

Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar¹

Drying of *Mentha piperita* leaves on a fixed bed at different temperatures and air velocities

Priscila Pigatto Gasparin^{2*}, Divair Christ³ e Silvia Renata Machado Coelho³

RESUMO - A espécie *Mentha piperita*, conhecida popularmente como hortelã pimenta além de ser uma planta medicinal, é utilizada nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética. Desta forma, o processo de secagem se faz necessário para aumentar o tempo de conservação e vida útil do produto facilitando seu transporte, manuseio e armazenamento. Para que os derivados do hortelã tenham qualidade, é necessário estudos sobre a pré e a pós-colheita. Objetivou-se neste estudo a avaliação de secagem, e para a obtenção das curvas foram utilizadas as temperaturas no intervalo de 30 a 70 °C com variação da velocidade do ar de secagem 0,3 e 0,5 m.s⁻¹. Para a realização da secagem das folhas, foi utilizado um secador de leito fixo em escala de laboratório, que possui um ventilador para a movimentação do ar e sistema de aquecimento. Os resultados evidenciaram que o modelo de Midilli é o que melhor se ajusta aos dados experimentais. A relação do coeficiente de difusão com a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, apresentando uma energia de ativação para velocidade 0,3 m.s⁻¹ 68,42 KJ mol⁻¹ e para velocidade 0,5 m.s⁻¹ 78,27 KJ mol⁻¹.

Palavras-chave: Planta medicinal. Cinética de secagem. Modelagem matemática.

ABSTRACT - The species *Mentha piperita*, popularly known as peppermint, is not only a medicinal plant but is also used in the pharmaceutical, food and cosmetic industries. Consequently, the drying process is necessary to increase shelf and product life, facilitating transport, handling and storage. For mint derivatives of quality, work into pre- and post-harvest is necessary. The aim of this study was to evaluate drying. To obtain the curves, temperatures in the range of 30 °C to 70 °C were used, with drying air velocity varying between 0.3 and 0.5 m.s⁻¹. For drying the leaves, a laboratory-scale, fixed bed dryer was used, having a fan to move the air and a heating system. The results showed that the Midilli model best fit the experimental data. The relationship of the diffusion coefficient to the drying temperature can be described by the Arrhenius equation, giving an activation energy of 68.42 KJ mol⁻¹ for a velocity of 0.3 m.s⁻¹, and 78.27 KJ mol⁻¹ for a velocity of 0.5 m.s⁻¹.

Key words: Medicinal plant. Drying kinetics. Mathematical modelling.

DOI: 10.5935/1806-6690.20170028

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 01/10/2015; aprovado em 02/08/2016

¹Trabalho extraído de Dissertação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Unioeste, com apoio financeiro da CAPES

²Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, Avenida Brasil, 4232, Medianeira-PR, Brasil, 85.884-000, matematicapri@gmail.com

³Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná/UNIOESTE, Cascavel-PR, Brasil, divair.christ@unioeste.br, silvia.coelho@unioeste.br

INTRODUÇÃO

O hortelã pimenta, do gênero *Mentha*, pertence à família *Lamiaceae*; é uma planta distribuída em todo o mundo, tendo como centro de origem a Europa meridional e a região do Mediterrâneo. Além de suportar temperaturas baixas, também se adapta ao clima tropical. Possui, folhas, pecioladas e pubescentes, com flores de coloração lilás ou branca, reunidas em espigas nas axilas das folhas (MATTOS, 2000).

A *Mentha* é usada para fins medicinais; além disso, é rica em fonte de mentol, apresentando várias aplicações industriais, como em produtos de higiene bucal, flavorizantes, aromatizantes de alimentos e bebidas, na perfumaria, confeitaria e produtos farmacêuticos (DOMIJAN *et al.*, 2005).

De acordo com Hertwig (1986), a secagem de plantas medicinais e aromáticas tem por objetivo retirar um percentual elevado de água livre das células e dos tecidos, impedindo os processos de degradação enzimática e proporcionando a sua conservação, com manutenção da qualidade em composição química, pelo período de tempo necessário para que se obtenha nova safra. A questão da alta sensibilidade do princípio biologicamente ativo e sua preservação no produto final é, sem dúvida, o maior problema na secagem e no armazenamento de plantas medicinais e aromáticas.

Estudos de sistemas de secagem, otimização dimensionamento e determinação da viabilidade da aplicação comercial podem ser feitos por simulação matemática (BERBERT *et al.*, 1995; BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992). A modelagem matemática do sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas possibilita analisar e determinar o comportamento do secador, procurando preservar as características naturais das plantas e buscar uma alta eficiência durante a secagem (PRATES *et al.*, 2007). De acordo com Resende *et al.* (2008), as curvas de secagem em camada delgada variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita entre outros fatores; nesse sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas.

A utilização de modelos matemáticos para prever o fenômeno de secagem em diversos produtos, incluindo plantas medicinais, tem sido objeto de diversos estudos (CORRÊA *et al.*, 2007; GONELI *et al.*, 2014; MARTINAZZO *et al.*, 2010; PONTES *et al.*, 2009; PRATES *et al.*, 2012; RESENDE *et al.*, 2008; SILVA; PARK; MAGALHÃES, 2007). Os modelos utilizados são teóricos, empíricos e semi-empíricos.

De acordo com o exposto, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar a secagem das folhas de hortelã pimenta e obter curvas de secagem por meio da modelagem matemática.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenagem e Protótipos de Instalações de Secagem (LAPIS), do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) em Cascavel-PR. Foram utilizadas plantas de *Mentha piperita* cultivadas sob o sistema orgânico, com transplante em 20/06/2011 e colheita aos 86 ± 1 dia.

As folhas do hortelã pimenta foram colhidas com um teor de umidade de, aproximadamente, 23% (b.s) acondicionados em sacos plásticos e armazenados na BOD à temperatura de 5 °C. Antes de cada experimento de secagem, as amostras foram retiradas da BOD e mantidas a temperatura ambiente, por cerca de 40 minutos, visando homogeneizar a temperatura.

Para a secagem das folhas, utilizou-se um secador de camada fixa (Figura 1) em escala de laboratório, dotado de um ventilador de fluxo axial. Na parte superior do secador foram colocadas três bandejas quadradas perfuradas, removíveis com área de 361 cm², e malha de 2,75 mm. O secador é constituído por um ventilador centrifugo de 1 cV. Para o aquecimento do ar foram utilizadas três resistências elétricas, sendo duas ligadas diretamente na rede de energia e a terceira ligada a um controlador responsável pelo seu acionamento quando a temperatura de secagem estiver abaixo ou acima do valor especificado. As temperaturas utilizadas foram de 30 a 70 °C, com intervalo de 10 °C, com variação da velocidade do ar de 0,30 m.s⁻¹ e 0,50 m.s⁻¹. A umidade relativa do ar foi monitorada, através de um psicrômetro.

Durante a secagem foram realizadas pesagens periódicas, até se atingir o teor de umidade final de 0,11 b.s.

As curvas de secagem foram ajustadas a partir de dados experimentais, utilizando-se diferentes modelos empíricos e semi-empíricos, conforme a Tabela 1.

Para o cálculo da razão de umidade (RU), durante as secagens nas diferentes temperaturas, foi utilizada a Eq. 12.

Figura 1 - Secador de camada fixa, utilizado na determinação das curvas de secagem, com dimensões em centímetro

A - Ventilador

B - Tubo PVC

C - Caixa metálica com resistência

D - Bandejas

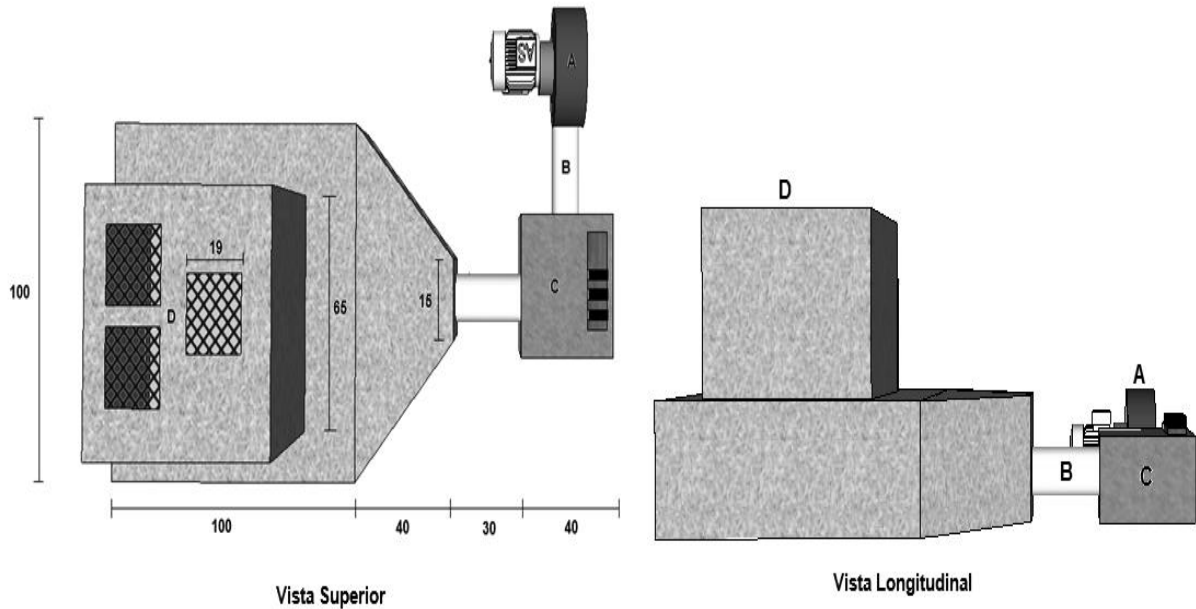


Tabela 1 - Modelos de regressão não-linear utilizados para prever o fenômeno de secagem em camada delgada de folhas de *Mentha piperita*

Designação do Modelo	Modelo	Equação
Modelo de Page	$RU = \exp(-k.t^n)$	(01)
Modelo de Henderson e Pabis	$RU = a.\exp(-k.t)$	(02)
Modelo Midilli	$RU = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	(03)
Modelo de Wang e Sing	$RU = 1 + a.t + bt^2$	(04)
Modelo de Page Modificado	$RU = \exp[-(k.t)^n]$	(05)
Modelo de Newton	$RU = \exp(-k.t)$	(06)
Modelo de logarítmico	$RU = a.\exp(-k.t) + c$	(07)
Modelo de Henderson & Pabis Modificado	$RU = a.\exp(-k.t) + b.\exp(-k_o.t) + c.\exp(-k_p.t)$	(08)
Modelo de Exponencial de dois termos	$RU = a.\exp(-k.t) + (1 - a)\exp(-k.a.t)$	(09)
Modelo de dois termos	$RU = a.\exp(-k_o.t) + b.\exp(-k_p.t)$	(10)
Modelo de Aproximação da difusão	$RU = a.\exp(-k.t) + (1 - a)\exp(-k.b.t)$	(11)

Fonte: Madamba; Driscoll; Buckle, (1996), Doymaz, (2004), Mohapatra e Rao, (2005)

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (12)$$

Em que: RU é a razão de umidade (adimensional); U é o teor de água do produto, decimal b.s.; U_i é o teor de água

inicial do produto, decimal b.s.; U_e é o teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

Determinou-se a umidade de equilíbrio higroscópico (U_e) pela Eq. 13, proposta por Corrêa *et*

al. (2002) para plantas medicinais, com seus parâmetros determinados pelo processo de dessecamento.

$$U_e = \frac{1}{aT^b + UR^c} \quad (13)$$

Em que: T é a temperatura do ar de secagem (°C); UR é a umidade relativa do ar (decimal); a, b, c são constantes que dependem da natureza do produto.

Para o ajuste dos modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais, foi realizada a análise de regressão não linear, pelo método Simplex e Quase - Newton, utilizando-se o software STATISTICA 7.0 (STATSOFT INC, 2007) e para melhorar o ajuste dos modelos utilizou-se o software Excel ferramenta Solver. O grau de ajuste para cada condição (temperatura x velocidade) foi considerado com um nível de 5% de significância para o coeficiente de regressão utilizando o teste t, sendo os valores dos parâmetros dos modelos estimados em função da temperatura do ar de secagem.

Os dados experimentais foram comparados com os valores estimados para cada modelo pelo erro médio relativo (P) e erro médio estimado (ε), conforme Eq. 14. e Eq.15. (CORRÊA *et al.*, 1998):

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (14)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (15)$$

Em que: Y é o valor observado experimentalmente; Y_0 é o valor calculado pelo modelo; GLR são os graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais).

Os modelos foram selecionados pela magnitude do coeficiente de determinação (R^2), e pela a magnitude do erro médio relativo e estimado (CORRÊA *et al.*, 2002, CORRÊA *et al.*, 2006).

O coeficiente de difusão efetivo foi obtido pelo ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrito pela Eq.16, aos dados experimentais da secagem da hortelã-pimenta. Esta equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando-se a forma geométrica do produto como aproximação a uma placa plana, uma vez que a folha da hortelã-pimenta lembra um plano (BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992).

$$RU = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 Def \frac{t}{4L^2}\right] \quad (16)$$

Em que: Def é o coeficiente de difusão efetivo, m^2s^{-1} ; t é o tempo de secagem (h); L é a espessura do produto

(mm). No caso da hortelã-pimenta: $L = 0,241$ mm, medido em paquímetro digital.

A solução analítica dessa equação apresenta-se na forma de uma série infinita e, portanto, o número finito de termos (n) no truncamento poderá determinar a precisão dos resultados. Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, utilizou-se a Equação de Arrhenius, descrita na Eq. 17.

$$Def = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (17)$$

Em que: D_0 é o fator pré-exponencial (m^2s^{-1}); E_a é a energia de ativação ($J mol^{-1}$); R é a constante universal dos gases ($8,314 J mol^{-1} K^{-1}$); T_a é a temperatura absoluta (K).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os modelos avaliados para descrever o fenômeno da secagem das folhas de hortelã, verificou-se que a equação de Midili, foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais, tanto para o experimento com velocidade a $0,3 m.s^{-1}$, quanto para $0,5 m.s^{-1}$. Os valores do erro médio relativo (P%) e o erro médio estimado (ε), para a velocidade $0,3 m.s^{-1}$ variaram entre 9,82 a 154,41 e 0,090 a 0,100 respectivamente; já para a velocidade $0,5 m.s^{-1}$, os valores variaram entre 7,74 a 111,54 e 0,011 a 0,0980 respectivamente, para todos os modelos analisados. De modo particular para o modelo Midili, encontraram-se os seguintes resultados para o erro médio relativo (P%) e o erro médio estimado (ε), para a velocidade $0,3 m.s^{-1}$ 9,82 a 58,99 e 0,090 a 0,0610, respectivamente, e para a velocidade $0,5 m.s^{-1}$, obteve 7,74 a 70,34 e 0,011 a 0,029, respectivamente. A equação também apresentou elevados valores do coeficiente de determinação (R^2), estando para todos os tratamentos acima de 98%.

Radünz *et al.* (2011), em seus estudos sobre a avaliação da cinética da secagem da carqueja, utilizaram modelos matemáticos para descrever o fenômeno da secagem e observaram que o modelo Midili foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para a secagem com temperaturas entre 40 a 90 °C. Martinazzo *et al.* (2007), avaliaram as características da secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf em camada delgada, para a faixa de temperatura de 30 a 60 °C, e concluíram que o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando o maior coeficiente de determinação e menor erro médio estimado. Os parâmetros do modelo Midili estão descritos na Tabela 2.

Para o modelo de Midilli é possível observar que a constante de secagem, k , e os coeficientes n ,

Tabela 2 - Coeficientes do modelo Midilli obtido nos diferentes tratamentos de secagem de folhas de *Mentha piperita*

Velocidade do ar (m.s ⁻¹)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Coeficientes do modelo			
		a	k	n	b
0,3	30	0,99707	0,07153	0,26584	-0,0011
	40	0,99982	0,11508	0,5262	-0,0012
	50	1,00001	0,14167	0,59151	-0,0012
	60	1,00579	0,20285	0,9813	-0,0015
	70	1,00611	0,209	1,00012	-0,0044
0,5	30	0,9915	0,01562	0,6834	-0,0002
	40	0,99995	0,0367	0,76455	-0,0003
	50	0,99996	0,05735	0,78734	-0,0004
	60	1,0021	0,13675	0,92361	-0,0022
	70	1,01387	0,33136	0,96079	-0,0035

a; k; n; b coeficientes do modelo ajustados por regressão não linear, método Simplex e Quase - Newton

a, aumentaram com o aumento da temperatura; já o coeficiente **b** diminuiu com o aumento da temperatura. Martinazzo *et al.* (2007) em seu experimento com a secagem do capim limão observaram que a constante de secagem **k** e o coeficiente **n** aumentaram com o aumento da temperatura, o que está de acordo com os dados encontrados.

A constante **k** pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva no processo

da secagem no período decrescente (BABALIS; BELESSIOTIS, 2004; MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE, 1996).

As Figuras 2 e 3 apresentam o bom ajuste do modelo de Midilli na descrição dos resultados experimentais e o cálculo da razão de umidade em função do tempo de secagem.

As curvas apresentadas nas Figuras 2 e 3 demonstram para todas as temperaturas que o teor de

Figura 2 - Dados observados e estimados pelo modelo de Midilli para descrever a curva de secagem do hortelã pimenta para diferentes temperaturas e para a velocidade de 0,3 m.s⁻¹

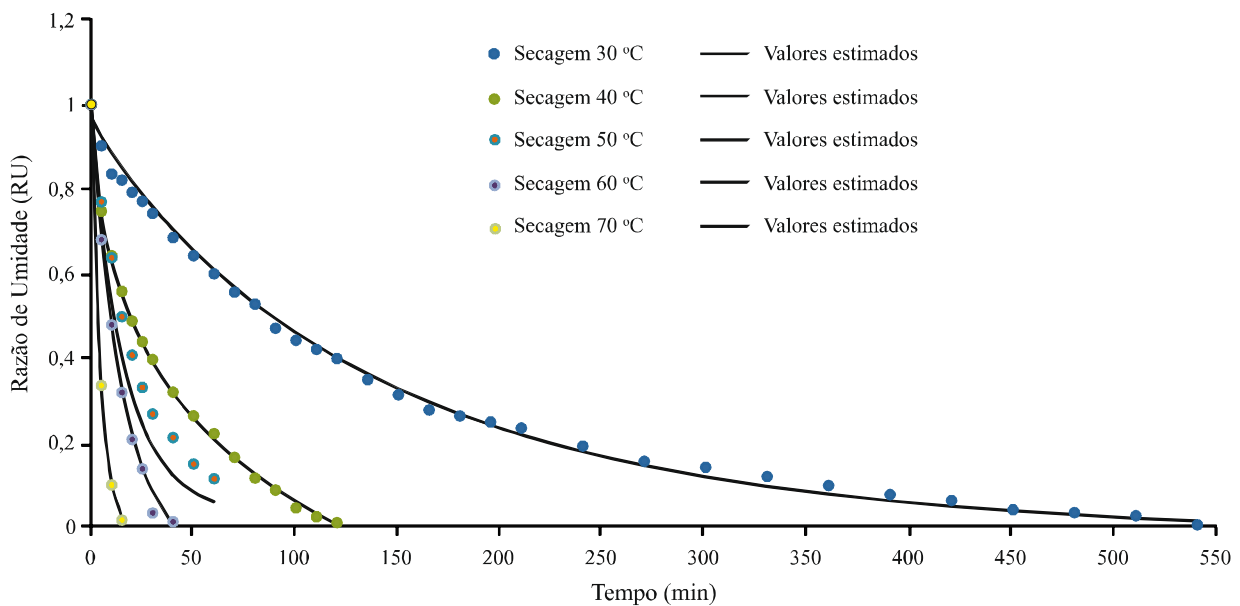
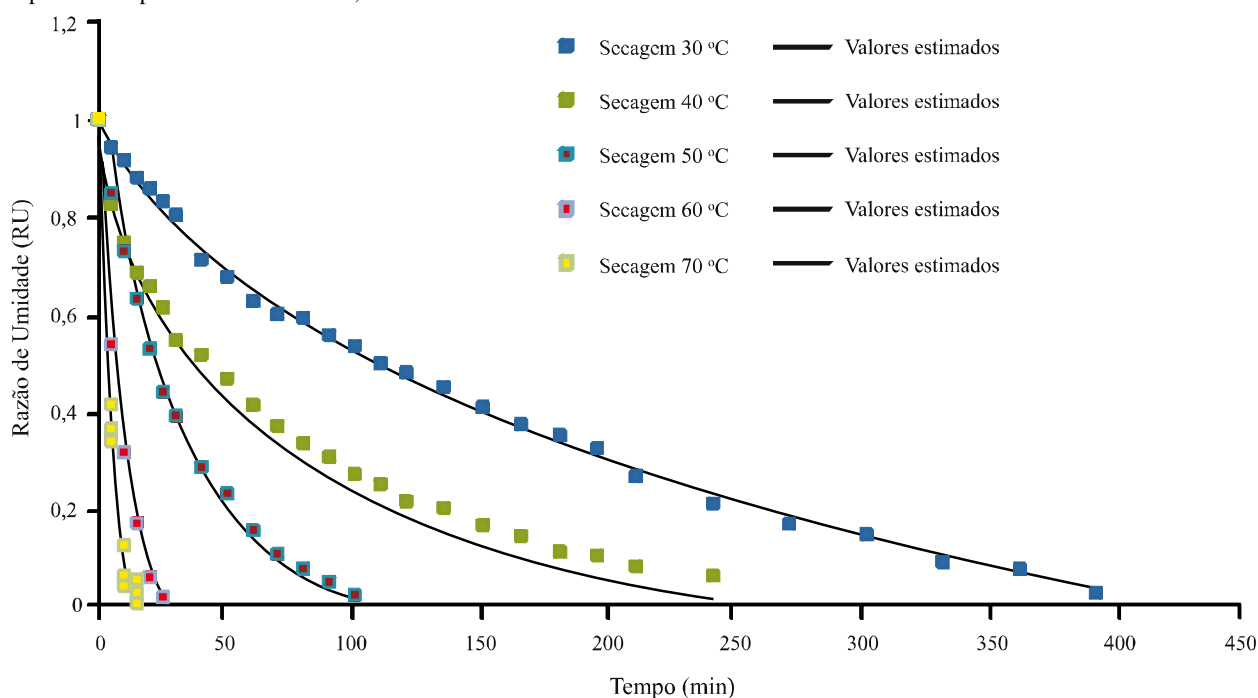


Figura 3 - Dados observados e estimados pelo modelo de Midili para descrever a curva de secagem do hortelã pimenta para diferentes temperaturas e para a velocidade de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$



umidade existente no início do processo de secagem é exponencialmente reduzido até alcançar o teor de umidade de equilíbrio. Este comportamento demonstra a inexistência do período de secagem constante, assim o processo de secagem do produto aconteceu apenas no período decrescente de secagem, sendo controlada pela difusão interna do líquido até a superfície onde acontece a evaporação. Estes resultados estão de acordo com os trabalhos realizados sobre a secagem de diversos produtos como folhas de menta (DOYMAZ, 2006) e folhas de aroeira (GONELI *et al.*, 2014).

Observou-se que o tempo de secagem depende da temperatura, além disso, a perda do conteúdo de umidade é mais rápida no início do processo de secagem. Com relação à temperatura tem-se que, quanto mais elevada, maior é a taxa de secagem, ou seja, para a temperatura de 70 °C obteve-se uma taxa de secagem de $0,00041$ para a velocidade $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ e $0,00069$ para a velocidade $0,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Analisando as curvas de secagem observou-se que a cinética de secagem foi fortemente influenciada pela temperatura, ou seja, a aplicação da temperatura mais elevada reduz, significativamente, o tempo necessário para secar as folhas de hortelã pimenta. De acordo com Dias, Souza e Alsina (2012), a temperatura possui grande influência na cinética de secagem, como

observado para as folhas de hortelã, bem como a velocidade do ar de secagem.

Segundo Vilela e Artur (2008), as informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos, e para o dimensionamento de equipamentos; com elas pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos e com o tempo necessário para a produção, estima-se o gasto energético que refletirá no custo de processamento e, por sua vez, influenciará no preço final do produto. No dimensionamento de equipamentos podem-se determinar as condições de operação para secagem e, com isto, a seleção de trocadores de calor, ventiladores e outros.

A Tabela 3 mostra o tempo de duração da secagem nas diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem.

Nota-se que o maior tempo de secagem ocorreu a 30 °C , para a velocidade de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$, em relação as demais temperaturas; desta forma houve efeito decrescente no tempo de secagem à medida que ocorre o aumento na temperatura do ar. Segundo Silva, Afonso e Guimarães (1995), isto se deve ao aumento do potencial de secagem em decorrência do aumento da temperatura do ar, ocasionando diminuição da umidade relativa do ar de secagem.

Tabela 3 - Tempo de secagem para cada temperatura em diferentes velocidades do ar de secagem

Temperatura °C	Velocidade do ar ms ⁻¹		Diferença relativa (%)
	0,3	0,5	
	Tempo (segundos)		
30	32.400	24.600	0,960
40	7.200	14.400	1,450
50	3.600	5.820	3,787
60	2.400	1.500	1,343
70	720	720	1,258

Ao aumentar a temperatura do ar, reduziu-se o tempo de secagem; o mesmo ocorreu com o aumento da velocidade do ar de secagem, com exceção para as temperaturas de 40 e 50 °C, em que o efeito foi inverso. A causa para o tempo de secagem ser maior na velocidade de 0,5 m.s⁻¹ nestas temperaturas pode ser atribuída ao fato do secador não dispor de sistema de controle da umidade relativa do ar de secagem, para que se mantivesse constante durante os ensaios.

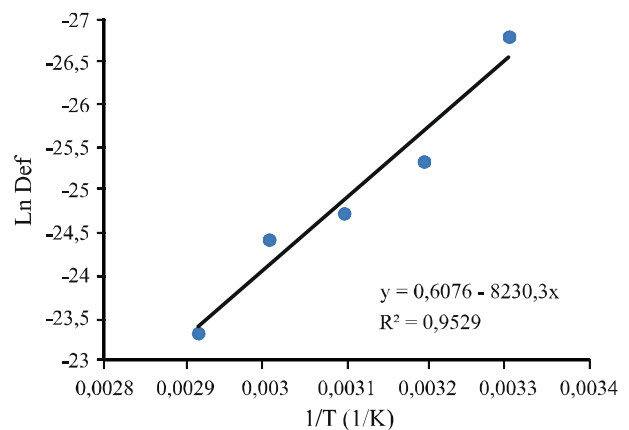
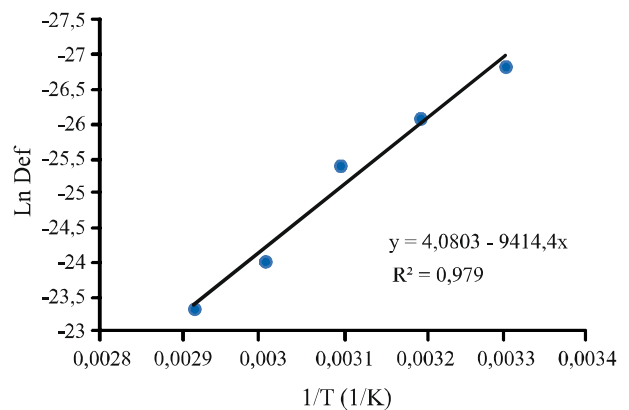
Diversos trabalhos relacionados à secagem têm apresentado a redução no tempo de secagem em virtude do aumento da temperatura do ar. Foram observados em experimentos de secagem realizados por Silva *et al.* (2015) com folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.), em que foram submetidas a temperaturas de secagem de 35,3 °C, 46,0 °C e 65,0 °C, com tempo de secagem de respectivamente, 91,12 horas, 62,5 horas e 24,2 horas.

Com relação aos valores da difusividade efetiva (Def), notou-se que aumentaram com a elevação da temperatura de secagem, variando para a velocidade 0,3 m.s⁻¹, de $2,2823 \cdot 10^{-12}$ a $7,4601 \cdot 10^{-11}$ e para a velocidade 0,5 m.s⁻¹ a variação do coeficiente foi de $2,2395 \cdot 10^{-12}$ a $7,4601 \cdot 10^{-11}$.

Nas Figuras 4 e 5 pode-se visualizar os valores de Def, apresentados na forma de “ln Def”, descritos em função do recíproco da temperatura absoluta (1/T).

O ajuste linear obtido indica que houve uniformidade de variação do coeficiente de difusividade em função da temperatura. O valor do coeficiente de difusividade determinado para a temperatura de 70 °C foi superior às demais, para ambas as velocidades de secagem. Segundo Goneli *et al.* (2008), o fato do valor do coeficiente de difusividade ser maior é explicado em razão da vibração molecular de água. Para estes autores, a variação do coeficiente de difusão efetiva se dá com a elevação da temperatura, o que aumenta

o nível de vibração molecular das moléculas de água contribuindo para uma difusão mais rápida.

Figura 4 - Efeito da temperatura, segundo o modelo de Arrhenius, na secagem da hortelã-pimenta, utilizando velocidade do ar de secagem de 0,3 m.s⁻¹ e temperaturas de 30 a 70 °C**Figura 5** - Efeito da temperatura, segundo o modelo de Arrhenius, na secagem da hortelã-pimenta, utilizando velocidade do ar de secagem de 0,5 m.s⁻¹ e temperaturas de 30 a 70 °C.

CONCLUSÕES

1. A secagem do hortelã pimenta até o teor de água na faixa de 0,11 a 0,13 (decimal b.s) é obtida em 720 segundos, com o ar de secagem nas condições de 70 °C e velocidade de 0,3 a 0,5 m.s⁻¹;
2. O modelo matemático que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais foi o modelo de Midilli;
3. O coeficiente de difusão aumenta com a elevação da temperatura, apresentando valores entre 2,23 x 10⁻¹² a 7,40 x 10⁻¹¹, para a faixa de temperatura de 30 a 70 °C, respectivamente;
4. A relação do coeficiente de difusão com a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a velocidade de 0,3 m.s⁻¹ de 68,42 KJ mol⁻¹ e para velocidade 0,5 m.s⁻¹ 78,27 KJ mol⁻¹.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro indispensável na execução do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-58, 2004.
- BERBERT, P. A. *et al.* Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, n. 3, p. 167-73, 1995.
- BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book Publication, 1992. 450 p.
- CORRÊA, P. C. *et al.* Modelo matemático para representação da higroscopicidade de plantas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 27, n. 1, p. 08-15, 2002.
- CORRÊA, P. C. *et al.* Equilíbrio higroscópico de milho, alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.
- CORRÊA, P. C. *et al.* Curvas de dessecamento e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 75-79, 1998.
- CORRÊA, P. C. *et al.* Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-507, maio/ago., 2007.
- DIAS, R. A. L.; SOUZA, P. S.; ALSINA, O. L. S. Efeito da temperatura de secagem sobre o rendimento na extração de taninos totais e óleos essenciais da hortelã (*Mentha x villosa Hudson*). **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 93, p. 431-438, 2012.
- DOMIJAN, A. M. *et al.* Seed borne fungi and ochratoxina: a contamination of dry beans (*Phaseolus vulgaris L.*). **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, n. 3, p. 427-432, 2005.
- DOYMAZ, I. Drying kinetics of White mulberry. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 341-346, 2004.
- DOYMAZ, I. Thin-layer drying behavior of mint leaves. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 3, p. 370-375, 2006.
- GONELI, A. L. D. *et al.* Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 33, p. 148-155, 2008.
- GONELI, A. L. D. *et al.* Modelagem matemática e difusividade efetiva das folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária e Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, jan./mar., 2014.
- HERTWIG, I. F. V. **Plantas aromáticas e medicinais**. 1. ed. São Paulo: Ícone, 1986. 449 p.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 75-97, 1996.
- MARTINAZZO, A. P. *et al.* Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, jun., 2007.
- MARTINAZZO, A. P. *et al.* Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus (D. C.) Stapf*]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 12, n. 4, p. 488-498, 2010.
- MATTOS, S. H. Perspectivas do cultivo de plantas medicinais para a fitoterapia no Estado do Ceará. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 45-46, 2000.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model for parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.
- PONTES, S. F. O. *et al.* Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense*) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 143-148, 2009.
- PRATES, M. F. O. *et al.* Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012.
- PRATES, M. O. *et al.* Modelagem matemática de um sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, n. 2, p. 96-108, abr./jun., 2007.

RADÜNZ, L. L. *et al.* Avaliação da cinética de secagem da carqueja. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 1, jan./fev., 2011.

RESENDE, O. *et al.* Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

SILVA, F.; PARK, K. J.; MAGALHÃES, P. M. Isotermas de desorção de *Calendula officinalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 9, n. 1, p. 21-28, 2007.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. Estudos dos métodos de secagem. In: SILVA, J. S. **Pré-**

processamento de produtos agrícolas. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. p. 105-143 p.

SILVA, L. A. *et al.* Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de Jenipapo (*Genipa americana*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 953-963, 2015. Suplemento 2.

STATSOFT INC. **Statistics for Windows** (computer program manual). Tulsa, OK, 2007.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 387-394, 2008.