

34º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras

ANÁLISE E MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CURVAS DE SECAGEM DE CLONES DE CAFÉ (*Coffea canephora* Pierre) EM TERREIRO DE 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, S. Rodrigues, Eng. Agrícola Prof. Adjunto, DEAGRO/UNIR

A secagem representa uma das etapas mais importantes no processamento pós-colheita do café. No desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para a secagem, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Assim, as curvas de secagem em camada delgada variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Diversos modelos matemáticos podem ser utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Estes modelos, geralmente, baseiam-se em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem. Diante da limitação de informações teóricas sobre a secagem de café da espécie *Coffea Canephora*, objetivou-se com o presente trabalho estimar as curvas de secagem do produto e ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais durante a secagem de quatro clones desta espécie.

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 Cpafo180, 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 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 0,13 (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. 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, U_e^* : teor de água de equilíbrio do produto (decimal b.s.); T: temperatura do ar de secagem (°C); UR: umidade relativa do ar de secagem (decimal). Aos dados experimentais foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas

Modelo		Modelo	
Wang e Verna	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	Newton	$RU = \exp(-k \cdot t)$ (6)
Thompson	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (-a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Logarítmico	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (7)
Page	$RU = \exp\left(\left(\frac{-a - a^2 + 4 \cdot b \cdot t}{2 \cdot b}\right)^{0,5}\right)$	Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (8)
	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$		

em que, t: tempo de secagem (s); k, k₀, k₁: constantes de secagem (s⁻¹); a, b, c, n: coeficientes dos modelos. Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão linear e não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando-se o software STATISTICA 5.0[®]. O grau de ajuste de cada modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R²), a magnitude do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE) e a verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. O erro médio relativo e o erro médio estimado, para cada um dos modelos, foram calculados conforme as seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (10)$$

em que, Y: valor observado experimentalmente; \hat{Y} : valor calculado pelo modelo; N: número de observações; GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

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.

Tabela 2. Coeficientes de determinação (R²), erros médio relativo (P) e estimado (SE), e tendência de distribuição dos resíduos (A: aleatória; T: tendenciosa) para os sete modelos analisados, durante a secagem dos clones Cpafo 194, Cpafo 193, Cpafo 167 e Cpafo 180 em terreiro de chão batido.

Modelo	Cpafo 194				Cpafo 193			
	R ² (%)	SE (decimal)	P (%)	Distribuição resíduos	R ² (%)	SE (decimal)	P (%)	Distribuição resíduos
Wang e Singh	98,63	0,0450	16,82	T	98,90	0,0382	31,06	T
Verna	99,93	0,0113	7,51	A	99,94	0,0099	6,26	A
Thompson	97,42	0,0618	18,34	T	99,62	0,0224	6,25	T
Page	99,29	0,0323	18,07	T	99,86	0,0137	9,55	T
Newton	97,42	0,0578	18,33	T	99,62	0,0209	6,24	T
Logarítmico	98,30	0,0542	16,45	T	99,71	0,0212	8,31	T

	Cpafro 167				Cpafro180			
Henderson e Pabis	98,01	0,0542	13,64	T	99,69	0,0204	5,15	T
Wang Singh	98,40	0,0458	32,70	A	99,19	0,0329	26,50	T
Verma	99,86	0,0147	8,02	A	99,92	0,0112	6,91	A
Thompson	99,72	0,0192	9,00	A	99,51	0,0256	9,63	T
Page	99,80	0,0161	9,04	A	99,87	0,0131	10,75	T
Newton	99,71	0,0181	8,99	A	99,51	0,0240	9,62	T
Logarítmico	99,74	0,0198	9,30	A	99,65	0,0233	11,76	T
Henderson e Pabis	99,74	0,0184	8,98	A	99,60	0,0233	8,69	T

De acordo com a Tabela 2, observa-se que para os clones Cpafro 193, Cpafro 167 e Cpafro180 os sete modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superior a 98%, indicando, de acordo com Madamba et al. (1996), uma representação satisfatória do fenômeno em estudo. Para o clone Cpafro 194, os modelos Thompson e Newton obtiveram valores do coeficiente de determinação inferiores a 98%, não sendo adequados para descrição da secagem deste clone de café. O modelo de Verma apresentou os menores valores do erro médio estimado para os quatro clones analisados. Para o clone Cpafro 194, o modelo de Verma obteve magnitudes do erro médio relativo inferior a 10%, indicando, de acordo com Mohapatra e Rao (2005), ser adequado para a descrição do fenômeno; para os clones Cpafro 193 e Cpafro 167 somente o modelo de Wang e Singh apresentou valor do erro médio relativo superior a 10%, ratificando a sua ineficiência na representação do fenômeno em estudo; e, finalmente, para o clone Cpafro 180, os modelos Wang e Singh e Logarítmico também forneceram magnitudes do erro médio relativo superior ao estabelecido pelo referido autor, desabilitando estes modelos a satisfatória descrição da secagem deste clone. Verifica-se ainda na Tabela 2, que o modelo de Verma obteve para a modelagem da secagem dos clones Cpafro 194, Cpafro 193 e Cpafro 180, uma distribuição aleatória dos resíduos resultando, assim, em um ajuste satisfatório aos dados experimentais. Para o clone Cpafro 167 todos os modelos, exceto o Wang e Singh, apresentaram a distribuição dos resíduos aleatória, indicando a adequação dos modelos em representar a secagem com ar natural em terreiro de chão batido, e sob as condições experimentadas. De acordo com os parâmetros estatísticos avaliados, o modelo de Verma foi selecionado devido a sua simplicidade para representação da secagem dos clones de café Cpafro 194, Cpafro 193 e Cpafro 180. Para Corrêa et al. (2006), o modelo Verma representou satisfatoriamente o fenômeno de secagem dos frutos de café, cultivar Mundo Novo, da espécie *Coffea arabica*.

Tabela 3. Coeficientes ajustados para o modelo de Verma durante a secagem em terreiro de chão batido dos clones Cpafro 194, Cpafro 193, Cpafro 167 e Cpafro 180.

Clones					
Modelo	Coeficientes	Cpafro 194	Cpafro 193	Cpafro 167	Cpafro 180
Verma	a	-0,316	-0,111	-0,078	-0,126
	k	0,100	0,100	0,100	0,100
	k ₁	5,46 x 10 ⁻⁶	5,35 x 10 ⁻⁶	5,49 x 10 ⁻⁶	5,36 x 10 ⁻⁶

Na Figura 1, estão ilustrados os teores de água observados e estimados pelo modelo de Verma, para os clones Cpafro 194, Cpafro 193, Cpafro 167 e Cpafro180, durante a secagem do café. Verifica-se, por meio da correspondência entre os valores experimentais e estimados, que o modelo de Verma descreve adequadamente o fenômeno de secagem dos clones de café estudados.

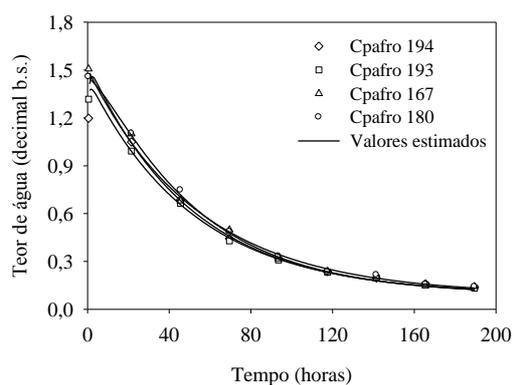


Figura 1. Valores experimentais dos teores de água e estimados pelo modelo de Verma (decimal b.s.) ao longo do tempo de secagem (horas), para os clones de café Cpafro 194, Cpafro 193, Cpafro 167 e Cpafro 180.

Analisando os resultados, conclui-se que o modelo de Verma representa adequadamente a secagem dos quatro clones de café da espécie *Coffea Canephora* analisados.