

Variação de diferentes tempos de revolvimento em secador de camada fixa para café

Marcelo Greco^{1*}, Alessandro Torres Campos² e Elcio Silvério Klosowski¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.

²Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: greco.b@ibest.com.br

RESUMO. Objetivou-se no presente trabalho avaliar a eficiência energética na secagem de café (*Coffea arabica* L.) em secador de camada fixa, empregando-se diferentes combinações de tempo de revolvimento. O experimento foi realizado no mês de julho de 2004, no município de Jesuítas – Estado do Paraná. O secador, dotado de um sistema mecânico com pás, promovia o revolvimento rotatório do produto a diferentes intervalos de tempo. A temperatura do ar de secagem foi de $75 \pm 5^\circ\text{C}$. A ventilação e a secagem mantiveram-se contínuas no teste. Observou-se que a eficiência energética média foi de $12,3 \text{ MJ kg}^{-1}$, não sendo verificadas diferenças significativas entre os tratamentos. Para o modelo de secador utilizado recomenda-se a utilização do sistema de revolvimento com intervalos de 3h e secagem contínua.

Palavras-chave: processamento do café, energia, eficiência, secagem.

ABSTRACT. Evaluation of different revolving time in a fixed bed-coffee drier.

This study aimed to evaluate the energetic efficiency in coffee drying (*Coffea arabica* L.) with different combinations of revolving time in a fixed-bed coffee dryer. The experiment was conducted in July 2004 in Jesuítas – Paraná state/Brazil. The dryer featured a mechanic system with rotating blades to revolve of the product at different intervals. The drying air temperature was $75^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. The ventilation and drying was kept constant during the tests. It was observed that the average energy efficiency was 12.3 MJ kg^{-1} and there was no significant difference between the treatments. For the adopted dryer model, the revolving system is recommended with three-hour intervals and continuous drying.

Key words: coffee processing, energy, efficiency, drying.

Introdução

O uso de secadores para café apresenta vantagens com relação à secagem natural: pode ser processada independentemente das condições do tempo e, também, é realizada em menor espaço de tempo (GRECO et al., 2010).

No Brasil, apesar de novas tecnologias de secagem terem sido desenvolvidas e de vários tipos de secadores se encontrarem à disposição dos agricultores, a secagem em terreiros é, ainda, muito utilizada (ANDRADE et al., 2000).

A secagem é a etapa do processamento do café que consome a maior quantidade de energia. Com isto, a análise da eficiência dos modelos de secadores torna-se de extrema importância, pois permite avanço no desenvolvimento de novos protótipos, verificando-se o real desempenho do equipamento (NELLIST; BRUCE, 1992). De acordo com Brooker et al. (1992), a operação de secagem pode representar até 60% da necessidade total de energia,

tornando-se então relevante a escolha de equipamentos com alta eficiência energética.

Nos secadores com sistema de aquecimento direto, os produtos da combustão permanecem no gás quente que, depois de diluído com o ar natural (à temperatura ambiente), atravessa diretamente a camada de grãos. Já no sistema de aquecimento indireto, o calor é transferido do combustível queimado para o ar de secagem por meio de um trocador de calor (NELLIST; BRUCE, 1995). Desta forma, os produtos da combustão não entram em contato com a massa de grãos. Isto torna evidente que secadores equipados com fornalha de fogo direto apresentam rendimento superior aos equipados com aquecimento indireto.

De acordo com Stefanini e Roa (1980), a grande quantidade de energia consumida no processo de secagem de produtos como o café, incentiva o desenvolvimento de estudos sobre as técnicas existentes, objetivando economia e melhor eficiência no processo de secagem.

Segundo Campos et al. (1999a), o desenvolvimento de sistemas de revolvimento do produto é primordial para secadores de camada fixa. No entanto, este sistema deve ser acionado em intervalos de tempo adequados, buscando-se minimizar as alterações dos aspectos físicos do produto e manter-se as características organolépticas do café.

Para Dios (1996), o revolvimento deve ser conduzido de maneira lenta e durante todo o processo de secagem, evitando-se, assim, diversos problemas que influenciam a qualidade. Desta forma, deve-se evitar a secagem rápida (temperaturas altas) e violenta, que ocasiona quebras dos grãos durante o revolvimento.

Para o café, o revolvimento deve ser feito em intervalos de 180 min., aproximadamente, para uma espessura de camada de 40 a 50 cm. Tal procedimento reduz para níveis aceitáveis os gradientes de teor de água e de temperatura (CAMPOS et al., 1999b), contribuindo para melhor uniformidade de secagem e produto final de melhor qualidade.

Visando à economia de energia consumida no processo de secagem, sem o comprometimento da qualidade do produto, torna-se salutar avaliar a possibilidade de redução no tempo de utilização de sistemas de revolvimento mecânico na secagem de café.

Desta forma, teve-se como objetivo, avaliar o efeito de diferentes intervalos de tempo de revolvimento no consumo de energia em secador de camada fixa para café, com sistema de revolvimento mecânico.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no município de Jesuítas, Estado do Paraná, no período entre 6 a 24 de julho de 2004. As avaliações de qualidade e teste de bebida (prova de xícara) do produto foram realizadas no Laboratório da Cooperativa Agrícola Consolata Ltda. - Copacol e no da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste. Para avaliação do tipo do grão, foi utilizada uma tabela proposta pela IBC (1985), a qual possui uma escala

de tipo crescente que varia entre 2 a 8. Quanto maior o número, maior o defeito apresentado em uma amostra de 300 g, conseqüentemente pior a qualidade. No experimento foi utilizado um secador de café de camada fixa, modelo Otofem (patente nº UM-7902597-8), contendo um sistema de revolvimento mecânico do produto. Para os testes foi empregado café (*Coffea arabica* L.), colhido pelo sistema de derriça no chão e com pré-secagem em terreiro de concreto até atingir teor de água de $24 \pm 1\%$.

O secador foi construído sobre uma base de alvenaria, com a câmara de secagem e fornalha confeccionadas em chapas de aço-carbono nº 14 (Figura 1a), constituído das seguintes partes: (1) câmara de secagem - cilindro metálico com diâmetro de 2,75 m e altura de 0,76 m, com capacidade para $4,5 \text{ m}^3$ de grãos. A base era composta por uma chapa com perfurações de 4 mm, totalizando 44% de perfuração, em contato com o *plenum* que recebe o ar aquecido destinado à secagem (Figura 1b). O revolvimento da camada de grãos na câmara de secagem foi realizado por um sistema de movimento giratório horizontal, composto por quatro pás, movimentando a camada inferior de grãos para a parte superior e a camada superior para a inferior (Figura 1b), acionado por um motor elétrico de 2cv; (2) câmara *plenum* - construída em alvenaria com altura de 0,5 m, com a finalidade de distribuir o fluxo de ar aquecido na câmara de secagem; (3) duto de ligação - Elemento de transição entre a fornalha e o *plenum*, com comprimento de 1,50 m, que tem a finalidade de conduzir o ar aquecido ao secador; (4) ventilador - com potência de 2 cv e vazão de ar $4,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, succiona o ar ambiente forçando sua passagem através dos dutos da fornalha, para, em seguida, atingir a câmara de secagem; (5) fornalha de fogo indireto - confeccionada em chapas de aço-carbono de 8 mm, possui um trocador de calor composto por 21 dutos, que promovem o aquecimento do ar.

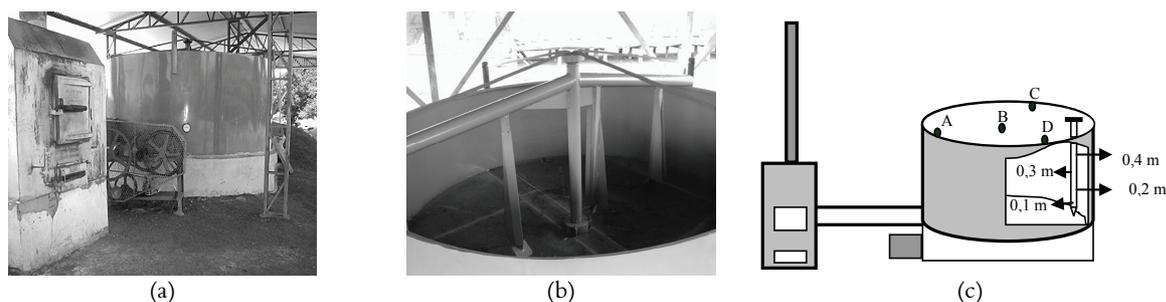


Figura 1. Secador mecânico de camada fixa para café, com sistema adaptado de revolvimento. (a) vista externa; (b) câmara de secagem (com sistema de revolvimento dotado de quatro pás); (c) esquema indicando os locais de amostragem de grãos de café dentro da câmara de secagem.

A seguir são descritos parâmetros que foram analisados, segundo recomendações da literatura (BAKKER-ARKEMA et al., 1978; NELIST; BRUCE, 1992).

Parâmetros relativos aos grãos: os teores de água dos grãos foram obtidos pelo método oficial de estufa, $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24h, com três repetições (BRASIL, 1992). A coleta de amostras foi realizada com um coletor segmentado com quatro orifícios independentes (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m em relação ao fundo da câmara de secagem), em quatro diferentes pontos (A, B, C e D) e quatro alturas como se observa na Figura 1c. As amostragens foram realizadas a cada 2h, sendo a primeira logo depois do carregamento do secador e a última antes da sua descarga.

A determinação da massa do produto foi realizada durante o carregamento do secador e depois do final da secagem, em balança de plataforma com capacidade de 500 kg.

O monitoramento da temperatura do ar na camada de grãos foi feito a cada 2h, com três termômetros analógicos, inseridos em três diferentes alturas (0,05; 0,2 e 0,4 m) em relação ao fundo da câmara de secagem em quatro diferentes pontos (A, B, C e D), conforme apresentado na Figura 1c.

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas a uma altura de 1,5 m, mediante o uso de termohigrômetro digital, instalado em abrigo meteorológico a uma distância de 10 m do secador.

Para se determinar a vazão de ar, utilizou-se um anemômetro digital de pás rotativas, na entrada de ar do secador, junto à fornalha. A vazão de ar foi obtida pelo produto da velocidade do fluxo de ar pela área de entrada.

A energia utilizada pelos motores do ventilador e do sistema de revolvimento foi calculada pela equação:

$$EM = PM \times tf \times 2647,8 \quad (1)$$

em que:

EM - energia transmitida ao motor, kJ;

PM - potência do motor, cv;

tf - tempo de funcionamento do motor, h.

Para aquecimento do ar de secagem, foi utilizada a madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) como combustível. O teor de água da lenha foi obtido pelo método de estufa, $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 72h (com três repetições para cada amostra). A energia proveniente deste combustível foi determinada pela seguinte equação:

$$EPC = QC \times PCI \quad (2)$$

em que:

EPC - energia proveniente do combustível, kJ;

QC - quantidade de combustível, kg;

PCI - poder calorífico inferior do combustível, kJ kg⁻¹.

Para determinação do poder calorífico da lenha, foi utilizada a equação proposta por Tillman (1978), citado por Campos et al. (1999a):

$$PCI = PCS - 0,0114 \times PCS \times UC \quad (3)$$

em que:

PCI = poder calorífico inferior do combustível, kJ kg⁻¹;

PCS = poder calorífico superior do combustível, kJ kg⁻¹ (17.974 kJ kg⁻¹ para a espécie *Eucalyptus grandis*); e

UC = teor de água do combustível, % b.u.

A eficiência energética de secagem, considerando-se a quantidade de energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água do produto, foi obtida pela seguinte equação (SILVA et al., 1992):

$$EEs = \frac{EC}{(Mi - Mf)} \quad (4)$$

em que:

EEs - eficiência energética de secagem, kJ kg⁻¹ de água evaporada;

EC - energia consumida, kJ;

Mi - massa inicial do produto, kg;

Mf - massa final do produto, kg.

A energia demandada representa aquela proveniente da queima do combustível mais a elétrica necessária para movimentar os motores do ventilador e os do sistema de revolvimento.

Foi determinada, também, a eficiência energética, em percentual, segundo equação apresentada por Dios (1996):

$$Ef = \frac{\text{kg de água evaporada} \times \text{calor latente da água (kcal kg}^{-1}\text{)}}{\text{kg de combustível usado} \times \text{poder calorífico do combustível}} \times 100 \quad (5)$$

em que:

Ef - Eficiência energética (%).

O delineamento experimental foi em quatro blocos inteiramente casualizados com quatro tratamentos: T1 - revolvimento contínuo; T2 - revolvimentos em intervalos de 1h; T3 - revolvimentos em intervalos de 2h; T4 - revolvimentos em intervalos de 3h. Os tempos de revolvimento foram sempre de 40 min. (conforme orientação do fabricante) e a ventilação se manteve ininterrupta. Os dados foram submetidos à análise

de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Sistema de operação do secador: o secador foi carregado com produto úmido, procedendo-se o revolvimento dos grãos, em intervalos, conforme os tratamentos. A alimentação de combustível (lenha) foi realizada de forma que a temperatura do ar no *plenum* se mantivesse em torno de $75 \pm 5^\circ\text{C}$. Para se determinar o final da secagem, foi realizado um monitoramento do teor de água do produto com auxílio de determinador micro computadorizado que registra a resistência de uma amostra a uma compressão pré-determinada (modelo PS-12).

Resultados e discussão

Na Figura 2, são apresentadas as curvas de secagem do café. Como se observa, o tempo de secagem, nas repetições dos tratamentos, variou entre 8 e 14h. Esta diferença de tempo de secagem pode estar ligada às condições ambientais (Figura 3). O final da secagem, entretanto, ocorreu, após 12h de secagem para os tratamentos T2 e T4, enquanto para os tratamentos T1 e T3, a secagem foi completada após 14h. Lacerda Filho et al. (1989), realizando experimento em secador de camada fixa com pré-secagem em terreiro de concreto e reduzindo o teor de água de 35 para 13% b.u., obtiveram tempo médio de secagem de 18h.

A umidade relativa do ar elevada e a baixa temperatura ambiente, durante o período experimental, podem ter influenciado o

desempenho do secador, reduzindo sua eficiência (Figura 3).

Na Tabela 1, é apresentada uma análise do consumo médio de energia elétrica para cada um dos tratamentos analisados. Observa-se que no tratamento T1, com o motor responsável pelo sistema de revolvimento operando continuamente, o consumo de energia elétrica foi 28,5% maior que no tratamento T3, que consumiu 22,06 kWh e foi o segundo em consumo. A título de exemplo, o custo do kWh, na região de Jesuítas, para o período diurno no meio rural, é de R\$ 0,185. Desta forma, o revolvimento contínuo apresenta, em média, um custo adicional de R\$ 5,71 a mais para cada lote a ser secado. Numa análise econômica mais detalhada, seria necessário, também, considerar o valor da depreciação do equipamento, pelas horas adicionais de utilização.

Os teores médios de umidade do café (Tabela 1), no início do experimento, foram de 23,5; 23,0; 24,2 e 23,4% b.u., para os tratamentos T1 a T4, respectivamente. O produto foi seco até $11,6 \pm 0,5\%$ b.u., que é o considerado ideal para armazenamento, segundo Rossi e Roa (1980). Não houve diferenças significativas entre os tratamentos, tanto para o teor de umidade inicial como para o final. No entanto, quando analisadas as repetições em cada tratamento, percebe-se que maiores teores de umidade inicial geram maior quantidade de água evaporada, consequentemente o tempo de secagem é maior, bem como o consumo de energia utilizada neste processo.

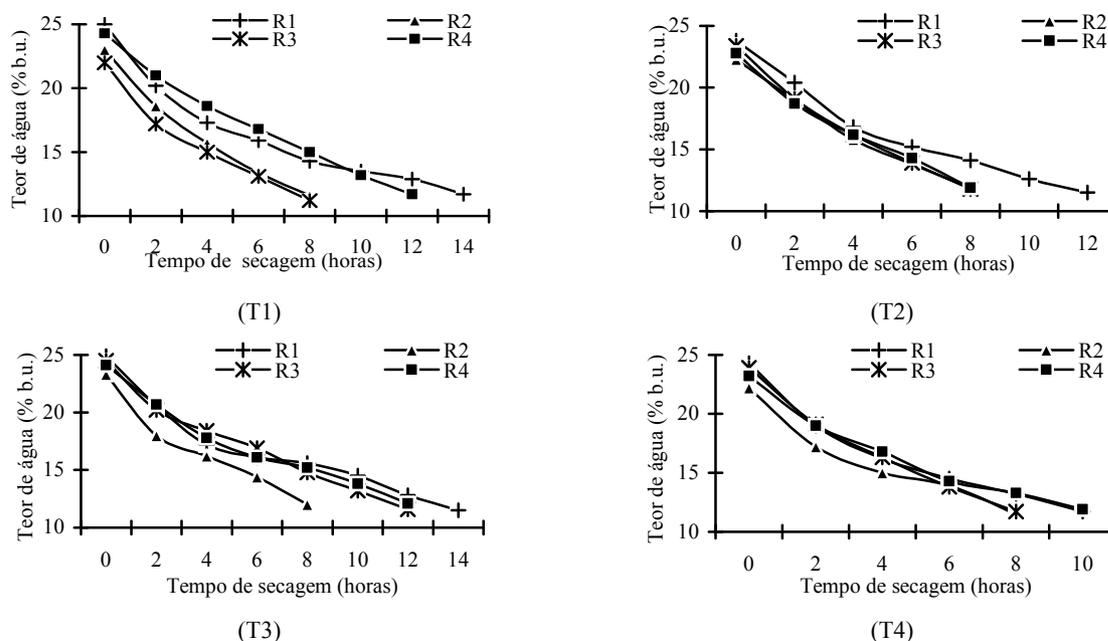


Figura 2. Curvas de secagem dos tratamentos T1, T2, T3 e T4, com as respectivas repetições: repetição 1 (R1), 2 (R2), 3 (R3) e 4 (R4).

Tabela 1. Teor de água inicial e final, quantidade de água evaporada, energia elétrica utilizada pelo sistema de revolvimento e do ventilador, tempo de revolvimento e total de energia utilizada.

	Teor de água inicial (%)	Teor de água final (%)	Quantidade de água evaporada (kg)	Tempo de secagem (h)	Energia utilizada pelo ventilador (kW h ⁻¹)*	Energia utilizada pelo sistema de revolvimento		Vazão de ar (m ³ min. ⁻¹ m ⁻²)
						Tempo (h)	Utilizada (kW h ⁻¹)*	
T1 R1	25	11,7	400	14	20,59	14	20,59	46,2
R2	23	11,6	380	8	11,76	8	11,76	44,8
R3	22	11,2	387	8	11,76	8	11,76	45,1
R4	24,3	11,7	389	12	17,65	12	17,65	45,8
T2 R1	23,8	11,5	375	12	17,65	4	5,88	37,2
R2	22,3	11,9	250	8	11,76	3,20	4,70	41,3
R3	23,4	11,8	315	8	11,76	3,20	4,70	39,2
R4	22,8	11,9	320	8	11,76	3,20	4,70	38,9
T3 R1	24,9	11,5	405	14	20,59	4	5,88	38,7
R2	23,3	12	248	8	11,76	2	2,94	37,3
R3	24,5	11,6	345	12	17,65	3,20	4,70	39,4
R4	24,1	12,1	393	12	17,65	3,20	4,70	37,5
T4 R1	24,3	11,7	391	10	14,71	2	2,94	37,8
R2	22,2	11,5	288	8	11,76	2	2,94	36,9
R3	23,9	11,7	348	8	11,76	2	2,94	36,3
R4	23,2	11,9	374	10	14,71	2	2,94	37,1

*Estimado a partir da equação 1.

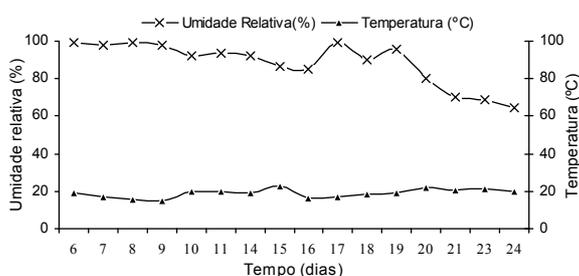


Figura 3. Média diária da temperatura e da umidade relativa do ar no período de 6 a 24 de julho de 2004 em Jesuítas, Estado do Paraná.

Na Tabela 2, é apresentado o consumo de combustível para o aquecimento do ar de secagem. Como a fornalha utilizada no experimento foi do tipo fogo indireto, com trocador de calor, o secador apresentou um consumo de energia relativamente alto, comparativamente ao secador de camada fixa, que utiliza fornalha com fogo direto. Para a realização do experimento, o combustível utilizado foi a madeira de eucalipto, com poder calorífico inferior de 15,27 MJ e umidade de 13,17% b.u.

Analisando-se os resultados, verifica-se que o tratamento T4 apresentou significativamente menor consumo de lenha para manutenção da mesma temperatura de secagem. Isto ocorreu, provavelmente, pela tendência de maior aquecimento da camada de café, uma vez que este foi relativamente menos revolvido, com conseqüente menor desobstrução à passagem do ar (média de $37 \pm 8 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$), ou seja, menor redução da pressão estática, promovendo aquecimento da massa de produto.

Cardoso Sobrinho et al. (2003), realizando estudos em secador horizontal rotativo com fornalha de fogo indireto, em ambiente com valores de temperatura do ar próximos aos observados neste

experimento, mas com valores de umidade relativa do ar mais baixos e o PCI da lenha de eucalipto de 14,34 MJ, obtiveram consumo de 5.376,5 kg, para reduzir o teor de água de 34 para 13% b.u.

Tabela 2. Consumo total de combustível e a média do consumo total de lenha para os tratamentos.

Tratamentos	Consumo de lenha (kg)	Média total do consumo de lenha para cada tratamento (kg) *
T1	1.110	277,50 a
T2	1.057	264,25 a
T3	1.028	257,00a
T4	833	208,25 b

Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente (teste de Tukey a 5%).

Dios (1996) relata que vários fatores podem influenciar o consumo de combustível de um sistema de secagem, como, por exemplo: temperatura do ar, umidade relativa do ar, sistema de fornalha (com trocador de calor ou sem trocador de calor), modelo de secador, entre outros. O autor ressalta que a quantidade de combustível empregada em um secador varia de um combustível para outro e depende de fatores como: teor de água inicial do produto, temperatura de secagem empregada, entre outros.

Entretanto, é interessante observar que, apesar das diferenças apontadas na Tabela 2, a eficiência energética entre os tratamentos não apresentou diferença significativa como pode ser observado na Tabela 3.

A média da eficiência energética foi de 12,30 MJ kg⁻¹ de água evaporada para os tratamentos, o que pode ser considerado um valor razoável. Campos et al. (1999a) obtiveram eficiência energética, em secador de camada fixa, com fornalha também de fogo indireto, de 16,78 MJ kg⁻¹ de água evaporada, reduzindo o teor de água inicial de 43,1 para 11,7%

b.u. Lacerda Filho et al. (1989), em experimento com meia seca (colocar o teor de água) em terreiro e utilizando um secador de camada fixa, de fornalha com fogo direto, obtiveram eficiência energética de 10 MJ kg⁻¹ de água evaporada, porém, a temperatura de secagem foi de 55°C. Cardoso Sobrinho et al. (2003) obtiveram a eficiência energética de 10,49 MJ em secador rotativo horizontal com fornalha de fogo indireto e poder calorífico da lenha de 14,34 MJ.

Tabela 3. Eficiência energética em MJ kg⁻¹ de água evaporada e eficiência energética em (%) entre os tratamentos.

Tratamentos	Eficiência energética	Eficiência energética
	MJ kg ⁻¹ de água evaporada (Por meio da equação 4)	(%) (Por meio da equação 5)
T1	11,47 a	12,84 a
T2	14,07 a	11,88 a
T3	13,65 a	13,66 a
T4	10,03 a	13,89 a

*Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente (teste de Tukey a 5%).

Pela Equação proposta por Dios (1996) (Equação 4), o secador analisado apresentou eficiência energética média de 13,09%, indicando que 86,91% da energia utilizada do combustível foi perdida. Torna-se oportuno mencionar que o baixo rendimento apresentado pelas fornhalhas de fogo indireto tem motivado pesquisadores a desenvolver e adaptar novos sistemas de aquecimento, visando minorar as perdas energéticas para o ambiente. Silva et al. (2004), por exemplo, analisando a utilização de gaseificador em secador de camada fixa com câmaras de secagem dotadas de movimentação e içadas por um sistema de roldanas e cabos, com aquecimento do ar por fogo indireto, obtiveram eficiência energética de 76%, utilizando tacos de eucalipto como combustível. O produto utilizado foi café despulpado com teor de água inicial de 54,4% b.u. Este sistema apresentou eficiência de 61,9% superior em relação ao secador apresentado neste trabalho.

No entanto, para o modelo de secador analisado no presente estudo, recomenda-se a utilização do sistema de revolvimento acionado a intervalos de 3h, como no tratamento T4. Este tratamento, mesmo não apresentando diferença de eficiência energética significativa em relação aos demais tratamentos, obteve menor consumo de energia elétrica e de lenha.

Complementarmente à análise de eficiência energética do sistema, foi feita a classificação sensorial do produto, para cada tratamento, visando detectar diferenças na qualidade do produto pela variação nos períodos de revolvimento. A classificação quanto à bebida tem como base o gosto ou cheiro que o café apresenta na prova de xícara. Neste experimento não houve diferença na qualidade (Tabela 4), e os tratamentos apresentaram bebida Riada, a qual é caracterizada por apresentar

leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico (BARTHOLO; GUIMARÃES, 1997). Com relação ao tipo de grão, apenas na repetição 1 do tratamento 1, houve diferença (46 a 85 defeitos). Nas demais repetições e tratamentos não houve diferença entre o tipo de grão, apresentando-se entre 86 e 159 defeitos para cada amostra de 300 g.

Tabela 4. Resultado da análise sensorial e classificação de café para os quatros tratamentos.

Repetições	Tratamento							
	T1		T2		T3		T4	
	Bebida	Tipo	Bebida	Tipo	Bebida	Tipo	Bebida	Tipo
R1	riada	5	riada	6	riada	6	riada	6
R2	riada	6	riada	6	riada	6	riada	6
R3	riada	6	riada	6	riada	6	riada	6
R4	riada	6	riada	6	riada	6	riada	6

Os resultados indicam que a qualidade e o tipo do café não atingiram o melhor preço de venda, sendo considerados cafés com qualidade e tipos inferiores.

A despeito dos resultados obtidos, a região se caracteriza pela produção de café de baixa qualidade, apesar de se tratar da localidade com maior produção na região Oeste do Estado do Paraná. Dal Molin et al. (2008), em trabalho que fez colheita seletiva na fase de cereja e secagem ao sol com revolvimento a cada 40 min., em processo com completo controle, obteve bebida apenas mole e dura, considerada de boa aceitação. As condições climáticas durante o presente experimento contribuíram negativamente para a qualidade do produto, uma vez que, nessa safra, houve a ocorrência de chuvas intensas em período muito prolongado, na época da colheita, com a agravante de ter ocorrido falta de chuvas durante a etapa da floração do café.

Segundo o IBC (1985), a qualidade e o tipo de grãos de café não estão ligados somente ao manejo pós-colheita, mas a uma série de fatores que podem influenciar na qualidade final do produto.

Conclusão

Para o modelo de secador analisado, recomenda-se a utilização do sistema de revolvimento a intervalos de 3h, com ventilação e secagem contínuas.

A eficiência energética não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, tendo média geral de 12,30 MJ kg⁻¹ de água evaporada.

Referências

ANDRADE, E. T.; OLIVEIRA FILHO, D.; VIEIRA, G. Potencial de conservação de energia no pré-processamento do café. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 71-82, 2000.

- BAKKER-ARKEMA, F. W.; LEREW, L. E.; BROKK, R. C.; BROOKER, D. B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers**. St. Joseph: ASAE, 1978. (ASAE paper, 78-3523).
- BARTHOLO, G. F.; GUIMALHÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book, 1992.
- CAMPOS, A. T.; MELO, E. C.; SILVA, J. S. S.; BERBERT, P. A. Projeto, construção e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.), com sistema de revolvimento mecânico. **Engenharia na Agricultura**, v. 7, n. 2, p. 88-105, 1999a.
- CAMPOS, A. T.; MELO, E. C.; SILVA, J. S. Gradientes de teor de umidade desenvolvidos nas câmaras de secagem de um secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.) com sistema de revolvimento mecânico. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 24, n. 2, p. 37-41, 1999b.
- CARDOSO SOBRINHO, J. C.; SILVA, J. N.; LACERDA FILHO, A. F. Secadores rotativos horizontais e verticais de fluxos cruzados na secagem de café: análise energética e de qualidade. **Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 2, p. 388-397, 2003.
- DAL MOLIN, R. N.; ANDREOTTI, M.; REIS, A. R.; FURLANI JÚNIOR, E.; BRAGA, G. C.; SCHOLZ, M. B. S. Caracterização física e sensorial do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuítas, Paraná. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 3, p. 353-358, 2008.
- DIOS, C. A. **Secado de granos y secadoras**. Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 1996.
- IBC-Instituto Brasileiro do Café. **Cultura de café no Brasil**: manual de recomendações. Rio de Janeiro, 1985.
- GRECO, M.; CAMPOS, A. T. ; KLOSOWSKI, E. Perdas térmicas em secador de café. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 209-212, 2010.
- LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. S.; HARA, T. Avaliação de diferentes sistemas de secagem e seus efeitos na qualidade do café (*Coffea arabica*, L.). **Acogranos**, v. 14, n. 161, p. 23-29, 1989.
- NELLIST, M. E.; BRUCE, D. M. Grain dryer testing-procedure, calculation and adjustment of results, and effect of errors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 52, n. 1, p. 35-51, 1992.
- NELLIST, M. E.; BRUCE, D. M. Heated-air grain drying. In: JAYAS, D. S.; WHITE, N. G.; MUIR, W. E. (Ed.). **Stored-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 609-659.
- ROSSI, S. J.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciências e Tecnologia. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1980. (Publicação Aciesp, n. 22).
- SILVA, J. N.; SOBRINHO, J. C.; SAIKI, E. T. Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 405-411, 2004.
- SILVA, J. S.; PINTO, F. A. C.; AFONSO, A. D. L. Desempenho de secadores e custo de secagem. **Engenharia na Agricultura**, v. 2, n. 4, p. 1-18, 1992.
- STEFANINI, R.; ROA, G. Algoritmo geral para a determinação do calor latente de vaporização da água dos produtos biológicos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 5, n. 1, p. 30-42, 1980.

Received on May 30, 2008.

Accepted on February 20, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.