

# AVALIAÇÃO DE UMA FORNALHA PARA AQUECIMENTO DIRETO DE AR UTILIZANDO MOINHA DE CARVÃO

Fernanda Augusta de Oliveira MELO<sup>1</sup>; Jadir Nogueira da SILVA<sup>1</sup>; Juarez Sousa e SILVA<sup>1</sup>; Sérgio Maurício Lopes DONZELES<sup>2</sup>; André Leonardo Tavares PAULA<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>DEA–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG; <sup>2</sup>EPAMIG.CTZM- Viçosa - MG.

## Resumo:

O presente trabalho objetivou estudar a viabilidade da utilização da moinha de carvão como combustível no aquecimento direto do ar para a secagem de produtos agrícolas, como opção energética de baixo custo. Diante da situação energética mundial, faz-se necessário o estudo de sistemas que possam utilizar fontes de energia renováveis em substituição aos combustíveis fósseis para reduzir o impacto no meio ambiente e permitir melhor gerenciamento dos recursos naturais finitos do planeta. Foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura do ar ambiente, temperatura requerida para a secagem, poder calorífico inferior, o consumo e a umidade do combustível. O sistema foi avaliado em relação à temperatura requerida para a secagem utilizando duas temperaturas pré – estabelecida. Os resultados obtidos relativos ao consumo de combustível e a eficiência da fornalha em transformar a energia liberada na combustão em calor, de acordo com as literaturas consultadas, foram consideradas satisfatórias.

**Palavras – chaves:** combustíveis, eficiência térmica, consumo de combustível.

## Evaluation of a furnace for the direct air heat with the use of chaff of coal

### Summary:

The objective this work to study the use of chaff of coal as fuel in the direct heat of the air to dry agricultural products as energy option at a low cost. Considering the world energy situation, it is necessary to search all possibilities to replace the fossil fuels for the renewable ones in order to reduce the impact in the environment and to permit a better management of the finite natural resources on earth. The following parameters were studied: air temperature, the requires drying temperature, heat power, consumption and moisture of the fuel. The system was evaluated related to the temperature required for the dying and two pre-established temperatures were used. The results about the fuel consumption and the efficiency of the furnace to transform the released energy during the combustion into heat, according to the literature researched, were considered satisfactory.

**Keywords:** fuel, efficiency, fuel consumption.

### Introdução

O histórico da crise energética mundial, que sempre enfocou a possível escassez de petróleo, faz saltar aos olhos uma realidade incontestável: o fim próximo da energia concentrada como fonte farta e barata.

Diante desta situação, faz-se necessário a otimização do uso da energia produzida pelo petróleo e incrementar as pesquisas de novas e eficientes fontes energéticas alternativas em substituição aos combustíveis fósseis para reduzir o impacto no ambiente e permitir melhor gerenciamento dos recursos naturais finitos do planeta.

Os biocombustíveis surgem como melhor alternativa ao petróleo e a outros combustíveis fósseis, por serem renováveis, resultantes da biomassa, pela sua versatilidade, por possuir um ciclo curto e ser menos prejudiciais ao homem e ao meio ambiente.

Segundo LOPES et al. (2001), se os resíduos agrícolas provenientes de lavouras comerciais fossem utilizados como fontes de energia para a secagem, seriam mais do que suficientes para a secagem dos produtos que lhes deram origem.

Como alguns produtos agrícolas requerem, na secagem, ar aquecido isento de impurezas, se faz necessário a utilização de fornalhas de fogo indireto, que não utilizam diretamente o ar proveniente da combustão, tendo pois maior consumo de combustível implicando em maiores custos de secagem.

Uma boa alternativa é a utilização de fornalhas de fogo direto, com combustíveis que não liberem compostos fenólicos durante a sua carbonização. Um combustível que atende este parâmetro é o carvão vegetal que embora possua potencial para este tipo de utilização, é pouco empregado.

O carvão vegetal é proveniente da pirólise da madeira, que ocorre na presença de calor e ausência de oxigênio. Neste processo elimina-se grande parte dos compostos fenólicos durante a carbonização, apresentando-se sem fumaça e odores.

Por ser muito friável, o carvão vegetal, produz muitos finos, devido à sua quebra durante a produção, transporte e manuseio, chegando a 20% do total produzido. Esses finos, chamados de moinha de carvão, possuem as mesmas vantagens do carvão vegetal, constituindo-se um combustível alternativo, por ter seu preço de mercado inferior ao do carvão vegetal.

Recentemente, se tem feito a compactação desses finos de carvão através da utilização de ligantes permitindo a obtenção de briquetes de elevado poder calorífico, que, quando usados em fornalha a carvão vegetal desenvolvida na UFV/DEA, conferem a esta elevada autonomia e combustão com máxima produção de energia. Porém seu custo de fabricação ainda não é ao nível de mercado, apresentando preço elevado inviabilizando assim, sua utilização.

A utilização de moinha de carvão nas fornalhas existentes torna-se inviável, por não serem adaptadas para utilizá-lo como combustível. Sendo necessário a construção de fornalhas termicamente mais eficientes, isto é, que forneçam a mesma quantidade de energia com consumo de quantidades cada vez menores de combustíveis, sendo visto como grande esforço tecnológico para o emprego racional da madeira como fonte de energia em processos de combustão. Devendo-se estudar, também, alternativas para aumentar o rendimento térmico daquelas fornalhas já existentes e em operação.

Assim, testou-se um sistema para aquecimento direto do ar para secagem de produtos agrícolas, utilizando a moinha de carvão contribuindo assim, para o uso racional da energia na secagem de produtos agrícolas.

### Material e Métodos

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Energias Alternativas Professor Juarez Sousa e Silva do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

### Fornalha avaliada

O sistema com opção para aquecimento direto e indireto é mostrado na Figura 1, com entradas e saídas de ar. Avaliou-se, neste trabalho, a fornalha na opção para aquecimento direto de ar.

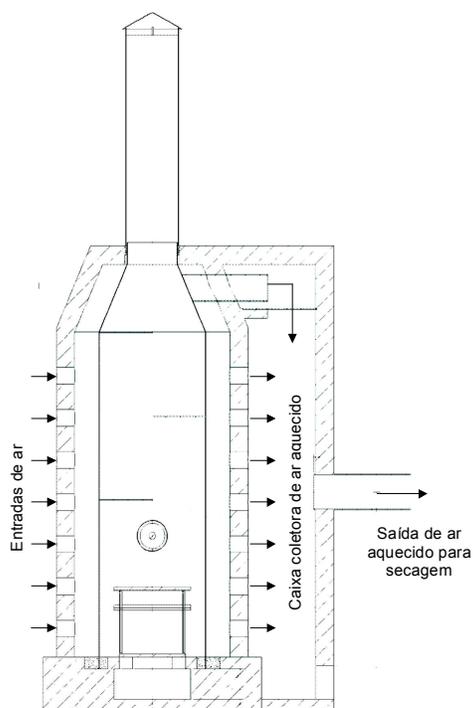


Figura 1 - Sistema de aquecimento de ar com entradas e saídas de ar.

### Funcionamento da fornalha

A fornalha na opção de aquecimento direto funcionava da seguinte forma: a câmara de combustão, confeccionada por chapas de aço, era abastecida manualmente por lenha e a moinha de carvão era lançada no interior da câmara de combustão por um transportador helicoidal continuamente em quantidades suficiente para se processar a queima com boa qualidade. Este transportador helicoidal estava conectado ao reservatório de moinha de carvão.

Ao se processar a queima a parede da câmara de combustão aquecia-se e o ar frio que entrava pela lateral esquerda da fornalha, através de sete orifícios, ao escoar pela superfície da parede da câmara de combustão aquecia-se saindo pela lateral direita da fornalha. Para aproveitar o ar aquecido no interior da câmara de combustão interrompeu-se a saída no

início da chaminé e conectou-se um duto que conduzia o ar aquecido no interior da câmara de combustão para a caixa de aquisição de ar aquecido misturando-se com o ar que era aquecido ao ser escoar pela superfície da parede da câmara de combustão, uniformizando a temperatura do ar de secagem. À caixa de aquisição de ar aquecido foi acoplado um ventilador que o succionava para a câmara de secagem.

### Combustíveis utilizados

Segundo LOPES et al. (2001), se os resíduos agrícolas provenientes de lavouras comerciais fossem utilizados como fonte de energia para a secagem, seriam mais do que suficientes para a secagem dos produtos que lhes deram origem.

Testou-se uma mistura de moinha de carvão, por possuir as mesmas características do carvão. A moinha de carvão utilizada continha quantidades consideradas de impurezas, estando ainda com elevada umidade.

Foi feita a análise imediata de acordo com o prescrito pela norma NBR 8112/83 da ABNT. O poder calorífico inferior da moinha de carvão determinado foi de 19428,25 kJ kg<sup>-1</sup>. Como esta moinha de carvão não foi de boa qualidade, houve a necessidade de se utilizar um combustível que servisse como chama piloto, utilizando-se assim a lenha de eucalipto em que o poder calorífico determinado foi de 17100,00 kJ kg<sup>-1</sup>. Para a lenha foi feita a determinação do poder calorífico inferior e também a análise imediata.

### Consumo de combustíveis

A massa de combustível utilizada nos testes foi medida em balança digital, da marca Filizola, modelo 160, com sensibilidade de ± 0,050 kg e colocado no depósito de combustível, no caso da moinha de carvão, em que era feita a alimentação da câmara de combustão continuamente, por um transportador helicoidal conectado ao reservatório que o lançava na câmara de combustão. A alimentação da lenha era feita manualmente, quando se observava necessidade, sendo pesada toda vez que se fazia o reabastecimento. Analisou-se o consumo de acordo com a temperatura pretendida de secagem, utilizando-se para isso, a temperaturas pré-estabelecida de 60 ± 3°C.

### Medições de temperaturas

As temperaturas de maior relevância para os cálculos foram: temperatura ambiente, temperatura na saída da fornalha e a temperatura de secagem (após o ventilador). Foram medidas com sensores de imersão em gases do Tipo K. Os sensores foram conectados a uma unidade de aquisição de dados, para registro das temperaturas em intervalos de 10 minutos e enviados a um microcomputador. A umidade relativa foi monitorada com um termohigrográfo Digital, modelo N° 37951-00.

### Eficiência térmica do sistema

A eficiência térmica constitui o parâmetro de maior interesse, com relação aos equipamentos de conversão de energia térmica, por estar diretamente associado à redução de custos.

A eficiência térmica do sistema foi determinada com base na variação da entalpia do ar ambiente ao ser aquecido no sistema em relação à energia térmica disponibilizada pelo combustível para o sistema promover o aquecimento daquele volume de ar.

Considerando que a eficiência térmica é a razão entre a energia entregue pelo sistema (contida no ar aquecido) e a energia necessária para o sistema aquecer o ar (proveniente do combustível) e desprezando o acréscimo de energia pelos dispositivos eletromecânicos, a eficiência térmica global do sistema pode ser calculada pela equação 1:

$$\eta = 60 \frac{\rho_{ar} \cdot Q_{ar} \cdot c_{p,ar} \cdot (T_s - T_{ar,amb})}{m_{cb} \cdot PCI} \quad (1)$$

em que

$\rho_{ar}$	-	massa específica do ar ambiente, kg m <sup>3</sup> ;
$Q_{ar}$	-	vazão do ar aquecido, m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> ;
$c_{p,ar}$	-	calor específico médio do ar, kJ (kg °C) <sup>-1</sup> ;
$T_s$	-	temperatura do ar aquecido, °C;
$T_{ar,amb}$	-	temperatura do ar ambiente, °C;
$m_{cb}$	-	vazão mássica do combustível, kg h <sup>-1</sup> ; e
$PCI$	-	poder calorífico inferior, kJ kg <sup>-1</sup> .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Variação do consumo de combustível em função da temperatura do ar aquecido.

Como as reações de combustão são exotérmicas e rápidas, a liberação de energia é intensa, elevando a temperatura das fases sólidas e gasosas no interior da câmara de combustão. Pôr ser elevada a temperatura na superfície do combustível sólido, a velocidade das reações de combustão passa a ser determinada pela difusão de oxigênio na superfície da partícula, o que explica o aumento da cinética das reações à medida que aumentou-se a velocidade de escoamento de ar comburentes na câmara de combustão nos instantes que se reabastecia.

Como ocorreram oscilações no suprimento de lenha e moinha de carvão na câmara de combustão, a combustão se desenvolveu de forma descontínua e irregular, fazendo com que a taxa de liberação de energia fosse inconstante.

Observou-se nos testes que o consumo de moinha de carvão, para a vazão de referência e temperatura média do ar de secagem de 62,47 °C, foi de 10,33 kg h<sup>-1</sup> de moinha de carvão e 5,42 kg h<sup>-1</sup> de lenha; para a temperatura de 61,94 °C, o consumo foi de 8,96 kg h<sup>-1</sup> de moinha de carvão e 5,14 kg h<sup>-1</sup> de lenha (Gráfico 1). O baixo consumo de lenha se deve ao fato de esta ser utilizada somente para manter a chama.

Considerou-se o consumo satisfatório. Shing et al. (1981), citados por SAGLIETTI (1991), utilizando casca de arroz em uma fomalha de fogo direto, constataram um consumo de 20 kg h<sup>-1</sup>.

**Erro! Vínculo não válido.**

Gráfico 1 - Consumo de moinha de carvão e lenha em função da temperatura do ar aquecido.

#### **Avaliação do desempenho da fomalha sob diferentes temperaturas do ar aquecido (depois do ventilador)**

A eficiência da fomalha variou em função do incremento de temperatura solicitado. Na vazão de referência e temperatura do ar de secagem de 62,47°C, obteve-se eficiência de 70,92 %. Determinou-se o desempenho da fomalha para a vazão de referência do ar de secagem de 61,49 °C, obtendo-se eficiência térmica de 77,61%, para um incremento de temperatura de 29,70°C e de 34,45°C, respectivamente para os testes em que utilizou - se a moinha de carvão juntamente com a lenha(Gráfico 2).

Considerou-se satisfatória a eficiência da fomalha segundo a literatura consultada. Shing et al. (1980), citados por SAGLIETTI (1991), utilizando a casca de arroz como combustível (20 kg h<sup>-1</sup>) em uma fomalha de fogo direto, obtiveram eficiência de 80%.

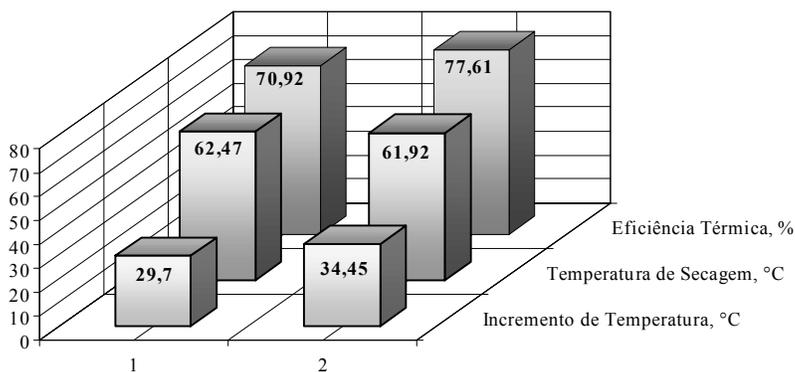


Gráfico 2 - Variação da eficiência térmica em função da temperatura do ar de secagem.

#### **Conclusões**

Os resultados obtidos mostraram que a fomalha teve um consumo médio, para as condições do experimento, satisfatório para secadores utilizados no meio rural, valores estes inferiores aos citados na literatura consultada.

A fomalha apresentou eficiência, que variou de 71 a 78%, observando-se ocorrência de fumaça ao reabastecer a câmara de combustão com lenha. Detalhe este, que pode vir a comprometer a qualidade do produto a ser seco. Assim, recomenda-se utilizar uma moinha de carvão de melhor qualidade para que não necessite utilizar outro combustível como chama piloto ou talvez, utilizar o próprio carvão como chama piloto.

#### **Referências bibliográficas**

GOMES, R.A.R. **Avaliação do desempenho de uma fomalha a lenha de fluxo descendente e com sistema de aquecimento direto** Viçosa, MG: UFV, 1988. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1988.

LOPES, R.P. **Desenvolvimento e avaliação de uma fornalha a carvão vegetal com opção para aquecimento direto e indireto do ar de secagem.** Viçosa-MG, 2002. 227p. Tese ( doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

PERA, H. **Geradores de vapor; um compêndio sobre conversão de energia com vistas à preservação da ecologia.** São Paulo: Fama, 1990. (Paginação irregular).

SILVA, I.D. **Projeto, construção e teste de uma fornalha a carvão vegetal para secagem de café.** Viçosa, MG: UFV, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

SILVA, J.S., GOMES, R.A.R., HARA, T., CARVALHO PINTO, F. de A. **Estudo de um fornalha para a secagem de grãos com aquecimento direto.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, Série Armazenamento, v. 1, n. 2, p. 6-10, 1991.

LOPES, R.P et al. **Fontes de energia para secagem de café.** Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/ UFV, DEA, 2001. 26p.:il. (Engenharia na Agricultura. Boletim técnico; 3).