

CINÉTICA DE SECAGEM DOS GRÃOS DE *Salvia Hispanica* L.

ALEXANDRE A. GONÇALVES¹, ANDRÉ L. D. GONELI², ELTON A. S. MARTINS³,
KARINA L. L. SARATH⁴, MICHELE R. HAUTH⁵, JOÃO P. C. ÁVILA⁶

¹ Eng. Agrícola, Doutorando em Agronomia, UFGD / Dourados-MS, alexandre_alvesg@hotmail.com.

² Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UFGD / Dourados-MS, andregoneli@ufgd.edu.br.

³ Eng. Agrícola, Prof. Adjunto, UFGD / Dourados-MS, elton_asm@hotmail.com.

⁴ Eng. Agrônoma, Doutorando em Agronomia, UFGD / Dourados-MS.

⁵ Eng. Agrícola, Mestre em Eng. Agrícola, UFGD / Dourados-MS.

⁶ Graduando em Agronomia, UFGD / Dourados-MS.

Apresentado no

XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020

23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: Objetivou-se avaliar a cinética de secagem dos grãos de chia em camada delgada, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais de razão de umidade. Os grãos de chia foram colhidos com teor de água inicial de 0,28 b.s., sendo submetidos à secagem sob condições controladas de temperatura (40, 50, 60, 70 e 80 °C) e três velocidades de ar de secagem (0,4; 0,8; e 1,2 m s⁻¹) em um secador experimental até o teor de água aproximado de 0,098 (b.s.). Aos dados experimentais, foram ajustados seis modelos matemáticos citados na literatura específica e utilizados para a representação do processo de secagem de produtos agrícolas. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que, a exceção do modelo Aproximação da Difusão, todos os demais modelos ajustados aos dados experimentais de secagem dos grãos de chia apresentaram ajuste satisfatório. Devido sua tradicionalidade, o modelo de Page foi o escolhido para representar o fenômeno de secagem em camada delgada dos grãos de chia. O aumento da temperatura e da velocidade do ar reduziu o tempo de secagem aumentando a taxa de redução de água do produto.

PALAVRAS-CHAVE: chia, modelos matematicos, taxa de redução de água.

DRYING KINETIC OF *Salvia Hispanica* L. GRAINS

ABSTRACT: The objective was to evaluate the drying kinetics of the chia grains in a thin layer, as well as to adjust different mathematical models to the experimental values of humidity ratio. The chia grains were harvested with an initial water content of 0.28 bs, being subjected to drying under controlled temperature conditions (40, 50, 60, 70 and 80 °C) and three drying air speeds (0.4 ; 0.8; and 1.2 m s⁻¹) in an experimental dryer up to a water content of approximately 0.098 (bs). To the experimental data, six mathematical models cited in the specific literature were adjusted and used to represent the drying process of agricultural products. Based on the results obtained, it is concluded that, with the exception of the Approximation of Diffusion model, all other models adjusted to the experimental data for drying the chia grains showed satisfactory adjustment. Due to its traditionality, the Page model was chosen to represent the phenomenon of drying in a thin layer of chia grains. The increase in temperature and air speed reduced the drying time, increasing the water reduction rate of the product.

KEYWORDS: chia, mathematical models, water reduction rate.

INTRODUÇÃO: A simulação e obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento das curvas de secagem é um importante parâmetro no desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos para secagem de produtos agrícolas. Com elas pode-se estimar o tempo de secagem de determinada quantidade de produto, e com isso realizar o planejamento de produção e o gasto energético envolvido

no processo (VILELA & ARTUR, 2008). Para isso fazem-se uso de modelos matemáticos que possam representar satisfatoriamente as curvas de secagem durante o processo de secagem para sucessivas camadas delgadas do produto, formando um conjunto de relações matemáticas que auxiliam nos cálculos e no entendimento do processo de secagem em camada espessa (MARTINAZZO et al., 2010). Somado a isso, a interação entre temperatura e velocidade do ar de secagem, vem sendo estudada através do comportamento das curvas de secagem de diversos produtos agrícolas submetidos a diferentes técnicas de secagem, obtendo assim informações que auxiliam desde a escolha do equipamento para realizar o processo até mesmo a construção do mesmo. Nesse contexto destacam-se Resende et al. (2014) trabalhando com sorgo e Mayvan et al., (2012) com frutos de azeitona russa entre outros grandes pesquisadores. Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito causado pela temperatura, variando de 40 a 80 °C e três diferentes velocidades do ar de secagem, realizando assim a cinética de secagem em camada delgada dos grãos de chia.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizados grãos de chia (*Salvia hispânica* L.) cultivada na Fazenda Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA), colhidos manualmente com teores de água próximos a 0,28 b.s. (base seca). Os teores de água foram determinados utilizando o método gravimétrico (BRASIL, 2009). Após o início da secagem, amostras foram retiradas e pesadas periodicamente até que o produto atingisse o teor de água desejado, com auxílio de uma balança analítica com resolução de 0,01g. A secagem de grãos de chia em camada delgada foi realizada para cinco diferentes condições controladas de temperatura (40, 50, 60, 70 e 80 °C) e três velocidades de ar de secagem (0,4; 0,8; e 1,2 m s⁻¹) em um secador experimental, até que o produto atingisse o teor de água de 0,098 ± 0,01 decimal b.s. Sendo o mesmo valor considerado para fins de modelagem matemática. A razão de umidade (RU) dos grãos de chia foi determinada por meio da seguinte expressão:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional; U_i : teor de água de equilíbrio, decimal (b.s.);

U: teor de água do produto, decimal (b.s.); U_i : teor de água inicial do produto, decimal (b.s.).

Aos dados observados de razão de umidade obtidos durante a secagem dos grãos de chia, foram ajustados os seguintes modelos Tabela 1:

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem dos grãos de chia.

Designação do modelo	Modelo	Equação
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k_1 \theta)$	(I)
Dois termos	$RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$	(II)
Henderson & Pabis	$RU = a \exp(-k \theta)$	(III)
Logarítmico	$RU = a \exp(-k \theta) + c$	(IV)
Midilli	$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta$	(V)
Page	$RU = \exp(-k \theta^n)$	(VI)

θ : tempo de secagem, h; k, k_0, k_1 : constantes de secagem, h⁻¹; a, b, c, n : coeficientes dos modelos.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de regressão e seleção do modelo matemático adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE, decimal), erro médio relativo (P, %) e coeficiente de determinação (R², decimal).

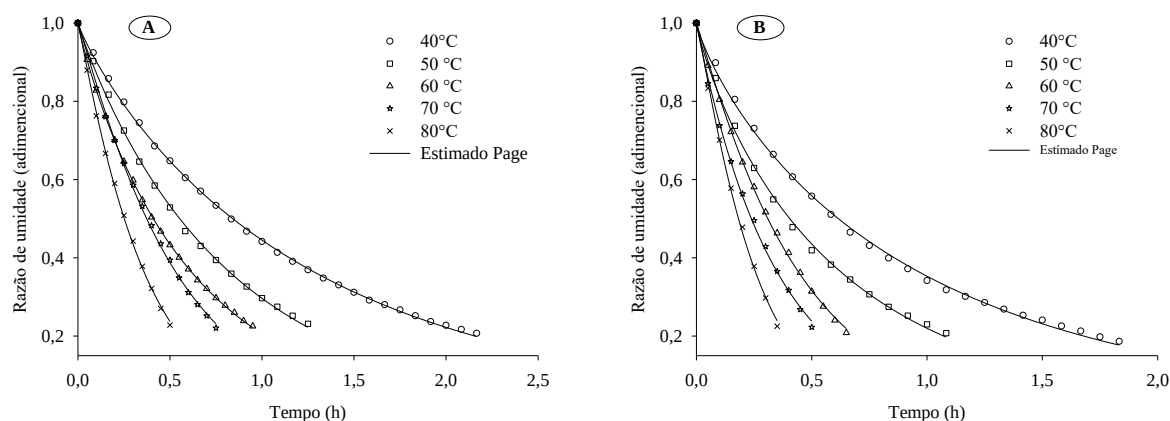
RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 2 são apresentadas as magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE, decimal), erro médio relativo (P, %) e coeficiente de determinação (R², decimal) para os seis modelos ajustados aos dados experimentais de razão de umidade obtidos durante a secagem dos grãos de chia para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.

TABELA 2. Parâmetros estatísticos obtidos na secagem dos grãos de chia

Modelos	0,4 m s ⁻¹			0,8 m s ⁻¹			1,2 m s ⁻¹		
	SE	P	R ²	SE	P	R ²	SE	P	R ²
40 °C									
I	0,001	0,146	0,999	0,002	0,297	0,999	0,002	0,202	0,999
II	0,001	0,140	0,999	0,002	0,299	0,999	0,002	0,206	0,999
III	0,009	1,272	0,997	0,015	2,614	0,991	0,008	1,148	0,998
IV	0,002	0,262	0,999	0,003	0,517	0,999	0,003	0,424	0,999
V	0,001	0,143	0,999	0,002	0,409	0,999	0,002	0,241	0,999
VI	0,003	0,431	0,999	0,006	0,981	0,999	0,003	0,317	0,999
50°C									
I	0,004	0,379	0,999	0,004	0,583	0,999	0,012	1,785	0,999
II	0,003	0,358	0,999	0,004	0,569	0,999	0,002	0,285	0,999
III	0,008	1,363	0,998	0,019	3,653	0,992	0,008	1,403	0,999
IV	0,003	0,339	0,999	0,004	0,797	0,999	0,002	0,265	0,999
V	0,003	0,394	0,999	0,005	0,828	0,999	0,001	0,213	0,999
VI	0,006	0,782	0,999	0,009	1,380	0,998	0,002	0,449	0,999
60°C									
I	0,011	1,885	0,997	0,083	14,095	0,843	0,002	0,298	0,999
II	0,031	3,811	0,979	0,009	1,556	0,998	0,007	0,913	0,999
III	0,008	1,278	0,999	0,008	1,556	0,998	0,003	0,626	0,999
IV	0,003	0,332	0,999	0,002	0,300	0,999	0,002	0,299	0,999
V	0,002	0,218	0,999	0,002	0,276	0,999	0,002	0,295	0,999
VI	0,002	0,355	0,999	0,006	0,958	0,999	0,003	0,371	0,999
70°C									
I	0,005	0,743	0,999	0,010	1,444	0,998	0,003	0,501	0,999
II	0,053	5,820	0,944	0,009	1,287	0,999	0,003	0,348	0,999
III	0,010	1,809	0,998	0,008	1,287	0,999	0,005	0,872	0,999
IV	0,003	0,375	0,999	0,008	0,965	0,999	0,003	0,503	0,999
V	0,003	0,392	0,999	0,002	0,241	0,999	0,003	0,484	0,999
VI	0,006	1,010	0,999	0,008	1,343	0,999	0,004	0,673	0,999
80°C									
I	0,112	19,508	0,786	0,119	18,524	0,777	0,004	0,473	0,999
II	0,010	1,679	0,998	0,003	0,353	0,999	0,017	1,612	0,997
III	0,010	1,679	0,998	0,015	2,584	0,996	0,012	1,655	0,998
IV	0,003	0,365	0,999	0,003	0,296	0,999	0,005	0,558	0,999
V	0,003	0,352	0,999	0,002	0,334	0,999	0,004	0,452	0,999
VI	0,006	1,018	0,999	0,009	1,270	0,999	0,004	0,587	0,999

(SE) desvio padrão da estimativa, (P %) erro médio relativo, (R²) coeficiente de determinação, (I) Aproximação da difusão, (II) Dois termos, (III) Henderson & Pabis, (IV) Logarítmico, (V) Midilli e (VI) Page.

Entre os Modelos Dois termos (II), Henderson & Pabis (III), Logarítmico (IV), Midilli (V) e Page (VI), os quais tiveram ajuste significativo para o processo de secagem dos grãos de chia em todas as temperaturas e velocidade do ar de secagem, foi selecionado o modelo de Page para descrever a secagem em camada delgada dos grãos de chia nas diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem. O modelo de Page possui apenas dois parâmetros o que simplifica a sua aplicabilidade em simulações matemáticas. De acordo com Simpson et al. (2017), em uma análise detalhada do modelo de Page, é demonstrado que os resultados têm uma explicação fenomenológica e não apenas um bom ajuste de dados estatísticos, ou seja, não possui tendência lógica em seus parâmetros analisados, evidenciando assim a amplitude do sucesso da equação. Na Figura 1, são apresentadas, para todas as condições de secagem estudadas, comparações entre os valores observados e os estimados, pelo modelo de Page, da razão de umidade dos grãos de chia durante a secagem em camada delgada.



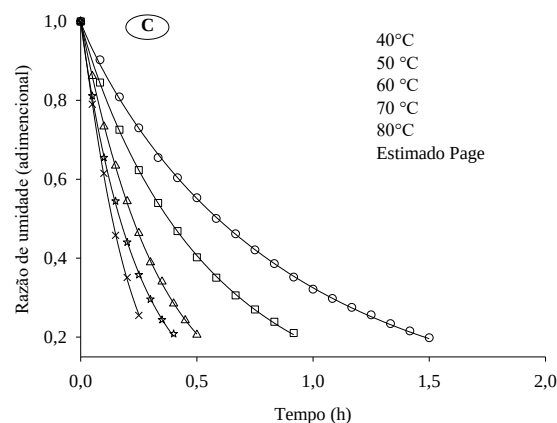


FIGURA 1. Valores de razão de umidade experimentais (A), (B) e (C) para a secagem dos grãos de chia em camada delgada na velocidade do ar de 0,4, 0,8 e 1,2 m s⁻¹ respectivamente.

Em análise a Figuras 1, (A, B e C), é possível constatar a influencia significativa que a temperatura do ar exerce sobre as curvas de secagem dos grãos de chia, atingindo um mesmo teor de água em um período de tempo menor com o incremento da temperatura. Observa-se ainda que o acréscimo da velocidade do ar de secagem tem um efeito “secante” maior para as menores temperaturas avaliadas. O tempo de secagem para a temperatura de 40 °C foi reduzido consideravelmente com a utilização da velocidade do ar de secagem de 1,2 m s⁻¹ em comparação a velocidade do ar de secagem de 0,4 m s⁻¹ (Figura 1 “A & C”).

CONCLUSÕES: Com exceção do modelo Aproximação da Difusão todos os demais são recomendados para representar a secagem dos grãos de chia para todas as temperatura e velocidade do ar de secagem. Ao elevar a temperatura e velocidade do ar de secagem tem-se maior taxa de redução de água, destacando a fase inicial do processo onde esse efeito é mais significativo.

AGRADECIMENTOS: A Capes e à Fundect, pelo apoio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS:

- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, p.395, 2009.
- MARTINAZZO, A.P.; MELO, E.C.; CORREA, P.C.; SANTOS, R.H.S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de plantas medicinais**, v.12, n.4, p.488-498, 2010.
- MAYVAN, A.A.; MOTEVALI, A.; GHOBADIAN, B.; KHOSHTAGHAZA, M.H.; MINAEI, S. Effect of Air Velocity and Temperature on Energy and Effective Moisture Diffusivity for Russian Olive (*Elaeagnus angustifolia* L.) in Thin-Layer Drying. **Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering**, v.31, n.1, p.65-69. 2012.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; CHAVES, T.H.; FERREIRA, J.; BESSA, V. Kinetics and thermodynamic properties of the drying process of sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) grains. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.32, p.2453-2462, 2014.
- SIMPSON, R.; RAMÍREZ, C.; NUÑEZ, H.; JAQUES, A.; ALMONACID, S. Understanding the success of Page’s model and related empirical equations in fitting in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. **Trens in Food Science & Technogy**. v. 62, p.194-201, 2017.
- VILELA, C.A.A.; ARTUR, P.O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p.387-394, 2008.