

34º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras

ANÁLISE DA DIFUSÃO LÍQUIDA NA SECAGEM DE CLONES DE CAFÉ (*Coffea canephora* Pierre) EM TERREIROS DE CONCRETO E CHÃO BATIDO

O. Resende, Dr. Eng. Agrícola, Professor DEG/CEFET-RV; R.V. Arcanjo, Estudante Graduação DEAGRO/UNIR, Bolsista PIBIC/CNPq; V.C. Siqueira, Estudante Graduação DEAGRO/UNIR

No desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para a secagem de grãos, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que representa, satisfatoriamente, sua perda de água durante o período de secagem. Os modelos de secagem baseados na teoria da difusão líquida têm merecido atenção especial por parte dos pesquisadores. Estes modelos assumem que não há influência da capilaridade, desprezam os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, considera que os corpos entram em equilíbrio térmico com o ar instantaneamente, podendo induzir a discrepâncias entre os resultados obtidos. O mecanismo da difusão líquida é muito complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos. Os dados disponíveis na literatura apresentam elevada variação nos seus valores, não só devido à complexidade dos produtos, como também em função dos diferentes métodos de estimação, tipo de material, teor de água, processo de secagem e a metodologia utilizada para sua obtenção. Segundo Brooker et al. (1992), na teoria da difusão líquida, a segunda lei de Fick tem sido utilizada para estabelecer a difusão da água em função ao gradiente de concentração, sendo a solução analítica para a forma geométrica esférica descrita pela seguinte expressão:

$$RU = \frac{U^* - U_e^*}{U_i^* - U_e^*} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot t}{9} \cdot \left(\frac{3}{r} \right)^2 \right] \quad (1)$$

em que, RU: razão de umidade do produto, adimensional; U*: teor de água do produto, (% b.s.); U_e*: teor de água de equilíbrio do produto, (% b.s.); U_i*: teor de água inicial do produto, (% b.s.); n: número de termos; D: coeficiente de difusão de líquido, (m² s⁻¹); t: tempo, (s); r: distância radial até a superfície, (m).

Assim, objetivou-se no presente trabalho analisar o coeficiente de difusão obtido durante a secagem de quatro clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e chão batido.

O experimento foi desenvolvido no Departamento de Agronomia do campus da Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Rolim de Moura, RO. Foram utilizados frutos de café (*Coffea Canephora* Pierre) dos clones: Cpafo 194, Cpafo 193, Cpafo 167 e Cpafo 180, com os teores de água iniciais de 1,20; 1,32; 1,51 e 1,46 (decimal b.s.), respectivamente. Os frutos foram submetidos à secagem em terreiro de concreto e chão batido, sendo espalhados em camadas de 3 cm de espessura e revolvidos periodicamente ao longo do dia. A secagem prosseguiu até que o produto atingisse o teor de

água de aproximadamente 0,10 (decimal b.s.). Os teores de água do produto foram acompanhados diariamente e determinados pelo método da estufa, 105 ± 1 °C, até massa constante. A temperatura e a umidade relativa do ar de secagem foram obtidas por meio de uma estação climatológica, situada a 100 m do local de secagem. A temperatura máxima da massa de café foi monitorada diariamente às 14:00 por meio de sonda termométrica. O teor de água de equilíbrio dos frutos foi calculado utilizando-se a equação proposta por Afonso Júnior (2001), expressa da seguinte forma:

$$U_e^* = 2,9636 + 0,053 \cdot T - 10,7837 \cdot UR^{4,5136 - 1,6503} \quad (1)$$

em que, T: temperatura do ar de secagem (°C); UR: umidade relativa do ar de secagem (decimal). Para a determinação das razões de umidade dos clones de café durante a secagem utilizou-se a seguinte expressão:

$$RU = \frac{U^* - U_e^*}{U_i^* - U_e^*} \quad (2)$$

O coeficiente de difusão foi obtido por meio do ajuste da solução analítica da difusão líquida para a forma geométrica esférica, Equação 1, com aproximação de oito termos. O número de termos foi estabelecido quando a variação do coeficiente de difusão foi inferior a $0,1 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Para analisar o coeficiente de difusão, o experimento foi montado segundo o esquema fatorial 2 x 4 (2 tipos de pavimento terreiro e chão batido; e quatro clones de café Cpafró 194, Cpafró 193, Cpafró 167 e Cpafró 180), em DIC, com três repetições. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Conclusões:

De acordo com o monitoramento das condições climáticas, os valores médios da temperatura e da umidade relativa no período de secagem foram de 26,3 °C e 63,3%, respectivamente. Já a temperatura da massa de grãos medida diariamente às 14:00 horas, apresentou variação entre 41,1 e 51,1 °C para os quatro clones estudados e durante 5 dias de monitoramento.

Na Tabela 1 está apresentado resumo da análise de variância para o coeficiente de difusão dos clones de café submetidos à secagem em terreiro de concreto e chão batido. Verifica-se que, que o tipo de terreiro influenciou na determinação do coeficiente de difusão dos clones de café analisados. Por outro lado, não houve diferença significativa entre os clones de café Cpafró 194, Cpafró 193, Cpafró 167 e Cpafró 180, indicando que a difusão de água do interior para a periferia do fruto, durante a secagem, ocorre de forma semelhante para estes clones.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para o coeficiente de difusão dos clones de café submetidos à secagem em terreiro de concreto e chão batido.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados médios
Terreiros (T)	1	2,6250 x 10 ⁻⁹ **
Clones de café (C)	3	1,5148 x 10 ⁻¹⁰ ns
A x C	3	1,4071 x 10 ⁻¹⁰ ns
Resíduo	16	5,2958 x 10 ⁻¹¹
Total	23	
CV (%) = 17,62		

**Significativo a 1% pelo teste F;

ns Não significativo

Na Tabela 2 estão apresentados os valores do coeficiente de difusão para os clones de café, durante a secagem nos terreiros de concreto e chão batido.

Tabela 2. Valores médios do coeficiente de difusão (x 10⁻¹¹ m² s⁻¹) para os clones de café Cpafró 194, Cpafró 193, Cpafró 167 e Cpafró 180, durante a secagem nos terreiros de concreto e chão batido.

Terreiro	Clones				Médias
	Cpafró 194	Cpafró 193	Cpafró 167	Cpafró 180	
Concreto	4,28 a	5,55 a	5,49 a	6,39 a	5,21 B
Chão batido	2,82 b	3,23 b	3,40 b	3,04 b	3,12 A

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Observa-se que o coeficiente de difusão para os frutos de café, durante a secagem em terreiro de concreto, apresentou magnitudes médias de 4,28 x 10⁻¹¹; 5,55 x 10⁻¹¹; 5,49 x 10⁻¹¹ e 6,39 x 10⁻¹¹ m² s⁻¹ para os clones Cpafró 194, Cpafró 193, Cpafró 167 e Cpafró 180, respectivamente. Já para a secagem em terreiro de chão batido os valores médios foram inferiores: 2,82 x 10⁻¹¹; 3,23 x 10⁻¹¹; 3,40 x 10⁻¹¹ e 3,04 x 10⁻¹¹ m² s⁻¹, respectivamente para os clones Cpafró 194, Cpafró 193, Cpafró 167 e Cpafró 180. Este fato comprova que a remoção de água no terreiro de concreto ocorre, sensivelmente, em uma velocidade maior, justificada pela maior eficiência energética apresentada pelo o pavimento de concreto, conforme relatam Lacerda Filho et al. (2006).

Os valores do coeficiente de difusão calculados para os clones de café estão coerentes aos relatados na literatura para secagem de produtos agrícolas, que de acordo com Madamba et al. (1996) apresentam-se na ordem de 10⁻¹¹ a 10⁻⁹ m² s⁻¹. Corrêa et al. (2006) verificaram que o coeficiente de difusão para os frutos de café da espécie *Coffea arabica* foi de 2,91 x 10⁻¹⁰; 3,57 x 10⁻¹⁰ e 4,96 x 10⁻¹⁰ m² s⁻¹, para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente.

Analisando os resultados, conclui-se que para a secagem dos clones de café conilon Cpafró 194, Cpafró 193, Cpafró 167 e Cpafró 180, com temperatura média do ar de 26,3 °C, o coeficiente de difusão varia entre $4,28 \times 10^{-11}$ e $6,39 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e entre $2,82 \times 10^{-11}$ e $3,04 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente para os terreiros de concreto e chão batido. O terreiro pavimentado com concreto apresenta maior velocidade na remoção de água dos frutos de café, comprovada pelos valores elevados do coeficiente de difusão durante a secagem.