

## ANÁLISE ENERGÉTICA DA SECAGEM DE CAFÉ EM SECADORES HORIZONTAL E VERTICAL DE FLUXOS CRUZADOS

SILVA, J.N.<sup>1</sup> e CARDOSO SOBRINHO, J.<sup>2</sup>

**RESUMO:** Desenvolveu-se este estudo com o objetivo de determinar o consumo específico de energia, a eficiência energética da secagem, bem como possíveis alterações na qualidade final do café seco e beneficiado, utilizando secadores rotativos horizontal e vertical de fluxos cruzados. Café com teor de umidade inicial de  $45 \pm 4\%$  b.u. foi submetido à secagem durante  $8 \pm 3$  horas, em terreiro, até atingir  $35 \pm 5\%$  b.u. e colocado, posteriormente, nos secadores para completar a secagem. Em cada teste, fez-se uma secagem em terreiro (testemunha) até que a amostra atingisse o teor de umidade final de 13% b.u., visando comparações de qualidade. Dois procedimentos operacionais distintos foram utilizados para secagem de café, e cada um deles foi concluído após a realização de três testes consecutivos. No experimento 1, utilizou-se o secador rotativo horizontal com função de pré-secagem, sendo a secagem complementar realizada num secador vertical intermitente de fluxos cruzados. No secador rotativo horizontal realizou-se a secagem completa (experimento 2) até a umidade final do produto de 13% b.u. Os resultados experimentais permitiram concluir que a pré-secagem do café em secador horizontal rotativo seguida de complementação em secador vertical intermitente de fluxos cruzados e a secagem em sua totalidade no secador horizontal não proporcionaram alterações na qualidade do final do produto seco e beneficiado. Observou-se, porém, que a secagem parcial utilizando o secador horizontal, seguida pelo uso do secador vertical (complementação da secagem), teve menor consumo específico de energia ( $\text{kJ.kg}^{-1}$  de água evaporada), sendo, pois, energeticamente a mais eficiente. A eficiência energética definida do ponto de vista da termodinâmica também apresentou coerência com esse fato.

**Palavras-chave:** secador, café, energia e qualidade.

### ENERGY ANALYSIS IN COFFEE DRYING USING HORIZONTAL ROTATIVE DRYER AND VERTICAL CROSSFLOW DRYER

**ABSTRACT:** A study was developed aiming to determine the specific consumption of energy, the efficiency of drying and possible alteration in the final quality of the dry coffee being used horizontal and

vertical of crossed flows dryers. Coffee with initial moisture of  $45 \pm 4\%$  w.b. was sun dried during  $8 \pm 3$  hours, in yard, until reaching  $35 \pm 5\%$  w.b. and placed later in the dryers to complete the drying. For each test, a drying in yard was done (control test) until the sample achieved final moisture of 13% w.b., seeking quality comparisons. Two different operational procedures were used, and each one of them was concluded after the accomplishment of three serial tests. In the procedure 1 the horizontal rotative dryer was used, being the complemented drying accomplished in an intermittent vertical dryer of crossed flows. In the procedure 2 the horizontal rotate dryer accomplished the complete drying, until that the final moisture of the product reached 13 %w.b. The experimental results allowed to end that the drying of the coffee in rotate horizontal dryer, followed by complementation in intermittent vertical dryer of crossed flows, and the drying in its totality in the horizontal dryer didn't provide alterations in the quality of the dry product. It was observed, however, that the drying using horizontal dryer followed by the vertical dryer (complementation of the drying) presented smaller specific consumption of energy ( $\text{kJ.kg}^{-1}$  of evaporated water) and higher efficiency, being, than more efficient is terms of energy consumption.

**Key words:** dryer, coffee, energy and quality.

## INTRODUÇÃO

Poucos trabalhos consubstanciados relacionando parâmetros energéticos e de qualidade do café seco e beneficiado existem para secadores horizontal e vertical rotativos de fluxos cruzados.

Nesse contexto, o presente trabalho teve os seguintes objetivos:

- Quantificar a energia gasta por quilograma de água evaporada do produto na secagem de café utilizando secador rotativo horizontal, bem como definir e calcular para este processo a eficiência energética do ponto de vista da termodinâmica.
- Identificar possíveis diferenças na qualidade do café secado total e parcialmente num secador rotativo horizontal.

## REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1. Secagem com alta temperatura

A secagem com alta temperatura é o processo mais rápido e menos dependente das condições climáticas (SILVA, 1995) e tem mostrado bons resultados (SILVA et al., 1992).

O custo da energia utilizada na secagem depende da temperatura de secagem, do fluxo de ar, do tempo de secagem e do preço do combustível. Como o café é um dos produtos agrícolas que requerem grande tempo para sua secagem, devido ao seu elevado teor de umidade, o consumo de energia por unidade de produto seco é muito elevado (CASTRO, 1991).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra de 1999/2000, nas unidades de secagem da Fazenda Heringer, em Martins Soares, MG, e no distrito de Laranja da Terra, município de Iúna, ES.

Café com teor de umidade inicial de  $50 \pm 4\%$  b.u. foi seco durante  $8 \pm 3$  horas, em terreiro, até atingir  $35 \pm 5\%$  b.u. e colocado, posteriormente, no secador para completar a secagem. Dois procedimentos operacionais distintos foram utilizados para secagem de café, e cada um deles foi concluído após a realização de três testes consecutivos. No primeiro, a função do secador rotativo horizontal foi de pré-secagem, com a secagem complementar realizada em secador vertical intermitente de fluxo cruzado; já no segundo, o secador rotativo horizontal realizou a secagem completa até que a umidade final do produto chegasse a 13% b.u.

O ar foi aquecido pela queima da lenha de eucalipto na fonalha com fogo indireto, e as temperaturas do ar de secagem e de exaustão foram tomadas nas distâncias de 0,40, 2,50 e 4,60 m do início do secador.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos Quadros 1 e 2 são apresentados os resultados relacionados à avaliação energética dos sistemas pesquisados. Verifica-se, no Quadro 1, que no secador rotativo horizontal houve menor consumo específico de energia na pré-secagem. Isso ocorreu porque o café, nessa fase, estava mais úmido. Quanto à eficiência energética da secagem, duas observações podem ser feitas:

- 1- Considerando a definição usual de eficiência (SILVA, 2000) como a razão entre a energia requerida para evaporar a água do produto e a quantidade de energia fornecida processo de secagem, a mesma será como se segue:

$$\eta_1 = \frac{\text{massa de água evaporada} \times \text{calor latente evap. da água no produto}}{\text{energia do combustível} + \text{energia elétrica gasta}}$$

e agora, considerando o conceito de eficiência energética (VAN WYLEN et al., 1998), definimos a eficiência energética do processo de secagem, do ponto de vista da termodinâmica, como a energia útil sobre a que se gasta para obtê-la, define-se a eficiência energética da secagem  $\eta_2$ :

$$\eta_2 = \frac{\text{energia na água evaporada}}{\text{energia do combustível} + \text{en. elétrica gasta}}$$

Considerando ainda como de 2500 Kj/kg o calor latente de evaporação da água dos grãos para o cálculo de  $\eta_1$ , e como de 35 °C a temperatura da água que sai do produto, na forma de vapor saturado, cuja entalpia é de aproximadamente 2565 Kj/kg no cálculo de  $\eta_2$ , obtêm-se então os índices  $\eta_1$  e  $\eta_2$ . Os Quadros 1 e 2 apresentam esses valores e refletem, com os baixos percentuais apresentados ( $\eta_1$  médio = 15,75 e  $\eta_2$  médio = 16,1), o quanto se perde de diversas maneiras (eficiência da fornalha, perdas de transmissão de potência e eficiência do motor, fator de potência, efeito Joule, energia no ar de exaustão do secador - que ainda apresenta potencial de secagem, etc.)

**Quadro 1** - Parâmetros obtidos no procedimento 1

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	H + V	H	H + V	H	H + V	H
<b>1) Do produto</b>						
Teor de umidade inicial, % b.u.	51,0	35,0	46,0	21,0	49,0	23,0
Teor de umidade final, % b.u.	37,0	12,0	21,0	12,0	23,0	12,0
Temperatura inicial, °C	22,0	21,7	21,4	22,0	22,0	20,5
Temperatura final, °C	30,0	38,0	37,0	38,8	35,2	38,9
Massa específica aparente inicial, kg.m <sup>-3</sup>	490,0	450,0	500,0	470,0	490,0	420,0
Massa específica aparente final, kg.m <sup>-3</sup>	450,0	405,0	470,0	420,0	420,0	410,0
Massa inicial, kg	6.370,0	9.600,0	6.500,0	8.886,0	6.890,0	9.087,3
Massa final, kg	4.954,0	7.090,1	4.443,0	7.977,2	4.543,6	7.951,4
<b>2) Do ar</b>						
Temperatura de secagem, °C	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Temperatura ambiente, °C	21,0	21,4	20,5	21,3	20,5	20,0
Umidade relativa ambiente, %	74,7	74,3	70,8	71,5	77,2	78,7
<b>3) Do secador</b>						
fluxo de ar, m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>	17,0	9,5	17,0	9,5	17,0	9,5
Espessura da camada, m	0,6	0,44	0,6	0,44	0,6	0,44
Área de secagem, m <sup>2</sup>	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0	9,0
Pressão estática, mmca	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
<b>4) Da energia</b>						
Tipo de combustível	Lenha/FI	Lenha/FI	Lenha/FI	Lenha/FI	Lenha/FI	Lenha/FI
Massa de combustível, kg	960,0	2.400,0	2.304,5	1.272,0	2.112,0	1.344,0
Umidade do combustível (bs)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Poder calorífico inferior, kJ.kg <sup>-1</sup>	14.348	14.348,1	14.348,1	14.348,1	14.348,1	14.348,1
Energia elétrica, kWh	300	1050	720	556,5	660,0	588,0
<b>5) Do desempenho/ eficiência</b>						
Duração do teste, h	20,0	50,0	48,0	26,5	44,0	28,0
Redução de umidade, % b.u.	14,0	23,0	25,0	9,0	26,0	11,0
Consumo específico de energia, kJ.kg <sup>-1</sup>	10.490	15.225,9	17.334,5	22.286,7	13.927,4	18.840,3
Ef. energética $\eta_1$	23,8%	16,4%	14,4%	11,21%	17,9%	13,3%
Ef. energética $\eta_2$	24,4%	16,8%	14,7%	11,50%	18,4%	13,6%

H + V = secador horizontal seguido de vertical

H = secador horizontal

**Quadro 2** - Parâmetros obtidos no procedimento 2

Parâmetros	Teste 1	Teste 2	Teste 3
<b>1) Do produto</b>			
Teor de umidade inicial, % b.u.	39,0	41,0	34,0
Teor de umidade final, % b.u.	11,0	11,0	12,0
Temperatura inicial, °C	30,3	32,1	33,8
Temperatura final, °C	50,1	48,5	50,1
Massa específica aparente inicial, kg.m <sup>-3</sup>	530,0	525,0	520,0
Massa específica aparente final, kg.m <sup>-3</sup>	428,0	420,0	420,0
Massa inicial, kg	6.890,0	6.825,0	6.760,0
Massa final, kg	4.722,0	4.474,0	5.265,0
<b>2) Do ar</b>			
Temperatura de secagem, °C	60,0	60,0	60,0
Temperatura ambiente, °C	23,0	21,0	21,0
Umidade relativa ambiente, %	69,7	89,9	91,9
<b>3) Do secador horizontal</b>			
Fluxo de ar, m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>	17,0	17,0	17,0
Espessura da camada, m	0,6	0,6	0,6
Área de secagem, m <sup>2</sup>	8,0	8,0	8,0
Pressão estática, mmca	75,0	75,0	75,0
<b>4) Da energia</b>			
Massa de combustível Lenha/FI, kg	2.269,0	2.690,0	2.108,0
Umidade do combustível (bs)	0,28	0,28	0,28
Poder calorífico inferior, kJ.kg <sup>-1</sup>	13.044,4	13.044,4	13.044,4
Energia elétrica, kWh	690	840	645,0
<b>5) Do desempenho/eficiência</b>			
Duração do teste, h	46,0	56,0	43,0
Redução de umidade, % b.u.	28,0	30,0	22,0
Consumo específico de energética, kJ.kg <sup>-1</sup> :			
com energia elétrica	14.817,8	16.211,5	19.946,0
Eficiência energética $\eta_1$	16,89%	15,4%	12,5%
Eficiência energética $\eta_2$	17,33%	15,8%	12,8%

## CONCLUSÕES

Os resultados experimentais permitiram concluir que:

- 1 - A pré-secagem do café em secador rotativo horizontal seguida de complementação em secador vertical intermitente de fluxos cruzados, bem como a secagem realizada em sua totalidade no secador rotativo horizontal, não alterou a qualidade do café seco e beneficiado, em comparação com o café secado em terreiro.
- 2 - A secagem parcial utilizando o secador horizontal seguida pelo uso do secador vertical (complementação da secagem) apresentou menor consumo específico de energia (kJ.kg<sup>-1</sup> de água

evaporada). Logo, é mais eficiente energeticamente que a secagem feita na íntegra num secador horizontal.

- 3 - Pré-secagem em secador rotativo horizontal seguido de complementação de secagem em secador vertical intermitente de fluxos cruzados, bem como a secagem realizada integralmente num secador rotativo horizontal, não influenciou a qualidade do produto seco.
  
- 4 - A definição da eficiência energética do ponto de vista da termodinâmica do processo de secagem foi coerente, considerando-se os consumos específicos de energia. Refletem, com propriedade, assim como a eficiência calculada pela fórmula tradicional, as perdas acentuadas de energia em todos os equipamentos do sistema.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTRO, L.E. **Efeito do despulpamento, em secador de leito fixo sob alta temperatura, no consumo de energia e na qualidade do café** (*Coffea arabica* L.). Viçosa: UFV, 1991. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- UFV, 1991.
- SILVA, J.S.; SABIONE, P.M.; AFONSO, A.D.L.; CARVALHO PINTO, F. Avaliação de secadores e custos de secagem de produtos agrícolas. **Engenharia na Agricultura**, v.2, n.4, p19,1992.
- SILVA, J.S.(Editor) **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Editora Aprenda Fácil, 502p. Viçosa-MG, 2000.
- VAN WYLEN, G.J.; SONNTAG, R.E. & BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica**. Trad. da 5.ed. Americana. Edgard Blücher LTDA, 537 p. São Paulo, 1998.