

CAPACIDADE TÉRMICA E PODER CALORÍFICO DE BIOMASSA EUCALIPTO

P. S. NEIVA¹, D. B. FURTADO², J. R. D. FINZER³

^{1,2,3} Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

RESUMO – O consumo de combustíveis de fontes renováveis está em crescente demanda e o uso de biomassa é uma boa opção, pois contribui para o decréscimo do efeito estufa. Este trabalho teve como objetivo a análise do cálculo de combustão, através da capacidade térmica e poder calorífico de biomassa de eucalipto utilizado para geração de energia em caldeira aquatubular de indústria de produção de painéis de madeira – MDF e MDP. Enviou-se para Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo as biomassas: cavaco de eucalipto, casca de eucalipto, chapa de MDP (triturada), chapa de MDF (triturada) e pó de MDP e MDF proveniente de lixamento de chapas, afim de analisar a composição química, umidade, poder calorífico (superior e inferior) e percentual de cinzas. O cálculo teórico de poder calorífico inferior obtido do cavaco de eucalipto foi de 16,46 MJ/kg, em comparação ao obtido experimentalmente pelo IPT - 19,17 MJ/kg. O poder calorífico da madeira é diretamente influenciado pelo teor de umidade e pela massa específica básica, sendo que qualquer variação em algum desses parâmetros influencia no poder calorífico. Quanto maior o teor de umidade maior é o gasto energético para evaporar a água presente na madeira, e quanto menor a massa específica básica menor será o seu poder calorífico.

1. INTRODUÇÃO

Desde início da existência da humanidade têm-se registros do homem utilizando fogo, força animal e a energia gerada através dos ventos ou de quedas de água para atender as necessidades diárias de consumo e construção, e é de conhecimento de todos, que o avanço da humanidade, está diretamente ligado com esse aumento de consumo de energia e com uso controlado das diversas formas que são possíveis de se obtê-la (SOARES e col, 2006).

Com o avanço da tecnologia, que veio se modificando junto ao mundo moderno, apoiou-se cedo à ideia de utilizar preferencialmente os combustíveis de fontes não renováveis, como o carvão mineral, gás natural e o petróleo. Esse consumo crescente obrigou o ser humano a aumentar drasticamente o consumo de combustíveis fósseis a tal ponto que essas reservas, presumivelmente, segundo vários especialistas têm grandes chances de se esgotarem nos próximos cem anos (SOARES e col, 2006).

A biomassa é uma boa opção de geração de energia, por ser renovável, ser pouco poluente, contribuindo com a diminuição do efeito estufa e com aquecimento global. No Brasil as

biomassas têm uma grande significância na matriz de energia. Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (2008) no Brasil, em 2007, a biomassa, com um percentual de 31,1% da matriz energética, ficou como a segunda principal fonte de energia, sendo ultrapassada apenas por petróleo e derivados. Com isso, também segundo a Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (2008), para o mercado internacional o Brasil se destacou como o segundo maior produtor de etanol em 2007, obtido através da cana-de-açúcar, com capacidade similar aos Estados Unidos e União Européia.

Entre os tipos de biomassa utilizados, existe a biomassa florestal, que consiste em matérias provenientes de cultivo florestal, como por exemplo, cavaco de eucalipto e casca que são utilizados em fornalhas ou caldeiras, toras de madeiras utilizadas para lenha, entre outros.

A principal forma de utilizar a biomassa florestal é através da conversão de energia termoquímica ou pela combustão e queima que são maneiras de aproveitá-la como energia primária. (FOELKEL, 2016).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de biomassas utilizadas neste trabalho é em conjunto a uma empresa de produção de painéis de madeira MDF e MDP, situada na cidade de Uberaba – MG. Para o estudo utilizou-se cinco tipos de biomassas: cavaco de eucalipto, casca de eucalipto, chapa de MDP (triturada), chapa de MDF (triturada) e pó de MDP e MDF proveniente de lixamento de chapas, que são usados frequentemente na geração de energia. Porém, neste trabalho será abordado apenas os cálculos de quantidade ar atmosférico e poder calorífico teórico para a biomassa cavaco de eucalipto.

As amostras das biomassas supracitadas foram enviadas ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo para realização em laboratório das seguintes análises:

- Análise elementar (C, H, N, O, S);
- Análise de Umidade;
- Poder calorífico (Superior e Inferior);
- Percentual de Cinzas.

Utilizou-se para as análises no IPT aproximadamente 10 g de cada biomassa, sendo todas as amostras moídas e peneiradas em malha de 60 mesh.



2.1 Análise elementar

A análise elementar consiste em determinar o percentual de cada elemento na composição química da biomassa. Sendo os principais elementos o carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e o enxofre (C, H, N, O, S).

O IPT utilizou como base para determinação dos teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio a norma ASTM D5373-16 – Método A. O equipamento utilizado foi o analisador de carbono, hidrogênio e nitrogênio, código IPT: 01879 e uma balança analítica, código IPT:83823. Já para determinação do teor de enxofre total a norma utilizada como base na ASTM D4239-17 – Método A. Os equipamentos utilizados foram analisador de enxofre código IPT: 43252 e balança analítica LCL-003. Para determinação do teor de oxigênio foi utilizada a norma ASTM D3176-15.

2.2 Análise de Umidade

A análise de umidade é necessária para determinar a quantidade água em determinado material. Para a análise de determinação do teor de umidade o IPT utilizou como base a norma ASTM E871-82(13). Os equipamentos e instrumentos utilizados foram balanças duas balanças códigos IPT: 83823 e 21507, duas estufas códigos IPT: 26296 e 40672, e um termômetro código IPT: 3918.

2.3 Poder Calorífico (Superior e Inferior)

O Poder Calorífico é definido como a quantidade de calor que é despreendido pela combustão completa do combustível. Se a medição é feita com os produtos de saída em fase gasosa, é denominado poder calorífico inferior e se for considerado a água dos produtos em fase líquida, com os produtos de combustão à temperatura ambiente, é denominado Poder Calorífico Superior. A diferença dos dois tem que ser exatamente a entalpia de vaporização da água que é formada na combustão do hidrogênio em forma de produto e da água presente no combustível na forma de umidade.

Para determinação do poder calorífico o IPT se baseou na norma ASTM D5865-13. Utilizando uma balança analítica código IPT 83823 e uma bomba calorimétrica com cabeçotes de código IPT: 1 e 2.

2.4 Determinação do percentual de cinzas

As cinzas correspondem à fração inorgânica da biomassa, agregando na sua constituição os elementos químicos que são inertes as reações de combustão, entre eles estão fósforo, potássio e o cálcio. Para a determinação do teor de cinzas foi utilizada a norma ASTM D1102-84(13) e os equipamentos utilizados foram balança analítica de código IPT: 83823, uma mufla código IPT: 18516 e um termômetro código IPT: BG 1422.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cálculos de ar estequiométrico e relação ar/combustível.

Para a comparação dos resultados laboratoriais e calculado teoricamente, utilizou-se os

E por fim, na equação (4), a relação de ar/combustível para a biomassa Cavaco de Eucalipto.

$$\begin{aligned} a/c &= 539,19 \text{ kg de ar} / 99,7 \text{ kg de biomassa} \\ a/c &= 5,41 \text{ kg/kg} \end{aligned} \quad (4)$$

Com isso, tem-se que para queimar 100 kg de cavaco de eucalipto, desconsiderando os 0,3 kg de cinzas, são necessários 539,19 kg de ar.

3.2 Cálculo teórico do poder calorífico

Conforme os resultados das análises realizadas no IPT, o poder calorífico real medido do cavaco de eucalipto foi de 19,17 MJ/kg. Calculou-se o teórico, baseado em dados já disponíveis na literatura para comparar com o experimental. Considerando o calor de formação da água em - 68,317 kcal/mol e o calor de evaporação 10,519 kcal/mol a 25°C e 1 atm (PERRY; GREEN; MALONEY, 1988).

Para a queima do carbono temos as seguintes equações (5) e (6):



Logo a energia na equação (7), ϵ_1 corresponde à energia de formação do dióxido de carbono e na equação (8) ϵ_2 corresponde à energia de formação da água.

$$\epsilon_1 = - 94,052 \text{ kcal/mol} \cdot 3.920,09 \text{ mol} = - \mathbf{368.692,30 \text{ kcal}} \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = - 68,312 \text{ kcal/mol} \cdot 2948,85 \text{ mol} = - \mathbf{201.441,60 \text{ kcal}} \quad (8)$$

A energia total, calculada na equação (9), é a soma da formação do dióxido de carbono ϵ_1 e a energia de formação da água ϵ_2 :

$$\epsilon_{\text{total}} = \epsilon_1 + \epsilon_2 \quad (9)$$

Logo:

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{total}} &= - 368.692,30 + (- 201.441,60) \\ \epsilon_{\text{total}} &= - 570.133,91 \text{ kcal por 100 kg biomassa de cavaco de eucalipto} \\ \epsilon_{\text{total}} &= - \mathbf{5.701,34 \text{ kcal/kg biomassa de cavaco de eucalipto}} \end{aligned}$$



Para o cavaco de eucalipto temos - 5.701,34 kcal/kg de energia disponível por quilograma de biomassa.

Calculou-se a energia efetiva na equação (10), levando em consideração que a energia gerada pela combustão completa do combustível não corresponde à energia efetiva. O cavaco de eucalipto conforme representado no laudo do Anexo 1, contém 22,9% e 0,3% de cinzas as quais não geram energia, portanto deve ser desconsiderado da energia gerada na formação a massa de cinzas e a massa de água. Segue os cálculos, levando em consideração a base de cálculo de 100 kg.

Logo:

$$\epsilon_{\text{efetiva}} = \epsilon_t \cdot [100 - \sum f_i + (\%)] \quad (10)$$

$\epsilon_{\text{efetiva}}$: Energia efetiva;

ϵ_t : Energia de formação da combustão;

f_i : Fração de cinzas;

(%): Fração de água no material;

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{efetiva}} &= -5.701,34 \cdot [100 - (0,3 + 22,9)] \\ \epsilon_{\text{efetiva}} &= - 437.862,84 \text{ kcal/100 kg de biomassa} \\ \epsilon_{\text{efetiva}} &= - \mathbf{4.378,63 \text{ kcal/kg}} \text{ de biomassa} \end{aligned}$$

Calculando a quantidade matéria de H₂O em mols na equação (11):

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = 22,9 \text{ kg H}_2\text{O} / 18 \text{ kg H}_2\text{O/kmol} + 2,95 \text{ kmol H}_2\text{O} = \mathbf{4,220 \text{ kmol H}_2\text{O}} \quad (11)$$

Sendo assim a equação (12) para o cálculo de energia gasta na evaporação da água é:

$$\epsilon_{\text{evaporação}} = \Delta H_{\text{evaporação H}_2\text{O}} \cdot Q_{\text{H}_2\text{O}} \quad (12)$$

Visto que a entalpia de evaporação da água é 10,519 (kcal/mol) (PERRY; GREEN; MALONEY, 1988):

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{evaporação}} &= 10,519 \text{ kcal/mol} \cdot 4.220,22 \text{ mol H}_2\text{O} \\ \text{em 100 kg de biomassa} &= \mathbf{44.392,52 \text{ kcal/100 kg H}_2\text{O}} \\ \epsilon_{\text{evaporação}} &= \mathbf{443,93 \text{ kcal/kg}} \end{aligned} \quad (13)$$

Sendo a energia gasta na evaporação de H₂O igual a 443,93 kcal/kg de biomassa, a energia disponível para o sistema segundo a equação (13) é igual a:

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{disponível}} &= \epsilon_{\text{evaporação}} + \epsilon_{\text{efetiva}} \\ \epsilon_{\text{disponível}} &= 443,93 \text{ kcal/kg} + (-4.378,63) \text{ kcal/kg de biomassa} \\ \epsilon_{\text{disponível}} &= -3.934,70 \text{ kcal/kg} \cdot 4.184 \text{ J/kcal} \end{aligned}$$

$\epsilon_{\text{disponível}}=16,46 \text{ MJ/kg}$

A diferença entre o valor medido experimentalmente e o teórico pode ser calculado pela equação (14):

$$\left(\frac{\text{Poder calorífico Experimental} - \text{Poder calorífico Teórico}}{\text{Poder calorífico Experimental}} \right) \cdot 100 \quad (14)$$

Logo:

$$\left(\frac{19,17 - 16,46}{19,17} \right) \cdot 100$$

Tendo uma diferença percentual de **14%**.

Vale salientar que os cálculos de comparação das demais biomassas seguem a mesma sequência de análise.

4. CONCLUSÃO

O poder calorífico da madeira é diretamente influenciado pelo teor de umidade e pela massa específica básica, sendo que qualquer variação em algum desses parâmetros influencia no poder calorífico. Quanto maior o teor de umidade maior é o gasto energético para evaporar a água presente na madeira, e quanto menor a massa específica básica menor será o seu poder calorífico. O poder calorífico inferior do cavaco de eucalipto calculado estequiometricamente foi de **16,46 MJ/kg**, enquanto o obtido experimentalmente pelo IPT foi de **19,17 MJ/kg**; portanto o desvio foi de 14%.

6. REFERÊNCIAS

SOARES, Thelma Shirlen et al. USO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA. 2006. 9 p. Artigo (**USO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA - ENGENHARIA FLORESTAL**)- Universidade Federal de Viçosa, Garça, 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

FOELKEL, Celso. Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas. In: FOELKEL, Celso. Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2016. cap. 43, p. 1-239. Disponível em: <http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43_Florestas_Energeticas_Eucaliptos.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (Brasil). Biomassa. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (Brasil). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: [s.n.], 2008. cap. 4, p. 63-74. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2018.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. Perry's chemical engineers' handbook. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1988.