

Determinação e modelagem matemática da secagem de manjerição e do tempo de meia resposta.

KARINA R. FONSECA (IC)^{1*}, SAMUEL A. A. DIAS (IC)¹, KEDINNA D. SOUSA (IC)¹, IVANO A. DEVILLA (PQ)²

¹ Graduação em Engenharia Agrícola, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás, samueldiasabreu@gmail.com

² Docente do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - UEG, Anápolis (GO)

O presente trabalho visou selecionar o melhor modelo matemático para as curvas de secagem do manjerição em diferentes umidades e temperaturas, e a determinação do tempo de meia resposta. Na determinação do teor de água do manjerição foi utilizado o método analítico. As temperaturas foram 30, 35 e 40°C, e as umidades foram 80,5; 62; 45 e 22% b.u. Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais de secagem, a partir da análise não linear, utilizando o método de Gauss Newton, por meio do programa Statistica 12.0. Foram avaliados 4 parâmetros: o coeficiente de determinação ajustado, o erro médio relativo, o erro médio estimado e o teste do qui-quadrado. Os melhores modelos selecionados foram o de Henderson e Pabis modificada, Midilli e Logarítmico. E para os tempos de meia resposta foi observado que quanto maior a umidade e menor a temperatura, maiores são os tempos de meia resposta.

Palavras-chave: *Ocimum basilicum*. Cinética de Secagem. Modelo de Hukill.

Introdução

O manjerição (*Ocimum basilicum*) é uma planta aromática considerada um subarbusto, podendo ser cultivada de forma perene ou anual. Nativo da Ásia e introduzido no Brasil pela colônia italiana, é produzido, principalmente, por pequenos produtores para comercialização como condimento ou para fins medicinais. No Brasil, é cultivado principalmente no estado de Sergipe, onde, devido ao clima favorável, pode se desenvolver como cultura perene, fazendo-se vários cortes ao longo do ano. Já em regiões mais frias, como no sul do país, o manjerição é cultivado como cultura anual (MARQUES et al., 2015).

O manjerição (*Ocimum basilicum*) planta tradicionalmente utilizada como erva medicinal no tratamento de dor de cabeça, tosse e diarreia, entre outros; é também considerado fonte de componentes aromáticos. Seu óleo essencial tem sido muito usado como condimento em carnes, saladas, bebidas não alcoólicas, sorvetes e na indústria de perfume e produtos de higiene bucal (Loughrin & Kasperbauer, 2001).

REALIZAÇÃO



Seu interesse econômico se restringe à biomassa, pois são nas folhas que ocorre maior produção de óleo essencial, que tem como principal característica a alta concentração de linalol, o que é muito valorizado no mercado internacional por ser amplamente usado na indústria de cosméticos e fármacos, sendo uma alternativa geradora de emprego e renda para pequenos agricultores (MORAIS, 2006; MAY et al., 2008; EMBRAPA, 2011).

De acordo com Martinazzo et al. (2013) a secagem e o armazenamento são etapas fundamentais dentre os processos pós-colheita para a obtenção de produtos de qualidade, os quais são a base para a fabricação de medicamentos fitoterápicos. A secagem é um processo que pode demorar desde algumas horas até vários dias dependendo de alguns fatores como: método de secagem, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem (Dalpasquale & Sperandio, 2010).

Devido à importância da secagem de plantas medicinais, considerando-se a necessária conservação pós-colheita do produto, bem como a baixa capacidade de processamento de plantas úmidas, em quantidades exigidas para a produção industrial, a cinética de secagem de plantas medicinais tem sido estudada por diversos pesquisadores, para as mais diferentes espécies (Oliveira et al. 2013).

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser feitos por simulação matemática. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de umidade do produto durante o período de secagem, a simulação matemática de secagem permite fazer a otimização desses processos em tempo significativamente menor e de maneira econômica.

Ao longo das décadas de 1960 e 1970 vários modelos de simulação de secagem foram difundidos e analisados, o modelo a ser usado para seguintes análises será o modelo de Hukill.

O presente trabalho objetiva determinar e modelar a cinética de secagem para o manjeriço (*Ocimum basilicum*) em três diferentes temperaturas (30, 35 e 40°C), com os teores de água iniciais de 22%, 45%, 62% e 80,5% b.u., selecionar os



melhores modelos que se ajustaram a estas curvas, e determinar e modelar o tempo de meia resposta das folhas de manjeriço.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais da Universidade Estadual de Goiás.

As folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum*) foram colhidas na cidade de Anápolis, Goiás, nas primeiras horas da manhã após não haver mais orvalho sobre suas superfícies. Na época de coleta das folhas não foi realizada a irrigação nem coletadas folhas após precipitações pluviométricas visando evitar variações no seu teor de água inicial. A coleta foi realizada de modo aleatório; posteriormente foram selecionadas folhas com ausência de partes danificadas e homogeneizadas com a finalidade de evitar qualquer tipo de interferência nos resultados.

As amostras de manjeriço, in-natura, foram transportadas em sacos de polipropileno à temperatura ambiente para o Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais, do Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis- Goiás.

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), e os tratamentos foram as temperaturas de 30, 35 e 40°C com três repetições.

O teor de água inicial do manjeriço foi determinado de acordo com a norma analítica de BRASIL (2009), em estufa a 105°C até peso constante, em três repetições.

As amostras foram secas em secador de camada fina nas temperaturas de 30, 35, 40°C. Os dados obtidos na secagem destes produtos foram ajustados aos modelos de cinética de secagem, Tabela 1, utilizando-se um software de análises estatísticas.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a cinética de secagem de produtos agrícolas.

Designação do Modelo	Modelo	
$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	Aproximação da Difusão	(4)
$RU = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Dois Termos	(5)
$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	Exponencial de Dois Termos	(6)
$RU = a \exp(-k t)$	Henderson e Pabis	(7)
$RU = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	Henderson e Pabis Modificada	(8)
$RU = a \exp(-k t) + c$	Logarítmico	(9)
$RU = a \exp(-k t^n) + b t$	Midilli	(10)
$RU = \exp(-k t)$	Newton	(11)
$RU = \exp(-k t^n)$	Page	(12)
$RU = \exp((-a - (a^2 + 4 b t)^{0.5}) / 2 b)$	Thompson	(13)
$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	Verma	(14)
$RU = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(15)

RU - razão de teor de água do produto, adimensional; t - tempo de secagem, h; k, k_0 , k_1 - constantes de secagem, h^{-1} , e a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

A razão de umidade foi estimada pela equação abaixo.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (16)$$

Em que: RU – razão de teor de água do produto, adimensional; U – teor de água do produto, decimal b.s.; U_i – teor de água inicial do produto, decimal b.s.; e U_e – teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

O melhor modelo para traçar as curvas de secagem do manjeriço foi selecionado utilizando-se os valores de P, SE e χ^2 , equações 15, 16 e 17.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (15)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (16)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_0)^2}{GLR} \quad (17)$$

Em que: Y – valor experimental; Y_0 – valor estimado pelo modelo; n – número de observações experimentais; e GLR – número de graus de liberdade do modelo.



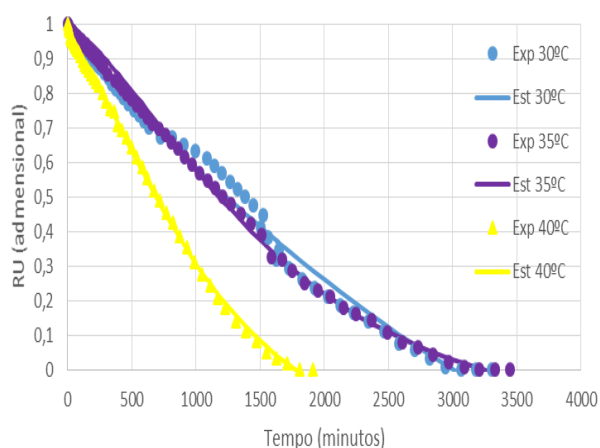
O critério de seleção dos estimadores estatísticos foi R^2 próximo de 1, $P < 10\%$, SE e χ^2 próximos de zero (MADAMBA et al., 1996).

Utilizando-se o melhor modelo para prever a cinética de secagem, foram estimados os tempos de meia resposta (H) em função da temperatura de secagem e do teor de água inicial do manjericão. Aos dados experimentais de tempo de meia resposta foram ajustados o modelo linear de regressão.

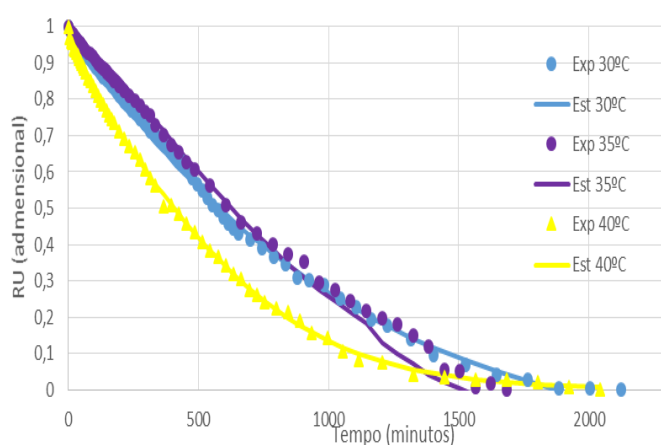
Resultados e Discussão

Na Figura 1 estão representados os gráficos com as curvas de secagem das diferentes temperaturas e teores de água estudados sendo eles: a) Teor de água de 80,5% b.u. b) Teor de água de 62% b.u. c) Teor de água de 45% b.u. d) Teor de água de 22% b.u. Onde a partir destas curvas foi possível observar que com o aumento das temperaturas de secagem houve uma diminuição do tempo de secagem.

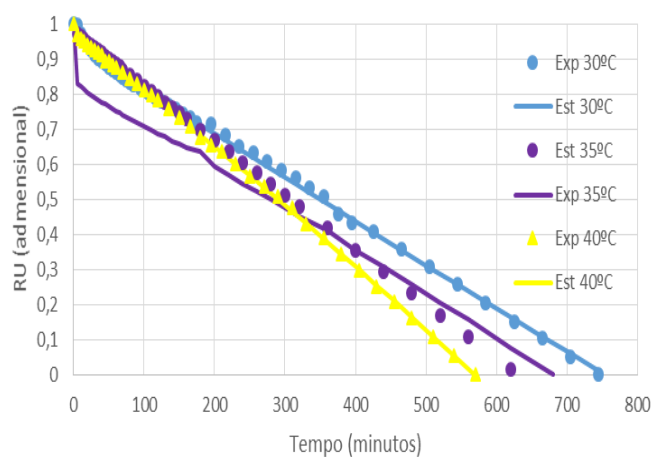
A Tabela 2 apresenta os modelos matemáticos que melhor foram ajustados para as curvas de secagem e os coeficientes para as temperaturas e umidades estudadas. Nota-se que para a temperatura de 30°C na umidade de 80,5% o melhor modelo foi o Logarítmico e para as umidades de 62%, 45% e 22% o melhor modelo foi o de Midilli. Para a temperatura de 35°C o melhor modelo para todas as umidades foi o modelo de Midilli. E para a temperatura de 40°C os modelos que melhor se ajustaram foram o Logarítmico para as umidades de 80,5% e 22%, e o modelo de Henderson e Pabis modificada nas umidades de 62% e 45%.



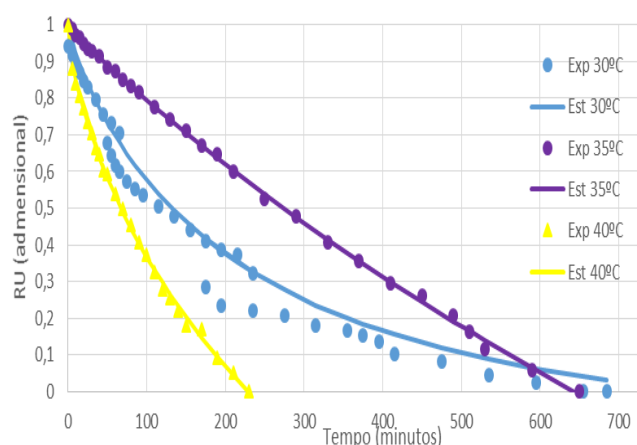
a)



b)



c)



d)

Figura 1 – Curvas de secagem estimadas (Est) e experimentais (Exp) nas temperaturas de 30, 35 e 40°C. Nos teores de água de a) Teor de água de 80,5% b.u.; b) Teor de água de 62% b.u.; c) Teor de água de 45% b.u.; d) Teor de água de 22% b.u.

Tabela 2 – Erro relativo (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro médio estimado (SE), teste do qui-quadrado (X^2) para o melhor modelo de secagem que melhor se ajustou as temperaturas de 30°C, 35°C e 40°C para as umidades de 22%, 45%, 62% e 80,5%.

Temperatura 30°C				
Teor de água (%b.u.)				
	80,5	62	45	22
Modelo	Logarítmico	Midilli	Midilli	Midilli
R^2	0,996	0,999	0,999	0,993
P	7,808	2,286	1,814	7,869
Se	0,224	0,082	0,077	0,225
X^2	0,050	0,007	0,006	0,050

Temperatura 35°C				
Teor de água (%b.u.)				
	80,5	62	45	22
Modelo	Midilli	Midilli	Midilli	Midilli
R^2	0,986	0,995	0,999	0,999
P	8,437	8,126	0,682	1,982
Se	0,479	0,245	0,036	0,169
X^2	0,229	0,060	0,001	0,028

Temperatura 35°C				
Teor de água (%b.u.)				
	80,5	62	45	22
Modelo	Logarítmico	Henderson e Pabis modificado	Henderson e Pabis modificado	Logarítmico
R^2	0,999	0,999	0,996	0,997
P	3,300	3,792	4,747	2,930
Se	0,089	0,057	0,186	0,091
X^2	0,008	0,003	0,034	0,008

A Tabela 3 apresenta os tempos de meia resposta para as temperaturas e umidades estudadas. Nota-se que os tempos de meia resposta aumentaram de acordo com o aumento do teor de água inicial, e diminuiram com o aumento da temperatura.

TABELA 3 – Valores de tempo de meia resposta (H) para as temperaturas de 30, 35 e 40°C nas umidades iniciais de campo estudadas.

Teor de água (%b.u.)	RU	H (minutos)		
		30°C	35°C	40°C
80,5	0,50000	1384,24	1187,30	704,41
	0,25000	1833,18	1761,79	1088,46
	0,12500	2413,42	2345,74	1357,34
	0,06250	2682,18	2587,69	1524,50
	0,03125	2832,38	2793,43	1650,23
62	0,50000	664,79	617,34	406,58
	0,25000	1083,34	1066,63	726,49
	0,12500	1398,26	1375,51	1023,00
	0,06250	1530,46	1439,26	1252,92
	0,03125	1699,69	1531,03	1526,95
45	0,50000	350,37	316,13	295,92
	0,25000	505,90	465,84	386,63
	0,12500	645,73	548,35	472,63
	0,06250	695,43	584,88	506,53
	0,03125	719,82	602,44	523,32
22	0,50000	149,69	139,58	69,33
	0,25000	233,07	223,33	123,26
	0,12500	485,58	436,98	181,60
	0,06250	624,04	567,35	205,40
	0,03125	643,77	634,79	218,31

A equação (20) do tempo de meia resposta ajustada para os valores experimentais do manjeriço, e o coeficiente de determinação ajustado são apresentados a seguir.

$$H = \exp(4,01554 + 0,06230 \cdot U + 0,00336 \cdot T - 0,00077 \cdot U \cdot T) \quad R^2 = 0,99 \quad (20)$$

Considerações Finais

De acordo com os dados obtidos foi possível concluir que: (a) os melhores modelos matemáticos foram, para a temperatura de 30°C, Midilli (62%, 45% e 22% b.u.) e Logarítmico (80,5% b.u.); para a temperatura de 35°C Midilli (80,5%, 62%, 45% e 22% b.u.); e para a temperatura de 40°C, Logarítmico (80,5% e 22% b.u.) e Henderson e Pabis modificada (62% e 45% b.u.). (b) Os tempos de meia resposta (H) apresentam comportamento inversamente proporcional ao aumento da



temperatura de secagem e comportamento diretamente proporcional ao aumento do teor de água.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Goiás (UEG) pela oportunidade de participar deste projeto e apoio financeiro oferecido por meio da bolsa.

Referências

GRIGLIONE, A.; LIBERTO, E.; CORDERO, C.; BRESSANELLO, D.; CAGLIERO, C.; RUBIOLO, P.; BICCHI, C.; SGORBINI, B. High-quality Italian rice cultivars: Chemical indices of ageing and aroma quality. **Food Chemistry**, Washington, v. 172, p. 305–313, 2015.

MATHURE, S. V.; JAWALI, N.; THENGANE, R. J.; NADAF, A. B. Comparative quantitative analysis of headspace volatiles and their association with BADH2 marker in non-basmati scented, basmati and non-scented rice (*Oryza sativa* L.) cultivars of India. **Food Chemistry**, Washington, v. 142, p. 383–391, 2014.

TANANUWONG, K.; LERTSIRI, S. Changes in volatile aroma compounds of organic fragrant rice during storage under different conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Amsterdam, v. 90, p. 1590-1596, 2010.