ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

# ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE, CINZAS E PODER CALORÍFICO DE CAVACO DE EUCALIPTO UTILIZADO COMO COMBUSTÍVEL EM CALDEIRA FLAMOTUBULAR

*Tales Pereira AMORIM *, Cássio Rangel PAULISTA. Centro Universitário Redentor, IFF Campus Centro.*

**tales_pereira_amorim@hotmail.com*

**Resumo**

O presente trabalho estabeleceu características químicas, poder calorífico, teor de umidade e cinzas do cavaco de eucalipto utilizado como combustível de alimentação para caldeira flamotubular. Foi utilizada uma amostra recolhida na esteira de alimentação da caldeira de uma fábrica de soluções de papel e embalagens situada na cidade de Pirapetinga/MG. Foram feitos estudo de revisão bibliográfica para obtenção média da composição química do cavaco de eucalipto, determinação do teor umidade pelo método gravimétrico segundo a norma pela norma ABNT-NBR 14929 [1], cálculo do poder calorífico da amostra e determinação do teor de cinzas segundo o método da norma ABNT NBR 13999 [2]. Os resultados obtidos atestaram alto teor de umidade para amostra, indicando redução do poder calorífico e evidenciando processos necessários para coleta e secagem do cavaco de eucalipto para utilização em caldeiras, além teores de cinzas consideráveis, também devido à umidade presente.

**Palavras – chave:** Poder calorífico, umidade, cavaco, eucalipto.

**Abstract**

The present work established chemical characteristics, calorific value, humidity of the eucalyptus chip used as fuel for the flamotubular boiler. A sample collected from the boiler feed conveyor of a paper and packaging solutions factory located in the city of Pirapetinga / MG was used. A bibliographic review study was carried out to obtain the average chemical composition of the eucalyptus chip, determination of the moisture content by the gravimetric method according to the standard by the ABNT-NBR 14929

ISBN: 978-65-89908-00-5

[1] standard, calculation of the calorific value of the sample and determination of the ash content according to the method of standard ABNT NBR 13999 [2]. The results obtained attested to a high moisture content for the sample, indicating a reduction in the calorific value and evidencing the necessary processes for the collection and drying of the eucalyptus chip for use in boilers, in addition to considerable ash contents, also due to the moisture present.

**Keywords:** calorific value, humidity, chip, eucalyptus.

## INTRODUÇÃO

Caldeiras são máquinas que utilizam água como fluido de trabalho para aquecimento ou acionamento mecânico. É aplicada em diversos setores: indústrias alimentícias, papel, têxtil, metalúrgica, entre outros [5].

As indústrias de papel e papelão, assim como muitos outros setores, utilizam em seu processo produtivo as caldeiras. O vapor produzido deve atender a demanda da fábrica, para isso utilizam como combustível a biomassa, que possui poder calorífico expressivo para aquecer a água.

Segundo os dados do Balanço Energético do Nacional [3] do ano de 2017, foi registrada a participação de 8,2 % da biomassa na matriz energética brasileira, sendo a segunda a principal fonte atrás de gás natural. Levando em consideração que biomassa pode ser qualquer resíduo orgânico que possa ser transformado em energia térmica, o uso desse tipo de matéria prima tornou-se altamente rentável, sagrando-se uma alternativa viável para produção de vapor nas caldeiras.

Este trabalho consistiu em realizar um estudo das características químicas, além de estimar o poder calorífico, a umidade e o teor de cinzas presente no cavaco de eucalipto utilizado como combustível de alimentação para caldeira flamotubular alimentada à biomassa.

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

## METODOLOGIA

### Composição química do cavaco de eucalipto

A análise da composição química se deu por estudo/revisão bibliográfica. A produção de calor por meio do cavaco de eucalipto é realizada por hidrocarbonetos, que é em síntese a oxidação de carbono e hidrogênio com oxigênio. Essa reação produz calor e gases de combustão, além de vapor de água presenta na umidade do cavaco material particulado [4].

A tabela 1 proposta por Blaselbauer [4] demonstra a porcentagem das composições químicas elementares em base seca dos principais combustíveis de caldeiras.

Com os dados da composição química da biomassa é possível quantificar a massa molar de cada elemento [4].

**Tabela 1:** Composição química elementar de combustíveis

| PARÂMETROS | CAVACO DE EUCALIPTO | BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR | ÓLEO BPF | GÁS DO ALTO FORNO (GAF) |
|---|---|---|---|---|
| Carbono | 46,85% | 46,42% | 83,00% | 16,31% |
| Hidrogênio | 5,88% | 7,06% | 11,00% | 0,94% |
| Enxofre | 0,00% | 0,00% | 5,00% | 0,00% |
| Nitrogênio | 1,09% | 0,12% | 0,50% | 48,28% |
| Oxigênio | 42,47% | 44,00% | 0,00% | 34,47% |

Fonte: BLASELBAUER, 2010.

ISBN: 978-65-89908-00-5

**Determinação do teor de umidade**

A determinação do teor de umidade pelo método gravimétrico foi a opção adotada para o estudo do cavaco de eucalipto, pois é regido pela norma ABNT-NBR 14929 (2017). O processo gravimétrico se caracteriza pela utilização de uma estufa dotada de circulação forçada de ar com termostato para controle de temperatura, além do tempo de execução, que é mais prolongado [6].

A avaliação da umidade pelo método gravimétrico consistiu em: pesar inicialmente em uma balança de precisão com recipiente contendo cavaco de eucalipto, determinando seu peso úmido, e logo após ocorreu a secagem em um período de 24 horas pela estufa com temperatura aproximada de 105 ºC, onde determinou-se seu peso seco. Esse último passo foi repetido até a determinação do peso constante. Com os dados de peso seco e peso úmido, a norma ABNT-NBR 14929 [1] determina a equação 1 para estimar-se o teor de umidade:

$$U = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1}\right).100\% \qquad \textit{Eq. 1}$$

Onde,

U = Teor de umidade (%);

$m_1$ = massa do recipiente de secagem em estufa a 105+-2 ºC (g);

$m_2$ = massa do recipiente com amostra antes da secagem (g);

$m_3$ = massa do recipiente com amostra depois da secagem (g).

As figuras 1 e 2 apresentam a pesagem do cavaco de eucalipto para determinação dos pesos seco e úmido, respectivamente.

ISBN: 978-65-89908-00-5

**Figura 1:** Pesagem antes da secagem em estufa.

**Figura 2:** Pesagem após adquirir peso constante.

## Cálculo do poder calorífico inferior

O poder calorífico do cavaco de eucalipto foi determinado a partir da análise do teor de umidade e composição química onde os teores elementares e a umidade formada no cavaco de eucalipto foram obtidas. José [7] propõe as equações 2 e 3 para a estimativa do poder calorífico inferior:

ISBN: 978-65-89908-00-5

$$PCI = \left[7832.C + 28650.\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2065.S - 615.w\right].4{,}18 \qquad Eq.\ 2$$

$$w = 9.H + U \qquad Eq.\ 3$$

Onde:

*PCI* = Poder calorífico inferior (kJ/kg);

*C* = teor de carbono [kg de C/(kg de combustível)];

*H* = teor de hidrogênio [kg de H/kg de combustível)];

*O* = teor de oxigênio [kg de O/Kg de combustível)];

*S* = teor de enxofre [kg de S/(kg de combustível)];

*w* = água formada nos produtos [kg de água/(kg de combustível)];

*U* = umidade do combustível [kg de água/(kg de combustível)].

**Determinação do teor de cinzas**

O teor de cinzas foi determinado em base na norma ABNT NBR 13999 (2017) e teve como objetivo estimar o resíduo após a incineração do cavaco de eucalipto à uma temperatura média de 525 ºC.

O procedimento consistiu em realizar pesagem da amostra dentro de um cadinho resistente ao calor seguido de sua incineração a 525 ºC. Com isso, calculou-se a porcentagem de cinzas por meio da equação 4, usado como base a massa livre de umidade a partir da massa da cinza após incineração, e do teor de umidade da amostra.

$$X = \left(\frac{m_r}{m_s}\right).100\% \qquad Eq.\ 4$$

Onde,

*X* = Teor de cinzas da incineração, em porcentagem da massa da amostra seca em estufa;

$m_r$ = Massa do cadinho com o resíduo menos a massa do cadinho vazio (g);

$m_s$ = Massa da amostra em base seca (g).

ISBN: 978-65-89908-00-5

As figuras 3, 4 e 5 apresentam o forno, o cadinho com as cinzas e a pesagem, respectivamente.

**Figura 3:** Representação do cadinho no interior do forno.

**Figura 4:** Cadinho com cinzas após incineração.

ISBN: 978-65-89908-00-5

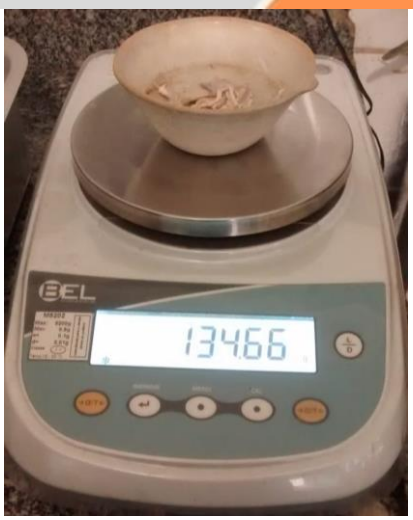


**Figura 5:** Pesagem do cadinho com cinzas após incineração.

## RESULTADOS

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos dos testes do cavaco de eucalipto usando a equação 1. Padronizou-se o valor de 200 gramas para os testes de umidades. Foi possível observar que a partir da segunda pesagem já se obteve o valor de peso constante de aproximadamente 127,12 gramas. A massa do recipiente que abrigou o conteúdo da secagem é de 4,72 gramas.

ISBN: 978-65-89908-00-5

**Tabela 2:** Teste de umidade

| PARÂMETRO | DESCRIÇÃO | EQUAÇÃO | RESULTADO |
|---|---|---|---|
| $m_1$ | Massa do recipiente | - | 4,72 g |
| $m_2$ | Massa do recipiente + amostra antes da secagem | - | 200 g |
| $m_3$ | Massa do recipiente + amostra depois da secagem | - | 127,12 g |
| ***U*** | **Teor de umidade** | **1** | **33,7976%** |

Com os dados obtidos do teste de umidade da tabela 2 e os valores de porcentagem da composição química elementar presente no cavaco de eucalipto em base seca da tabela 1, calculou-se o poder calorífico inferior por meio das equações 2 e 3. Utilizou-se como fator de conversão o valor de 238kcal para cada 1 MJ. Os resultados estão expostos na tabela 3:

**Tabela 3:** Poder calorífico inferior

| PARÂMETRO | DESCRIÇÃO | EQUAÇÃO | RESULTADO |
|---|---|---|---|
| $C$ | Teor de carbono | - | 0,0588 [kg C/kg combustível] |
| $H$ | Teor de hidrogênio | - | 0,4685 [kg H/kg combustível] |
| $O$ | Teor de oxigênio | - | 0,4147 [kg C/kg combustível] |
| $S$ | Teor de enxofre | - | 0 |
| $w$ | Água formada | 3 | 0,9024 [kg água/kg combustível] |
| $U$ | Teor de umidade | 1 | 0,37321 [kg água/kg combustível] |
| ***PCI*** | **Poder calorífico inferior** | **2** | **13851,6292 [kJ/kg] Ou 3310,6225 [kcal/kg]** |

ISBN: 978-65-89908-00-5

Comparando o poder calorífico obtido com os dados expostos pela tabela 4 proposta por Pera (1990), o cavaco de eucalipto demonstrou valor próximo ao Brocatinga. Os valores de umidade presente em diferentes espécies de madeira alteram significativamente o poder calorífico da amostra, influenciando assim o consumo de biomassa para incineração no interior do forno da caldeira.

**Tabela 4**: Poder calorífico superior de algumas espécies de madeira.

| ESPÉCIE | PODER CALORÍFICO kcal/kg (BASE SECA) |
|---|---|
| Eucalipto | 3.800 |
| Pinho | 4.500 |
| Brocatinga | 3.300 |
| Acácia Negra | 3.450 |
| Canelinha | 4.010 |
| Peróba | 3.720 |

Fonte: PERA, 1990.

O teor de cinzas é apresentado na tabela 5. A massa da amostra em base seca utilizada foi de 64,62 gramas. A massa do cadinho foi 115,39 gramas. Calculou-se o teor de cinzas através da equação 4 por meio dos dados expostos na tabela 3.

**Tabela 5:** Teor de cinzas

| PARÂMETRO | DESCRIÇÃO | EQUAÇÃO | RESULTADO |
|---|---|---|---|
| $m_r$ | Massa do cadinho com resíduo menos massa do cadinho vazio | - | 19,27 g |
| $m_s$ | Massa da amostra em base seca | - | 64,62 g |
| ***X*** | **Teor de cinzas** | **4** | **29,82049 %** |

ISBN: 978-65-89908-00-5

Com teor de cinzas próximo de 30%, admite-se possível alteração na eficiência da caldeira, mesmo que ínfima. As cinzas em grande quantidade podem apresentar perdas de calor, assim como nos produtos não queimados do cavaco de eucalipto.

## CONCLUSÃO

O teor de 33,79% de umidade indica a possível influência sobre o consumo de combustível biomassa na caldeira, pois altera-se o poder calorífico da biomassa. Além disso, teores próximos de 50% demonstram valores elevados de vapor de água no processo de queima da biomassa, o que pode alterar a quantidade de resíduos queimados após a incineração, como também expos o teor de cinzas em 29,82%.

O poder calorífico apresentou valor próximo ao de outras espécies de madeira, porém conclui-se que por se tratar de biomassa, todo e qualquer quantidade de umidade presente na espécie utilizada para queima irá alterar diretamente na presenta de vapor d'água e resíduos pós-queima, consequentemente alterando a vazão de consumo de biomassa na caldeira, indicando maiores ou menores quantidades dependendo do quanto da biomassa é convertida em calor necessário para uso em caldeiras.

## REFERÊNCIAS

[1] ABNT. **ABNT NBR 14929 Determinação do Teor de Umidade de Cavacos - Método por Secagem em Estufa**, 2017.

[2] ABNT. **ABNT NBR 13999 Papel, Cartão, Pastas Celulósicas e Madeira - Determinação de Resíduos (Cinzas) Após Incineração a 525 ºC**. 2017.

[3] BEN. Empresa de Pesquisa Energética, EPE. **Balanço Energético Nacional: 2007**. Disponível em:<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-bem>. Acesso em: maio. 2019.

[4] BLASELBAUER, H. Combustão de Madeira e Controle de Poluição em Cerâmicas. **Revista Novacer.** n. 5, jun. 2010.

[5] ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2007.

[6] JANKOWSKY, I. P. Equipamento e Processo para Secagem de Madeira. **PIMADS/USP**: São Paulo. p. 10, 1990a.

[7] JOSÉ, H. J. **Combustão e Combustíveis - Apostila Química Tecnológica Geral**. Florianópolis/SC, Brasil, 2004.

[8] PERA, H. **Geradores de Vapor**. São Paulo, Brasil: Fama, 1990.