

**Cinética de secagem de folhas de boldo (*Plectranthus barbatus*)**

**ROBERTO MOREIRA GOMES FILHO<sup>1</sup>, MEIRYELLEN ALVES DE MELO<sup>2</sup>,  
JAYKSON DOS SANTOS SANTANA<sup>3</sup>, IVANO ALESSANDRO DEVILLA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, CCET/UEG, Anápolis-GO, robmoreirafilho@gmail.com

<sup>2</sup> Graduanda em Eng. Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, CCET/UEG Anápolis-GO, meiryellenalves79@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Eng. Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, CCET/UEG, Anápolis-GO, jaykonsantos@gmail.com

<sup>4</sup> Eng.º Agrícola, Prof. Titular, Universidade Estadual de Goiás, CCET/UEG, Anápolis-Goiás, devilla@ueg.br

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** As plantas medicinais estão se tornando cada vez mais atrativas no mercado brasileiro. No entanto, o boldo (*Plectranthus barbatus*) apresenta um alto teor de água, o que minimiza o tempo de armazenamento. A secagem é uma técnica que visa reduzir o teor de água, possibilitando a armazenagem por longo tempo. Assim, objetivou-se determinar e modelar a cinética de secagem de folhas de boldo (*Plectranthus barbatus*,) nas temperaturas de secagem de 45 e 55 °C, em secador de leito fluidizado. As folhas foram cortadas no formato circular com diâmetro de 0,03m e secas até atingirem o equilíbrio higroscópico com ar de secagem. Foram ajustados modelos de secagem utilizando-se o programa *Statistica 12.0*<sup>®</sup>. O grau de ajuste dos modelos aos dados experimentais foi avaliado com base na função da magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), da magnitude do erro médio relativo (P) e o do erro médio da estimativa (SE). Conclui-se que os modelos de Logaritmo e Wang e Sing apresentaram melhores resultados para as temperaturas de secagem de 45 e 55 °C, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** cinética de secagem, dessecção, modelagem matemática.

**Kinetics of drying of boldo leaves (*Plectranthus barbatus*)**

**ABSTRACT:** Due to their versatile capabilities, medicinal plants are becoming increasingly attractive in the Brazilian market. However, boldo (*Plectranthus barbatus*), and other plant species, have a high water content, which minimizes storage time. Drying is a technique aimed at reducing the water content, enabling long-term storage. Thus, the objective was to determine and model the drying kinetics of boldo (*Plectranthus barbatus*) leaves at drying temperatures of 45 and 55 °C, in a fluidized bed dryer. The leaves were cut into circular shapes with a diameter of 0.03m and dried until reaching hygroscopic equilibrium with drying air. Drying models were adjusted using nonlinear regression, by the Gauss-Newton method, using the *Statistica 12* program. The fit of the models to the experimental data was evaluated based on the magnitude of the coefficient of determination ( $R^2$ ), the magnitude of the mean relative error (P), and the mean estimate error (SE). It was concluded that the Logarithmic and Wang and Sing models showed better results for fitting the data at drying temperatures of 45 and 55 °C, respectively.

**KEYWORDS:** drying kinetics, desorption, mathematical modeling.

**INTRODUÇÃO:** Plantas medicinais e aromáticas são a principal matéria-prima de grande parte de indústrias de alimentos, cosmética e farmacêutica. Seu uso é atribuído tanto ao baixo custo da medicina caseira quanto às propriedades terapêuticas dos princípios ativos presentes nelas (GONELI et al., 2014a). O boldo, independente da parte da planta, geralmente apresenta elevado teor de água, sendo o principal responsável pela má conservação pós-colheita do produto, uma vez que a água desempenha um papel importante nas atividades metabólicas e nas mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (GONELI et al., 2014b). Nesse contexto, a secagem surge como um processo intrínseco, objetivando a manutenção de sua qualidade, bem como a manutenção de seus compostos que irão ser utilizados na produção de fitoterápicos. É fundamental que as plantas medicinais tenham imediatamente seu teor de água reduzido após a colheita (RESENDE et al., 2011). Para atender essa demanda faz-se necessário a secagem da matéria prima e o seu posterior armazenamento para que seja possível ter material disponível para ser processado por um determinado período (GONÇALVES, 2017). Em face do exposto, este trabalho visa determinar e modelar a cinética de secagem de folhas de boldo nas temperaturas de 45 e 55 C em secador de leito fluidizado.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás (UEG), em Anápolis-GO. Foram utilizadas folhas de boldo colhidas, nas proximidades de Terezópolis de Goiás, em uma zona rural da cidade, e transportadas em temperatura ambiente em sacos plásticos até o Laboratório. As folhas sem a presença de danos em sua estrutura foram armazenadas sob refrigeração até que a secagem fosse realizada. Foi determinado o teor de água dos produtos utilizando-se a metodologia de Brasil (2009). As folhas foram cortadas utilizando-se um dispositivo redondo com diâmetro de 0,03m constituindo as amostras para secagem. As amostras, cerca de 10, foram secas em um secador de leito fluidizado, nas temperaturas de secagem de 45 e 55 °C. Durante a secagem, as amostras foram retiradas do secador e pesadas periodicamente. O processo de secagem do boldo finalizou quando as amostras atingiram o equilíbrio higroscópico com as condições do ar de secagem, ou seja, até massa constante na segunda casa decimal por três pesagens consecutivas. A redução da massa das amostras foi monitorada utilizando-se uma balança de precisão de  $1 \times 10^{-3}$ g. Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais por meio de regressão não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando-se o programa *Statistica 12.0*<sup>®</sup>.

**TABELA 1.** Modelos de regressão não-linear utilizados para predizer o fenômeno de secagem de folhas de boldo:

Designação do modelo	Modelo Matemático
Page	$RU = \exp(-k.t^n)$
Wang e Sing	$RU = 1 + a.t + b.t^2$
Midilli	$RU = a.\exp(-k.t^n) + b.t$
Dois Termos	$RU = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$
Logaritmo	$RU = a.\exp(-k.t) + c$
Exponencial 2 Termos	$RU = a.\exp(-k.t) + (1-a).\exp(-k.a.t)$

Page Modificado

$$RU = \exp[-(k.t)^n]$$

Henderson e Pabis

$$RU = a.\exp(-k.t)$$

Em que: RU - razão de umidade do produto, adimensional; a, b, n, c – constantes dos modelos; k, k0, k1 – coeficientes de secagem, s<sup>-1</sup>; t - tempo de secagem, min.

Para a escolha do modelo matemático mais adequado, o grau de ajuste dos modelos aos dados experimentais fora avaliado com base na função da magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), da magnitude do erro médio relativo (P) e o do erro médio da estimativa (SE), equações 1 e 2.

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

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (2)$$

em que,

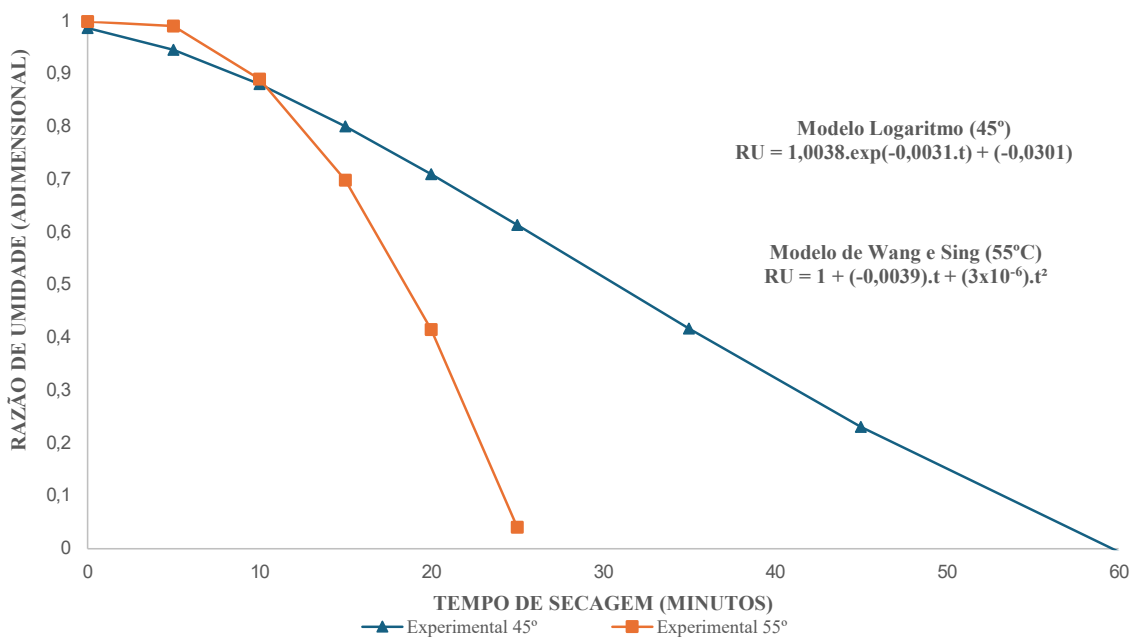
Y – valor observado experimentalmente; Y<sub>0</sub> – valor calculado pelo modelo; GLR – graus de liberdade do modelo; e n – número de dados observados.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 2, têm-se o coeficiente de determinação, a magnitude do erro médio relativo e o erro médio da estimativa para os modelos avaliados, e nas temperaturas estudadas. Verificou-se que, para a temperatura de 45 °C o modelo selecionado é o Logaritmo (P=1,53; SE=0,013023; R<sup>2</sup>=0,9974). Já para a temperatura de 55°C o modelo selecionado foi Wang e Singh (P=4,45; SE=0,071090; R<sup>2</sup>=0,9928. Na Figura 1 é têm-se as curvas de secagem do boldo nas temperaturas de 45° e 55°. Verifica-se que a redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura, como observado por MARTINAZZO et al. (2007).

**TABELA 2.** Erro médio estimado (SE decimal), erro médio relativo (P %) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup> %) para os doze modelos analisados, durante a secagem de folhas de jenipapo em três condições de temperatura (°C).

Modelo	45°			55°		
	SE	P	R <sup>2</sup>	SE	P	R <sup>2</sup>
Page	0,073513	3,338017	0,9941	0,119547	6,137415	0,9796
Wang e Sing	0,048215	4,463313	0,9975	0,071090	4,456350	0,9928
Midilli	0,013167	1,555802	0,999258	-	-	-
Dois Termos	0,075730	5,552248	0,9876	-	-	-
Logaritmo	0,013023	1,539650	0,9974	-	-	-
Exponencial 2 Termos	0,118600	6,015977	0,984831	-	-	-
Page Modificado	-	-	-	0,119548	6,135942	0,979600
Henderson e Pabis	0,202548	12,009680	0,955083	0,310852	11,098501	0,852616

Fonte: Autor 2024



**Figura 1.** Curvas de secagem do boldo, dados experimentais: Modelo Logaritmo (45°C) e Modelo Wang e Sing (55°C)

**CONCLUSÕES:** Nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, pode-se concluir que os modelos Logaritmo e Wang e Sing apresentaram melhores resultados para estimar a cinética de secagem das folhas de boldo (*Plectranthus barbatus*) nas temperaturas de secagem de 45 e 55 °C, respectivamente.

-6

#### REFERÊNCIAS:

- GONÇALVES, Alexandre Alves. Cinética de secagem das folhas de amora preta (*Morus nigra* L.). 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/3172/1/AlexandreAlvesGoncalves.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- GONELI, A.L.D.; VIEIRA, M.C.; BENITEZ, H.C.V.; GONÇALVES, A.A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.1, p.56-64, 2014a.
- GONELI, A.L.D.; NASU, A.K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W.D.; SARATH, K.L.L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenácea* DC.). **Revista brasileira de plantas medicinais**, v.16, n.2, p.434-443, 2014b.
- MARTINAZZO A.P.; MELO E.C.; CORRÊA P.C.; SANTOS R.H.S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 12, n. 4, p. 488–498, dez. 2010.
- RESENDE O.; ULLMANN R.; SIQUEIRA V. C.; CHAVES T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.6, p.1123-1135, 2011.