após cada carbonização o licor e o carvão foram pesados

para determinação dos rendimentos de carvão, licor pirolenhoso e gases não condensáveis.

Para a determinação do poder calorífico superior e da análise imediata, cascas de grãos de café e maravalha de cedrorana foram levadas ao Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, onde foram trituradas em moinho de facas. Em seguida, esses resíduos foram transportados para o Laboratório de propriedades físicas e energéticas da biomassa na Universidade de Brasília, onde, colocados em bandejas de alumínio foram secas a uma temperatura de 103±2°C até 0% de umidade. Após a secagem, os resíduos foram classificados em peneiras da marca Bertel, com dois tipos de aberturas 40 mesh e 60 mesh. A fração entre 40 e 60 mesh foi utilizada para a análise imediata (teor de material volátil, teor de cinzas e teor de carbono fixo), segundo a norma ABNT NBR 8112/86 (ABNT, 1986). A fração abaixo de 60 mesh foi utilizada para a determinação do poder calorífico superior (PCS), baseado na norma NBR 8633 da ABNT/1884 (ABNT, 1984), usando a bomba calorimétrica PARR 1201 e como unidade calorimétrica a cal/g. O poder calorífico útil (na umidade atual) foi determinado pela expressão que segue:

$$PCU = PCI(1 - U) - 600U,$$

onde:

U é umidade em base úmida (%)

PCI é poder calorífico inferior a 0% de umidade.

$$PCI = PCS - 324,$$

onde PCS é poder calorífico superior.

A quantidade de calor foi obtida para a condição seca a 0% de umidade, determinando o produto entre o poder calorífico superior e a densidade do granel a 0% de umidade; e para a condição de umidade em que o resíduo foi encontrado determinando o produto entre o poder calorífico útil e a densidade do granel nessas condições de umidade.

Foram realizadas análises de variância, considerando-se dois tratamentos: T1 - resíduos de madeira e T2 - cascas de café, e cinco repetições, com base em Ferreira (2000).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se na Tabela 1 os valores médios de umidade e de densidade do granel da maravalha de cedrorana e da casca de café na condição em que o resíduo chegou no laboratório. Observa-se que, mesmo com um menor teor de umidade, a casca de café apresentou maior densidade do granel, uma vez que as partículas da casca

de café são menores, promovendo uma melhor compactação em relação às maravalhas, que são partículas maiores, implicando em um arranjo mais solto e uma menor densidade do granel. O custo do transporte está associado à densidade onde biomassas leves são pagas por metro cúbico (ALBUQUERQUE, 2006) e as pesadas por tonelada. As de menor custo de transporte são as mais densas, como a do café que é 45% mais densa que a da Cedrorana.

Apresentam-se na Tabela 2 os resultados da análise imediata dos resíduos. Os teores de material volátil e de cinzas apresentaram diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade. Essa diferença está associada à qualidade química dos resíduos implicando em um maior teor de material volátil para a maravalha e um maior teor de cinzas para a casca de café. O teor de cinzas está relacionado com a presença de quantidades e de qualidades diferentes de minerais presentes na biomassa, assim minerais como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros fazem aumentar o teor de cinzas. O café apresentou um elevado teor de cinza (13,96%), que pode ser proveniente da adubação, não só de potássio e fósforo, mas do cálcio usado como corretivo. Esse excesso de cinzas poderia ser removido automaticamente nas modernas caldeiras e grelhas autolimpantes ou vendido como fertilizante e corretivo dos solos agrícolas. A lenha, um combustível muito utilizado em caldeiras tem teor de cinzas em torno de 1% o que é um bom índice por não prejudicar caldeiras e fornalhas. No entanto, existem caldeiras com grelhas e sistema autolimpante para eliminação do excesso de cinza. Nesse caso o alto teor de

cinzas na casca de café não é um empecilho para o seu uso como combustível.

O teor de carbono fixo está indiretamente relacionado com os teores de material volátil e de cinzas, o que explica o menor teor para a casca de café. O poder calorífico superior de um resíduo, por sua vez, está diretamente relacionado com o teor de carbono fixo. Dessa forma espera-se que o poder calorífico da maravalha seja maior que o da casca de café.

Observam-se na Tabela 3 os valores médios de poder calorífico superior e poder calorífico, na umidade atual. O PCS de cedrorana é semelhante ao encontrado por Quirino et al. (2004) que foi de 4.798 kcal/kg ou 20,05 MJ/kg. Observa-se que o resíduo de madeira de cedrorana (maravalha) possui um poder calorífico superior (4.932 kcal/kg ou 20,63 MJ), significativamente maior que o poder calorífico superior do café (3.933 kcal/kg ou 16,43 MJ/kg) e, mesmo com maior teor de umidade em base úmida também possui um maior poder calorífico útil (3.717 kcal/kg ou 15,54 MJ/kg, para a maravalha contra 3.040 kcal/kg ou 12,71 MJ/kg para a casca de café).

O poder calorífico superior da casca de café é maior quando comparada a outros resíduos, tais como: casca de semente de algodão (2.800 kcal/kg ou 11,70 MJ/kg); palha de arroz (3.500 kcal/kg ou 14,63 MJ/kg); sabugo de milho (2.900 kcal/kg ou 12,12 MJ/kg) (www.redenergia.com); e menor quando comparado com o coco-da-baía verde (*Cocos nucifera*) (5.636 kcal/kg ou 23,55 MJ/kg) (VALE et al., 2004); borra de café (5.500 kcal/kg ou 22,99 MJ/kg) e casca de coco de babaçu (4.500 kcal/kg ou 18,81 MJ/kg) (www.redenergia.com).

**Tabela 1** – Densidade do granel e teor de umidade dos resíduos de madeira e café.

**Table 1** – Density and moisture content of coffee residues and wood.

Resíduos	Densidade do granel (kg/m <sup>3</sup> )		Umidade (%)	
	Amostra úmida	Amostra seca (0%)	Base seca	Base úmida
Maravalhas	115,06	95,39	22,33	17,10
Casca de café	166,95	144,41	15,66	13,50

**Tabela 2** – Valores médios de material volátil (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) dos resíduos de madeira e de café.

**Table 2** – Mean values of: volatile matter (MV). Ash (CZ) and fixed carbon (CF) of coffee residues and of wood.

Resíduos	Material volátil (%)	Cinzas (%)	Carbono fixo (%)
Maravalha	83,19 a	0,34 a	16,47 a
Casca de café	75,73 b	13,96 b	10,31 b

Obs.: Nas colunas, médias seguidas de mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 1% de probabilidade.

Apresentam-se na Tabela 4 os rendimentos da carbonização da casca de café e da maravalha. O rendimento em carvão vegetal foi significativamente diferente ao nível de 1% de probabilidade, tendo a casca de café produzido 25,74% a mais de carvão em comparação ao resíduo de madeira, com isso houve uma menor produção de licor pirolenhoso: 34,81% contra 47,91% da madeira, significativamente diferente, ao nível de 1% de probabilidade. Não houve diferença significativa entre os teores de gases não condensáveis.

Apresentam-se na Tabela 5 a quantidade de energia por metro cúbico de resíduo. A quantidade de calor que pode ser disponibilizada por unidade volumétrica de casca de café na condição em que ele é produzido (umidade em base seca de 15,66%) ( $507.528 \text{ kcal/m}^3$ ) é 18,59% maior que o resíduo de madeira ( $427.678 \text{ kcal/m}^3$ ). Isso foi possível

por causa da maior densidade do granel da casca de café, compensando o menor poder calorífico útil. Dessa forma há uma otimização do espaço dentro dos aparelhos de queima ao utilizar a casca de café em relação à maravalha de madeira, pois haverá maior produção de calor, por unidade de volume.

Uma tonelada de casca seca de café tem um poder energético 3.933.000 kcal e pode ser utilizado como biocombustível não só para gerar calor em fornalhas, como também gerar energia elétrica em pequenas comunidades, onde a produção desse resíduo seja significativa. Na ilha de Cuba isso já é uma realidade, segundo Suarez & Luengo (2003), que registra o uso de casca de café para produção de energia, o que indica que, nos países em desenvolvimento, a biomassa de resíduo agrícola pode se transformar numa importante fonte energética para as comunidades.

**Tabela 3** – Poderes caloríficos dos resíduos de madeira e de café.

**Table 3** – Heat of combustion of the residues wood and coffee.

Resíduo	Poder calorífico superior (kcal/kg)	Poder calorífico útil (kcal/kg)
Maravalha	4.932 a	3.717 a
Casca de café	3.933 b	3.040 b

Obs.: <sup>1</sup> Poder calorífico útil com teor de umidade de 17,1% para Cedrorana e 13,5% para cascas de grão de café. <sup>2</sup>Nas colunas, médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 1% de probabilidade.

**Tabela 4** - Rendimentos da carbonização de resíduos de madeira e de café.

**Table 4** – Carbonization yield of the wood and coffee residues.

Resíduos	Rendimentos (%)		
	Carvão	Licor pirolenhoso	Gases não condensáveis
Maravalha	32,32 a	47,91 a	19,76 a
Casca de café	40,64 b	34,81 b	24,55 a

**Tabela 5** – Quantidade de calor por unidade volumétrica para os resíduos de madeira e café.

**Table 5** – Amount of heat per volumetric unit for wood and coffee residues.

Resíduos	Quantidade de calor	
	Resíduo seco a 0% de umidade	Resíduo úmido
Maravalha	$470.463 \text{ kcal/m}^3$	$427.678 \text{ kcal/m}^3$
	$1.969 \text{ MJ/m}^3$	$1.790 \text{ MJ/m}^3$
Casca de café	$567.965 \text{ kcal/m}^3$	$507.528 \text{ kcal/m}^3$
	$2.377 \text{ MJ/m}^3$	$2.124 \text{ MJ/m}^3$

#### 4 CONCLUSÃO

Os resíduos de café na forma de casca e de madeira na forma de maravalha apresentam características energéticas que os colocam em condições de uso para a produção de energia térmica. A casca de café apesar de ter um poder calorífico menor que a maravalha de cedrorana, possui uma densidade do granel maior, implicando em maior produção de energia, por unidade volumétrica, otimizando assim o uso em aparelhos de queima.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. A. **Relatório administrativo 2005 da Eco Industrial Ltda.** Brasília, DF: Eco Industrial, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112/86.** Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633/84.** Rio de Janeiro, 1984.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balço energético nacional de 2005.** Brasília, DF, 2006. 191 p.
- COOPERATIVA REGIONAL DE CAFEICULTORES EM GUAXUPÉ. **Informação eletrônica.** Disponível em: <www.cooxupe.com.br>. Acesso em: 29 mar. 2006.
- FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia.** Maceió: FAL, 2000. 419 p.
- GIOMO, G. S. **Informações eletrônicas.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil.** Rio de Janeiro, 2005.
- KIHEL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Agrônômica Ceres, 1985. 492 p.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.
- SUAREZ, J. A.; LUENGO, C. A. Coffee husk briquettes: a new renewable energy source. **Energy Sources**, [S.l.], v. 25, n. 10, p. 961-967, out. 2003.
- VALE, A. T.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. J. Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco da Bahia (*Cocos nucifera L.*) para uso energético. **Biomassa & Energia**, Brasília, v. 1, n. 4, p. 365-370, 2004.
- VITAL, B. R. **Métodos para determinação do teor de umidade da madeira.** Viçosa: SIF/UFV, 1997. 33 p. (Boletim técnico SIF, 13).