

## ASPECTOS ENERGÉTICOS DE UM SISTEMA COMBINANDO ALTAS E BAIXAS TEMPERATURAS PARA SECAGEM DE CAFÉ DESPOLPADO

Evandro de Castro **MELO**, UFV, ecmelo@mail.ufv.br

Pedro Amorim **BERBERT**, UENF

André Tessari **FREIRE**, UFV

Marise Cotta **MACHADO**, CBP&D Café

Juarez de Souza e **SILVA**, UFV

**RESUMO:** Este trabalho teve por objetivo avaliar um sistema de secagem combinada de café despolpado em que o produto, pré-secado em terreiro, passava por uma secagem intermediária em um secador de fluxos contracorrentes/concorrentes e, em seguida, transportado para um silo-secador. Foram realizados três testes, sendo dois com a utilização do sistema combinado (testes 1 e 2) e um com o sistema a altas temperaturas (teste 3). Para avaliação da eficiência energética determinou-se, no secador a altas temperaturas, o consumo de combustível na fornalha e o consumo de energia dos equipamentos acionados por motores elétricos e, no sistema em baixas temperaturas, o consumo de energia pelo motor do ventilador. Os resultados obtidos permitem concluir que o sistema de secagem combinado é mais eficiente, em termos energéticos, que a secagem a altas temperaturas: o consumo específico nos testes 1 e 2 foi de 5,0 e 3,3 MJ.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, ao passo que o valor correspondente para o teste 3 foi de 11,2 MJ.kg<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** consumo específico de energia, secagem, *Coffea arabica* L.

### PERFORMANCE ASSESSMENT OF A COMBINATION HIGH-TEMPERATURE, AMBIENT-AIR DRYING SYSTEM FOR WASHED COFFEE

**SUMMARY:** The object of this research work was to adapt the combination of high-temperature and natural-air drying procedures to the drying of *washed* coffee. The first stage of drying was carried out in a high-temperature drier and the second one was accomplished in a separate bin using natural-air. Three drying tests were carried out: two using the combination drying system (tests 1 and 2), and one using the high-temperature drier alone (test 3). Specific energy consumption was evaluated during high-temperature drying by considering the amount of fuel burned in the furnace, and the energy used to power the electric equipment. Energy consumption in the drying bin was evaluated by considering only the energy used to power the fan. The results indicated that the combination drying system is more energy-efficient than the high-temperature drier alone: Specific energy consumption for drying tests 1 and 2 were 5.0 and 3.3 MJ kg<sup>-1</sup>, respectively, whereas for the high-temperature drying the value obtained was 11.2 MJ kg<sup>-1</sup>.

**KEYWORDS:** specific energy consumption, drying, *Coffea arabica* L.

### INTRODUÇÃO

A qualidade do café é essencial para este produto ganhar mercado e atender às novas exigências dos consumidores internos e externos. A operação de secagem é muito importante porque, se mal conduzida, poderá acarretar grandes prejuízos pela queda na qualidade do produto final e/ou pelo aumento no custo de produção. Na secagem em combinação, que consiste na utilização de um secador a altas temperaturas para reduzir o teor de umidade inicial do produto, completando, posteriormente, a secagem do produto em silos-secadores utilizando-se ar à temperatura ambiente, espera-se melhora na qualidade do produto, aumento na capacidade do secador (pode aumentar de 20 a 40%) e redução na quantidade de energia consumida (McKENZIE, 1976; CLOUD & MOREY, 1980). Avaliando a secagem a baixas temperaturas do café em coco e descascado, GUIMARÃES (1995) concluiu que a secagem de café em coco com ar ambiente deve ser iniciada quando o teor de umidade do produto estiver em torno de 20% b.u., para o café descascado, com um teor de umidade bem superior (36% b.u.). Em sistemas de secagem combinada para café, que possua equipamentos tradicionais de transporte de grãos que necessitam de certa fluidez do produto (teor de umidade abaixo da 40% b.u.), deve-se executar uma pré-secagem antes da etapa de secagem a altas temperaturas (LACERDA FILHO, 1986). Tendo em vista a preservação da qualidade e a redução no consumo de energia durante o processo de secagem de café, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o sistema de secagem em combinação para o café despolpado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), situada no município de Ponte Nova, MG. O produto utilizado foi o café (*Coffea arabica* L.) despulpado, da variedade Catuaí. A colheita do produto foi realizada manualmente, com um teor de umidade de aproximadamente 60% b.u. O café despulpado foi submetido a uma pré-secagem, em terreiro, até atingir o teor de umidade no intervalo de 30 a 40% b.u. Após a pré-secagem em terreiro, o café passou por uma secagem intermediária em um secador experimental intermitente, de altas temperaturas e fluxos contracorrentes/concorrentes. Em seguida, o produto foi transportado para silos-secadores de alvenaria, de capacidade igual a 8,0 m<sup>3</sup>, onde foi realizada a secagem complementar com ar a baixas temperaturas.

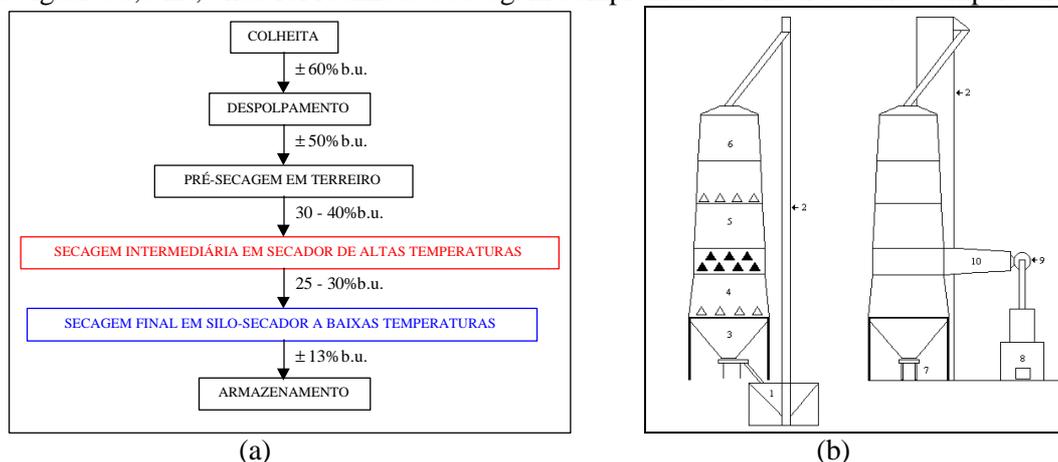


FIGURA 1. (a) Fluxograma proposto para o sistema combinado de secagem de café; (b) Vistas lateral e frontal do secador a altas temperaturas e fluxos contracorrentes/concorrentes.

Na Figura 1b estão representadas as vistas lateral e frontal do secador de altas temperaturas. O produto passa, primeiramente, por uma câmara de secagem de fluxos contracorrentes e, posteriormente, por uma câmara de secagem de fluxos concorrentes. Na parte superior do secador, acima da zona de fluxos concorrentes, há uma câmara de repouso de 2,4 m<sup>3</sup>. O restante do produto fica na moega de descarga, que também funciona como uma câmara de repouso. O ventilador utilizado para succionar o ar aquecido da fornalha e insuflá-lo através da massa de grãos é do tipo centrífugo, de pás retas, acionado por um motor elétrico de 3 cv, a 1750 rpm. Foram realizados três testes de secagem, sendo dois utilizando o sistema combinado e um utilizando apenas o secador de fluxos contracorrentes/concorrentes. Nos dois primeiros testes, o café despulpado e pré-secado em terreiro passou por uma secagem intermediária no secador a temperatura média de 75,7°C até atingir os teores de umidade de 25,5 e 31% b.u., respectivamente. Em seguida, o produto foi transportado para os silos-secadores, onde se realizou a secagem complementar até atingir o teor de umidade médio de aproximadamente 13% b.u. No terceiro teste utilizou-se apenas o secador a altas temperaturas. A temperatura média de secagem foi de 74,5°C e o teor de umidade final do produto foi de 13% b.u. Todas as medições e cálculos referentes ao consumo de energia no sistema estudado basearam-se nas recomendações sugeridas por FREIRE (1998).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se, na Tabela 2, os valores de teor de umidade, poder calorífico inferior, consumo horário de combustível, consumo específico de energia e a eficiência da fornalha para os três testes de secagem. Observa-se, nessa tabela, que o consumo específico de energia no teste 3 (11,0 MJ kg<sup>-1</sup>) foi superior aos valores observados nos testes 1 e 2 (10,0 e 5,7 MJ kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Isso ocorreu principalmente devido ao fato de o teor de umidade inicial de o produto ser menor neste teste em relação aos demais, o que implica numa maior dificuldade na remoção da água do produto. Apresentam-se, na Tabela 3, os valores de consumo de energia térmica, consumo de energia elétrica, consumo total de energia, quantidade de água evaporada durante a secagem e o consumo específico total de energia, observados durante os três testes realizados. A Figura 3 representa graficamente os valores referentes aos consumos totais de energia (térmica e elétrica) e à redução no teor de umidade do produto ocorridos durante os três testes de secagem. Nessa figura, é possível observar uma diferença considerável na redução dos valores de teor de umidade do produto nos testes 1 e 2, em relação ao teste 3. No entanto, o consumo total de energia foi semelhante nos três testes (Tabela 3), caracterizando-se o teste 3 como o menos eficiente. Fazendo-se a sobreposição das colunas na Figura 3,

poder-se-ia estimar a quantidade de energia que seria gasta para realização do teste 2, utilizando somente o sistema de secagem a altas temperaturas. Dessa maneira, o consumo seria superior a 10.000 MJ, um valor 60% maior que os 3.871 MJ gastos com a utilização do sistema combinado. Observa-se na Tabela 3 e na Figura 3 que o consumo total de energia (térmica e elétrica) no teste 2 (3.875,1 MJ) foi 6,9% superior ao do teste 1 (3.623,4 MJ) e 4,6% superior ao do teste 3 (3.703,0 MJ). No entanto, o consumo de energia por kg de água evaporada no teste 2 (3,3 MJ/kg) foi 51% inferior ao do teste 1 (5,0 MJ/kg) e 239% inferior ao do teste 3 (11,2 MJ/kg). A melhor eficiência energética do teste 2 explica-se pelo fato de o sistema de secagem a altas temperaturas ter sido utilizado quando o produto apresentava alto teor de umidade (secagem de 42,3 para 31% b.u., Tabela 1) e devido às condições climáticas favoráveis durante a realização da etapa de secagem a baixas temperaturas no silo-secador (umidade relativa média do ar de secagem de 42,6%, Tabela 1). Como não foi possível padronizar os parâmetros de secagem, os valores apresentados nos Tabelas 2 e 3 e na Figura 3, não podem ser estatisticamente comparados entre si, porém, permitem visualizar a maior eficiência energética do sistema combinado em relação ao sistema a altas temperaturas.

TABELA 1. Condições médias do ar e do produto nos testes realizados no secador intermitente a altas temperaturas e nos silos-secadores.

Testes	Secador de altas temperaturas			Silos-secadores	
	1	2	3	1	2
<i>Condições do ar ambiente:</i>					
Temperatura, °C	16,6	20,7	20,0	16,6	15,7
Umidade relativa: %	73,5	77,8	83,0	70,8	65,7
<i>Condições do ar de secagem:</i>					
Temperatura, °C	76,9	74,6	74,5	21,4	21,3
Umidade relativa, %	3,3	5,0	5,1	49,6	42,6
Vazão, m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	46,0	46,0	46,0	32,5	32,5
Fluxo, m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>				8,1	8,1
Temperatura do ar na massa de grãos, °C	32,1	31,5	33,3	n.d	20,7
<i>Condições do ar de exaustão:</i>					
Temperatura, °C	31,0	31,9	32,3	-	-
Umidade relativa, %	91,1	88,6	80,1	-	-
<i>Condições do produto:</i>					
Teor de umidade inicial, % b.u.	32,4	42,3	24,0	25,5	31,0
Teor de umidade final, % b.u.	25,5	31,0	14,0	13,0	14,0
Massa total inicial, kg	3.250,0	3.550,0	2.830,0	2.949,0	2.968,0
Massa total final, kg	2.949,0	2.968,0	2.500,0	2.525,0	2.381,0
<i>Resultados:</i>					
Tempo de secagem, h (ventilador ligado)	9,3	10,2	12,0	232,0	200,0
Tempo de secagem (total), h				632,0	584,0
Capacidade nominal do secador, t h <sup>-1</sup>	0,35	0,35	0,24	-	-
Consumo de energia elétrica, kWh	25,1	30,4	25,0	145,0	125,0
Consumo de lenha, kg	250,0	275,0	300,0	-	-
Teste de bebida	n.d.	n.d.	Dura	Dura	Dura

TABELA 2. Poder calorífico inferior (PCI), teor de umidade e consumo de lenha, consumo específico de energia do secador, eficiência da fornalha, massa de água evaporada e energia térmica consumida.

Teste	PCI (kJ kg <sup>-1</sup> )	Teor de umidade da lenha(% b.u.)	Consumo de lenha (kg h <sup>-1</sup> )	Consumo específico de energia(kJ kg <sup>-1</sup> )	Eficiência fornalha (%)	Água evapor. (kg)	E.térmica consum. (MJ)
1	12.044	30	26,8	10.003	77	301	3.010
2	12.044	30	26,9	5.697	67	582	3.315
3	12.044	30	25,0	10.980	73	330	3.613

TABELA 3. Consumo de energia nos testes 1, 2 e 3 nas etapas de secagem a altas e baixas temperaturas.

Teste	Consumo de	Consumo de	Consumo	Massa de água	Consumo
-------	------------	------------	---------	---------------	---------

		energia térmica(MJ)	energia elétrica(MJ)	total de energia(MJ)	evaporada na secagem(kg)	específico de energia(MJ kg <sup>-1</sup> )
1	Secador	3.010,9	90,4	3.101,3	301	10,3
	Silo	–	522,1	522,1	424	1,2
	Total	3.010,9	612,5	3.623,4	725	5,0
2	Secador	3.315,6	109,5	3.425,1	582	5,8
	Silo	–	450,1	450,1	587	0,7
	Total	3.315,6	559,6	3.875,2	1.169	3,3
3	Secador	3.613,0	90,0	3.703,0	330	11,2
	Total	3.613,0	90,0	3.703,0	330	11,2

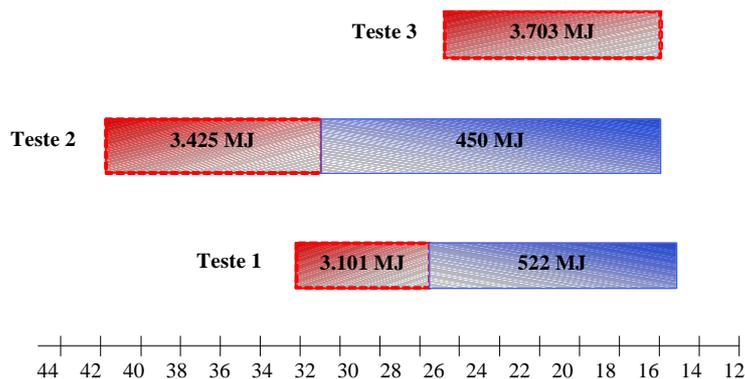


FIGURA 3. Consumo total de energia (térmica e elétrica) e redução no teor de umidade do produto, durante a realização dos testes de secagem combinada e secagem total no secador de altas temperaturas. ■, secagem a baixas temperaturas; ■, secagem a altas temperaturas.

Os resultados apresentados na avaliação da qualidade da bebida e características dos grãos, feita pela Cooperativa dos Cafeicultores de Guaxupé, não podem ser comparados entre si devido ao fato de os lotes de café utilizados nos testes terem sido provenientes de lavouras distintas e colhidos em períodos diferentes. No entanto, todos os testes apresentaram resultados satisfatórios de "Bebida" e "Tipo", tendo a bebida sido classificada como "Dura" nos três testes, caracterizando o produto como de boa qualidade. O tipo obtido foi entre 5 e 4, sendo o tipo 4 considerado como o tipo padrão para exportação. Os cafés classificados como tipos 4 e 5, numa escala que compreende sete tipos de valores decrescentes, em termos qualitativos, de 2 a 8, caracterizam-se por possuir 26 e 46 defeitos, respectivamente, em uma amostra de 300 g. Naturalmente, os cafés do tipo 5 também podem ser exportados, recebendo, no entanto, menor cotação nos mercados interno e externo.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos testes experimentais, concluiu-se que o sistema de secagem em combinação é energeticamente mais eficiente que o sistema a altas temperaturas para a secagem do café despulpado; a secagem com utilização do sistema em combinação possibilita a obtenção de um café de boa qualidade; a etapa de secagem a baixas temperaturas em silos-secadores para café despulpado pode ser iniciada com teores iniciais de umidade dos grãos iguais a 30% b.u., contanto que as condições ambientais sejam favoráveis (temperatura elevada e umidade relativa baixa) e o dimensionamento do sistema permita a redução da umidade da camada superior dos grãos antes que se inicie o processo de deterioração.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- FREIRE, A.T. **Projeto e avaliação de um sistema combinado para secagem de café despulpado.** Viçosa, MG, 1998. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Pré-processamento de Produtos Agrícolas) - Universidade Federal de Viçosa.
- GUIMARÃES, A.C. **Secagem de café (Coffea arabica L.) combinando sistemas em altas e baixas temperaturas.** Viçosa, MG, 1995. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Pré-processamento de Produtos Agrícolas) - Universidade Federal de Viçosa.
- LACERDA FILHO, A.F. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (Coffea arabica L).** Viçosa, MG, 1986. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Pré-processamento de Produtos Agrícolas) - Universidade Federal de Viçosa.
- McKENZIE, B.A. **Operating grain dryers for capacity, fuel efficiency, and grain quality.** West Lafayette, Purdue University, 1976. 15p.

## **AVISO**

ESTA PUBLICAÇÃO PODE SER ADQUIRIDA NOS  
SEGUINTE ENDEREÇOS:

### **FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES**

Edifício Sede, s/nº. - Campus Universitário da UFV  
Viçosa - MG  
Cep: 36571-000  
Tels: (31) 3891-3204 / 3899-2485  
Fax : (31) 3891-3911

### **EMBRAPA CAFÉ**

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (Final)  
Edifício Sede da Embrapa - sala 321  
Brasília - DF  
Cep: 70770-901  
Tel: (61) 448-4378  
Fax: (61) 448-4425