
CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NO PROCESSAMENTO DE MADEIRA EM CAVACOS DE UM PICADOR (ESTUDO DE CASO)

Douglas Romeu da Costa ¹, Delly Oliveira Filho², José Márcio Costa ³, Adílio Flauzino de Lacerda Filho ⁴, Carlos Alberto Teixeira ⁵

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar um picador de madeira. Foram determinados o uso de energia elétrica pelo picador, a energia utilizada no processamento da madeira, a capacidade de processamento de cavacos e o consumo específico de energia. O teor inicial de água da madeira foi de 16,5% b.u. Pelos resultados, observou-se uma capacidade de processamento de cavacos de 1.550 kg h⁻¹ e um consumo específico de energia do picador de 3,8% da energia da biomassa. Para as condições em que foi testado (teor inicial de água do cavaco, carga de alimentação manual), considerase viável utilizar este picador para o processamento de cavacos.

Palavras-chave: Energia, biomassa, picador de madeira, produção de cavacos.

SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION OF A WOOD CHIPPER DURING WOOD PROCESSING: A CASE STUDY

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate electricity and energy used for wood processing, wood chip processing capacity and the specific energy consumption of a wood chipper. The initial wood moisture content was 16.5% w.b. The processing capacity of the equipment was 1.550 kg/h and the specific energy consumption was 3.8%, i.e. 3.8% of the energy contained in the wood was used in the form of electricity. Under the conditions in which the wood chipper was tested (initial wood moisture content and manual feeding), it was considered viable to use the chipper for wood processing.

Keywords: Energy, biomass, wood chipper, wood chip production.

Recebido para publicação em 07/05/2008. Aprovado em 28/01/2009

1- Eng^o Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, Dep. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG, 36570-000, Brasil, douglascosta@vicosa.ufv.br

2- Professor do Dep. de Engenharia Agrícola, UFV, delly@ufv.br

3- Professor do Dep. de Engenharia Agrícola, UFV, jmarcio@ufv.br

4- Professor do Dep. de Engenharia Agrícola, UFV, alacerda@ufv.br

5- Eng^o Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, carlos@vicosa.ufv.br

INTRODUÇÃO

A utilização de biomassa para fins energéticos (lenha, resíduos animais, agrícolas e florestais) é tão antiga quanto a própria história da civilização. A grande maioria da população dos países em desenvolvimento continua empregando biomassa como fonte primária de energia (CARIOCA & ARORA, 1984).

Segundo Williams & Larson (1993), citados por Nogueira (2000), nos Estados Unidos, a capacidade instalada de geração elétrica a partir da biomassa, no início dos anos 90, era de 8,4 GW.

Coelho (2001), citado por Miranda (2004), afirma que o Brasil tem vocação para utilizar biomassa como fonte alternativa de energia devido a posse de grande extensão territorial e ao clima tropical que permite o crescimento cinco vezes mais rápido de uma árvore em relação a países de clima temperado. Segundo Nogueira (2000), a biomassa foi o primeiro combustível utilizado em plantas termelétricas no início do século XX e, em 1995, a geração de eletricidade a partir de recursos bioenergéticos chegou a 6,5 TWh com uma potência instalada superior a 2 GW e representando 30% da geração de origem térmica e 2,5% da geração total de eletricidade. Somente o aproveitamento dos resíduos da biomassa como cascas de árvore, cavacos e licor negro, proporcionaria energia gerada de cerca de 1.000 MW no setor de papel-celulose.

De acordo com Nogueira (1995), citado por Nogueira (2000), a redução granulométrica de biomassa bruta se faz necessária em diversos sistemas que necessitam dessa matéria-prima com granulometrias bem definidas e objetivam aumentar o rendimento e melhorar as condições de operação. A maior superfície específica e a maior reatividade da madeira picada em cavacos, em comparação às toras de lenha, podem aumentar a eficiência de diferentes sistemas de utilização de biomassa, entre os quais citam-se: o leito em movimento, a queima em suspensão, o leito fluidizado borbulhante e o leito fluidizado circulante. Gaseificadores de leito em movimento são, ainda, mais eficientes quando operam com granulometrias entre 0,05 a 0,1 m.

O aproveitamento de resíduos de biomassa pode contribuir para o aumento de renda das indústrias e gerar empregos na operação de coleta desses materiais. Segundo Nogueira & Walter (1995), citados por Nogueira (2000), dados de sistemas

dendroelétricos reais operando no Brasil com máquinas de vapor a resíduos de serraria e capacidade total de, aproximadamente, 1 MW, indicam demanda de mão-de-obra de cerca de 10 homens por MW instalado.

O problema da utilização de resíduos florestais reside na adequação desses produtos aos queimadores de combustíveis sólidos existentes. Essa adaptação possibilitaria a automação desses resíduos para produção de energia elétrica e de calor. Assim, torna-se desejável cortar a madeira de modo que se obtenha uma padronização no tamanho da mesma proporcionando a automação sem a necessidade de modificar as fornalhas existentes.

Soares (1995) apresenta, no Quadro 1, a produção de biomassa de algumas espécies de eucalipto. Observa-se que a proporção de galhos e cascas possuem 21,5% do total de biomassa. Na utilização tradicional de biomassa para fins energéticos, os galhos e outros resíduos da floresta não têm sido aproveitados. Portanto, o uso dessa biomassa na forma de cavacos não somente do caule, mas também dos galhos e fustes, contribuirá com o aumento da produção de energia útil da floresta energética.

Castro (1978) mostrou que o aproveitamento de galhos e o fuste dos eucaliptos significa um acréscimo em peso em torno de 24% em relação ao aproveitamento somente de caule, para as espécies consideradas galhosas, como *E. microcorys* e *E. paniculata* e de cerca de 16% para espécie de poucos galhos como o *E. grandis*. Observou-se, também, que não houve variação significativa na relação em peso de galhada/lenha entre o primeiro e o segundo corte de uma mesma espécie.

A utilização de uma máquina picadora de madeira, conforme Figura 1, torna-se útil para o aproveitamento de resíduos de biomassa, devido a promover a adequação do uso desse combustível de modo que se possa automatizar o processo de queima em fornalhas, seja para a geração de vapor em caldeiras ou para a secagem de produtos agrícolas.

Diante do exposto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar energeticamente um picador de madeira. Avaliou-se o consumo específico de energia da máquina no processamento dos resíduos da madeira, em cavacos, em comparação com a energia contida nos mesmos.

Quadro 1. Produção de biomassa (t/ha) de algumas espécies de eucalipto, em diferentes idades e espaçamentos

Espécie	Idade (anos)	Região	Espaçamento (m)	Biomassa (t/ha)						Referência
				Caule	Casca	Galhos	Folhas	Raiz	Total	
<i>E. grandis</i>	4	Curvelo/MG	3,0 x 1,0	39,94	6,52	6,38	5,94	0,00	58,79	PEREIRA (1990)
<i>E. urophylla</i>	4	Curvelo/MG	3,0 x 1,0	38,12	6,89	5,65	6,78	0,00	57,45	
<i>E. grandis</i>	6	B. Desp./MG	3,0 x 2,0	61,84	10,95	9,13	3,33	12,69	98,25	FERREIRA (1984)
<i>E. grandis</i>	5,5	Carbonita/MG	3,0 x 2,0	22,94	5,30	3,47	2,35	16,01	50,1	
<i>E. grandis</i>	10	Itirapina/SP	3,0 x 3,0	160,3	23,3	0,00	0,00	0,00	183,6	SILVA (1983)
<i>E. saligna</i>	10	Itirapina/SP	3,0 x 3,0	168,7	15,5	0,00	0,00	0,00	184,2	
<i>E. propinqua</i>	10	Itirapina/SP	3,0 x 3,0	85,7	17,5	0,00	0,00	0,00	103,2	
<i>E. dunnii</i>	10	Itirapina/SP	3,0 x 3,0	125,6	24,9	0,00	0,00	0,00	150,5	
<i>E. robusta</i>	10	Itirapina/SP	3,0 x 3,0	117,4	16,7	0,00	0,00	0,00	134,1	
<i>E. citriodora</i>	8	Paraopeba/MG	3,0 x 2,0	61,40	15,30	19,10	6,10	0,00	101,9	MORAIS (1988)
<i>E. cloeziana</i>	8	Paraopeba/MG	3,0 x 2,0	71,90	30,50	11,80	5,80	0,00	120	
<i>E. saligna</i>	8	Paraopeba/MG	3,0 x 2,0	94,6	16,9	32,5	10,6	0,00	154,6	
<i>E. grandis</i>	8	Paraopeba/MG	3,0 x 2,0	78,5	11,9	30,5	7,5	0,00	128,4	
<i>E. maculata</i>	3,5	Itamarandiba/MG	3,0 x 2,0	9,68	2,26	2,34	2,01	0,00	16,29	MOLICA (1992)
<i>E. torelliana</i>	3,2	Timóteo/MG	3,0 x 2,0	30,58	4,37	4,1	2,76	0,00	41,81	
<i>E. citriodora</i>	3,2	Timóteo/MG	3,0 x 2,0	23,81	4,69	3,23	2,59	0,00	34,32	
		Média		74,43	13,34	8,02	3,48		99,27*	
		%		74,97	13,44	8,08	3,51		100	

* Descontado os valores da raiz

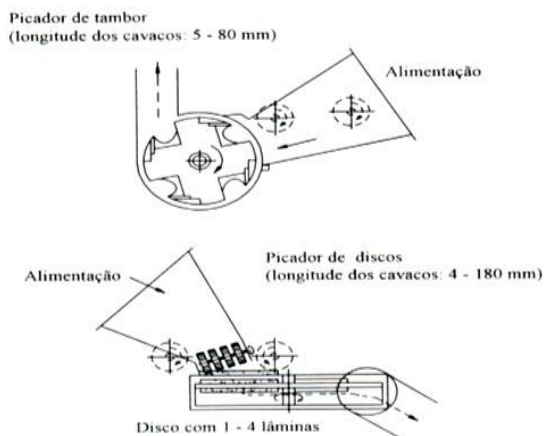


Figura 1. Tipos de picadores para madeira.

O picador de madeira a tambor (Figura 1) possui quatro facas e duas contra-facas presas a um rotor que promovem o corte do material. A alimentação da máquina pode ser feita de forma manual ou por meio de um sistema de rolos dentados e rolos ou correias transportadoras (DEMUTH, 2007).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório da Área de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola e no Setor de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal,

ambos da Universidade Federal de Viçosa.

Utilizou-se um picador de madeira (Figura 2) do tipo picador de tambor contendo duas peneiras classificadoras, um disco de 0,60 m e três facas de 0,14 m com carga de alimentação manual da marca chinesa Shugokukikai. O picador possui um motor de indução trifásica da marca General Electric – GE com potência de 25 cv.

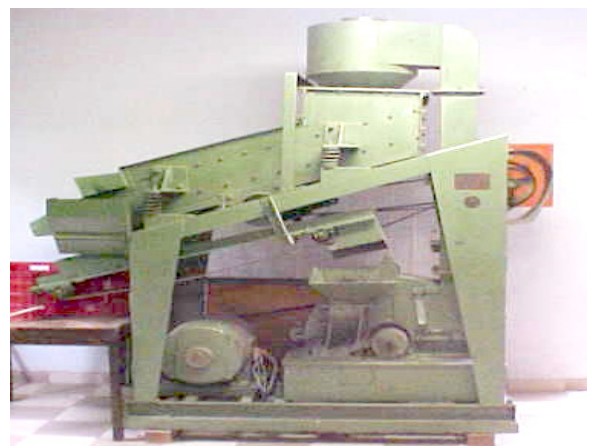


Figura 2. Picador de madeira utilizado no experimento.

A determinação do teor de água da madeira foi feita empregando-se o método gravimétrico, descrito por Rasmussem (1961). As amostras foram pesadas e

colocadas em estufa a 103 ± 2 °C até massa constante e, depois de esfriadas, foram pesadas novamente, determinando-se, ao fim desse processo, o teor final de água.

As grandezas elétricas corrente e tensão do sistema de alimentação do motor elétrico do picador de cavacos foram medidas por meio de um amperímetro alicate. A corrente média e a tensão média foram estimadas por meio das equações 1 e 2, respectivamente.

$$I_L = (I_A + I_B + I_C) / 3 \quad (1)$$

$$V_L = (V_A + V_B + V_C) / 3 \quad (2)$$

em que

I_L = média da corrente de linha, (A);

I = corrente de linha em cada fase A, B e C, (A);

V_L = média da tensão de linha, (V); e

V = tensão (V_A , V_B e V_C) entre fases, (V).

Conhecendo-se a corrente média obtida na equação (1), estimou-se o fator de potência e o índice de carregamento por meio das curvas características do motor elétrico de corrente alternada obtidas do fabricante WEG Motores (WEG, 2004).

A Figura 3 apresenta as curvas características de motor elétrico de corrente alternada da WEG. Considerou-se que as curvas características do motor ensaiado são similares às aquelas apresentadas na Figura 3, pois as mesmas não se encontram disponíveis.

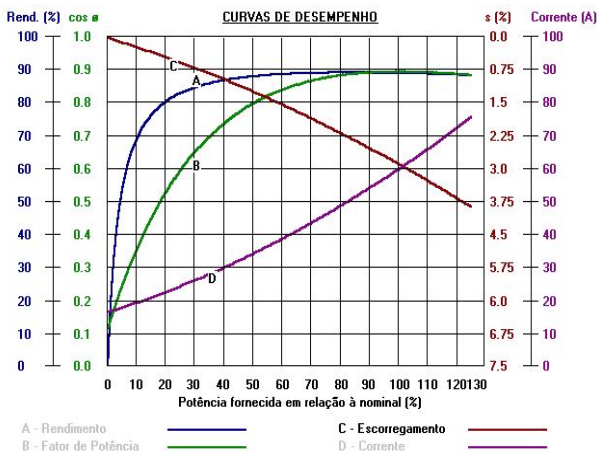


Figura 3. Curvas características de motor elétrico de corrente alternada da WEG motores similar ao motor de 25 cv que foi ensaiado.

O torque do motor (equação 3) foi calculado pela relação de medida da rotação do motor, por meio de um tacômetro e pela potência mecânica (equação 4).

$$\tau = \frac{P}{\omega} \quad (3)$$

em que

τ = torque, (N.m);

P = potência do motor elétrico, (W); e

ω = velocidade angular, (rad s⁻¹).

As potências mecânica e elétrica do motor foram calculadas por meio das equações 4 e 5.

$$P_{mec} = 736 I_c P_n \quad (4)$$

$$P_{el} = \sqrt{3} V_L I_L \cos(\Phi) \quad (5)$$

em que

P_{mec} = potência mecânica, (W);

I_c = índice de carregamento, (%);

P_n = potência nominal, (cv);

P_{el} = potência elétrica, (W); e

$\cos(\Phi)$ = fator de potência, (%).

O rendimento do motor elétrico foi estimado pela equação 6 por meio da curva característica do motor similar em que η_{el} é o rendimento elétrico do motor (%).

$$\eta_{el} = \frac{P_{mec}}{P_{el}} \quad (6)$$

A capacidade de processamento dos resíduos da máquina foi obtida realizando-se quatro ensaios com o picador de madeira. Para cada ensaio utilizou-se um lote de madeira com massa igual a 25 kg e diâmetro médio de 0,0578 m. Mediu-se o tempo gasto para o processamento da madeira em cada ensaio. O valor da capacidade de processamento foi obtido pela equação 7.

$$C_p = \frac{m}{t} \quad (7)$$

em que

C_p = capacidade de processamento da máquina, (kgs⁻¹);

m = massa de madeira processada, (kg), e

t = tempo de processamento da madeira, (s).

O consumo específico de energia no processamento da madeira foi calculado por meio da equação 8.

$$C_{en} = \frac{P_{el} t}{(P_{ci} C_p) / \eta_2} \quad (8)$$

em que

- C_{en} = consumo específico de energia, (%);
 t = tempo, (s);
 P_{ci} = poder calorífico inferior da lenha, (kJ.kg⁻¹); e
 η_2 = eficiência de conversão de energia da madeira em energia elétrica, (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 2 apresenta os resultados obtidos para a avaliação energética do motor elétrico de corrente alternada do picador. Os parâmetros fator de potência e índice de carregamento foram estimados via curva característica de um motor similar ao motor elétrico do picador.

Analisando-se o Quadro 2, observou-se que o torque foi 19,54% maior quando o motor operou com carga máxima de alimentação. Isso era esperado devido à redução de velocidade angular.

O rendimento elétrico estimado via curva característica de motor similar da WEG foi igual a 89,78%, mostrando que esse motor tipo padrão possui um bom rendimento em comparação com motores de alto rendimento, que possuem eficiência acima de 93%.

Verificou-se que o rendimento do motor elétrico foi igual a 89,78% (Quadro 2), considerando-se a máxima alimentação de carga manual do picador (1.550 kg/h). O rendimento poderá variar de acordo com o tamanho do cavaco e do teor de água.

Verifica-se, no Quadro 3, que o consumo

específico de energia do picador de cavacos foi igual a 3,8%. Este valor indica que o gasto de energia elétrica com esse picador foi 0,038 vezes a energia contida na lenha, ou seja, a energia elétrica consumida na produção de cavacos corresponde a 3,8% da energia da madeira picada.

Comparando-se esse valor de consumo específico de energia (3,8%) com os valores de resíduos de biomassa citados no Quadro 1, observa-se que a energia requerida para o processamento do cavaco é inferior ao potencial de aproveitamento extra de energia de resíduo de uma floresta de eucalipto, que é de aproximadamente 24%. Isso mostra que, para as condições em que foi testado:

- (i) é viável utilizar esse picador para o processamento de resíduos do ponto de vista estritamente de balanço energético;
- (ii) do ponto de vista da transformação de biomassa florestal em outro tipo de energia, como a elétrica por exemplo, a padronização do cavaco torna mais fácil o processo de automação de alimentação da fôrnelha; e
- (iii) o aproveitamento dos resíduos maximiza o rendimento energético. Estimou-se que pode-se produzir mais 24 % de biomassa pelo aproveitamento de galhos e fustes. Este valor representa uma produção líquida de energia de cerca de 19 % maior do que o aproveitamento energético sem galhos e fustes; e
- (iv) o consumo específico de energia para produção de cavacos foi medido em cerca de 3,8 % da energia contida na biomassa processada.

Quadro 2. Parâmetros estimados na avaliação energética do motor elétrico

Parâmetros Estimados	
Média da corrente de linha, A	54,53
Média da tensão de linha, V	221,87
* Fator de potência	0,89
* Índice de carregamento, %	91,00
Velocidade angular sem carga, rpm	1.121,00
Velocidade angular com carga, rpm	951,00
Torque sem carga de alimentação, Nm	156,74
Torque com carga de alimentação, Nm	187,37
Potência mecânica, W	16.744,00
Potência elétrica, W	18.650,30
Rendimento, %	89,78

* Estes parâmetros foram estimados via curva característica de motor elétrico similar da WEG .

Quadro 3. Parâmetros determinados na avaliação energética do picador de madeira

Parâmetros	
Teor inicial de água do cavaco, % b.u.	16,53
Comprimento dos cavacos, mm	6 a 30
Capacidade de processamento, kgh ⁻¹	1.550
Consumo específico de energia (%)*	3,8

* PCI da lenha = 11286 kJ.kg⁻¹ (2700 kcal.kg⁻¹); $\eta_2 = 10\%$

Quadro 4. Características da madeira e de picadores a tambor de um fabricante do produto

Parâmetros	Modelos de picadores a tambor		
	80/200/2RT	230/800/3RT	400/600/7RT
Teor inicial de água da lenha, % b.u.	40	40	40
Massa específica, kg/m ³	800	800	800
Comprimentos dos cavacos, mm	6 a 30	8 a 100	10 a 200
Eficiência de alimentação em relação à capacidade nominal do picador %	10	10	10
Capacidade de processamento, kg/h **	500 a 1.000	6.000 a 27.000	25.000 a 49.000
Potência acoplável, cv	10,1	60,8 a 253,3 **	228,0 a 506,6 **
Consumo específico de energia (%) *	4,5	2,3	2,1

* PCI da lenha = 11286 kJ.kg⁻¹ (2700 kcal kg⁻¹); $\eta_2 = 10\%$; ** A energia elétrica foi estimada considerando-se o valor de potência nominal do motor elétrico e os valores inferiores deste intervalo para a simulação do consumo específico de energia.

Ressalva-se, também, que este estudo focou o teste de uma máquina como oferecida originalmente pelo fabricante, ou seja, as dimensões dos cavacos produzidos são padronizadas e não foram otimizadas para a produção de energia. Assim, o consumo específico de energia elétrica para o processamento de biomassa pode ser ainda menor, pois acredita-se que as dimensões dos cavacos produzidos poderiam ser ainda maiores que àqueles produzidos nos testes.

Para comparar o picador estudado com outros obtidos na literatura, foram feitas simulações de consumo específico de energia, considerando-se picadores a tambor de um fabricante da máquina. Observou-se que a capacidade de produção de cavacos do picador avaliado poderia ter sido maior se tivesse sido testado com biomassa com teor de água de 40 % b.u. e por meio de alimentação automática (Quadro 4), conforme as especificações indicadas do fabricante DEMUTH (DEMUTH, 2007). Os testes foram feitos com biomassa com teor de água de 16,53 % b.u.

De acordo com o Quadro 4, a capacidade de processamento do picador a tambor 80/200/2RT é de 500 a 1.000 kg/h, para um teor inicial de água da madeira de 40% b.u. e considerando-se uma eficiência de alimentação em relação à capacidade nominal do picador de 10%. A capacidade de processamento do picador avaliado foi de 1.550 kg/h, para um

teor inicial de água do cavaco de 16,53% b.u. e considerando-se a carga de alimentação manual. Os valores simulados do consumo específico de energia (C_{en}) para os três modelos de picadores de tambor apresentados no Quadro 4 foram iguais a 4,5; 2,3 e 2,1%. Esses valores possuem a mesma ordem de grandeza em relação ao valor de C_{en} estimado para o picador estudado. Observa-se que o consumo específico de energia diminuiu com o incremento da potência do motor e da capacidade de processamento do picador.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que:

- O consumo específico de energia do picador foi de 3,8 % da energia da biomassa; e
- Para as condições em que foi testado (teor inicial de água do cavaco e carga de alimentação manual), considera-se viável utilizar esse picador para o processamento de cavacos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARIOCA, J. O. B. & ARORA, H. L. **Biomassa; Fundamentos e Aplicações Tecnológicas** Dep. de Química Analítica e Físico - Química e Núcleo de Fontes Não Convencionais de Energia da Universidade Federal do Ceará, 644p. 1984.

CASTRO, P. F. **Estudo para Aproveitamento da Galhada de Eucalipto**, in: CAF - Companhia Agrícola e Florestal, Santa Bárbara - MG, 12p. 1978.

DEMUTH, **Catálogo Eletrônico 2007**. Novo Hamburgo, RS. www.demuth.com.br. 10 mar. 2007.

MIRANDA, R. **Bioenergia no Brasil**. In: Agência

USP de Notícias, 10 p. 2001. www2.ipef.br/pipermail/bioenergia-l/2001-July/author.html. 11 jul. 2004.

NOGUEIRA, L.A.H. et al., **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**, Brasília: ANEEL, 2000; 144p.

RASMUSSEM, E. F. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA/ Forest Service, 1968. 197p.

SOARES, C. P. B. **Modelos para Estimar a Biomassa da Parte Aérea em um Povoamento de *Eucalyptos grandis* na Região de Viçosa**. Viçosa: UFV, 1995. 86p. (Dissertação de Mestrado).

WEG, **Catálogo Eletrônico 2004**. Jaraguá do Sul. www.weg.com.br. 20 abr. 2004.