

SECAGEM DE FOLHAS DE MANJERICÃO (*OCIMUM BASILICUM* L.) POR ESTUFA E MICRO-ONDAS E AJUSTE DE MODELOS CINÉTICOS

Oven and microwave drying of basil leaves (*Ocimum Basilicum* L.) And kinetic modeling

Fabiana de Oliveira Pereira¹; Eduarda Campeol¹; Guilherme Antônio Mariga¹; Marcos Luis Morgan¹; Luiz Antônio Teixeira Pedott¹; Juliana Steffens².

¹Acadêmico do Curso de Engenharia Química da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. *e-mail: 031939@aluno.uricer.edu.br

² Professora do Curso de Engenharia Química da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Data do recebimento: 10/04/2025 - Data do aceite: 20/05/2026

RESUMO: O manjericão (*Ocimum basilicum* L.) é uma erva aromática valorizada por seus compostos bioativos e propriedades antioxidantes. Devido à sua alta perecibilidade, a secagem é uma alternativa viável para aumentar sua vida útil, reduzir a umidade e preservar suas características sensoriais e funcionais. Este estudo comparou a eficiência da secagem em estufa (50 °C, 1,5 m/s) e em micro-ondas (300 W) na desidratação de folhas de manjericão. Durante o processo, foram monitoradas as perdas de massa e a razão de umidade das amostras, além do ajuste de dois modelos cinéticos - Lewis e Henderson & Pabis - para descrever a secagem. Os resultados indicaram diferenças significativas entre os métodos. A estufa proporcionou uma desidratação mais lenta e controlada, enquanto o micro-ondas promoveu secagem rápida, com risco de superaquecimento. O modelo de Lewis apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais em ambos os casos. Conclui-se que ambos os métodos são eficazes, sendo sua escolha dependente dos objetivos do processo, como rapidez, eficiência energética e preservação dos compostos bioativos.

Palavras-chave: Razão de umidade, Cinética de secagem, Modelagem matemática, Secagem de manjericão, Micro-ondas.

ABSTRACT: Basil (*Ocimum basilicum* L.) is an aromatic herb valued for its bioactive compounds and antioxidant properties. Due to its high perishability, drying is a viable method to extend shelf life, reduce moisture, and preserve its sensory and functional characteristics. This study compared the efficiency of oven drying (50 °C, 1.5 m/s) and microwave drying (300 W) for dehydrating basil leaves. Mass loss and moisture ratio were monitored throughout the process, and two mathematical models—Lewis and Henderson & Pabis—were fitted to describe the drying kinetics. The results showed significant differences between the methods. Oven drying resulted in slower and more controlled moisture removal, while microwave drying was faster but posed a risk of overheating and degradation of compounds. The Lewis model best fits the experimental data for both methods. It is concluded that both drying techniques are effective, and the choice depends on the process priorities, such as speed, energy efficiency, and preservation of bioactive properties.

Keywords: Moisture ratio, Drying kinetics, Mathematical modeling, Basil drying, Microwave dryin

Introdução

O manjeriço (*Ocimum basilicum*), espécie exótica originária da região mediterrânea e Ásia Ocidental, é uma erva com diversas aplicações na culinária, na indústria de cosméticos, perfumaria e em usos medicinais, sendo empregada, por exemplo, no tratamento de cólicas, vômitos, entre outras aplicações (Gomes *et al.*, 2021).

O manjeriço apresenta diversas características bioativas, destacando-se pelos óleos essenciais, flavonóides e ácidos fenólicos, que conferem propriedades antioxidantes, antivirais, anti-inflamatórias e antibacterianas. Suas folhas, principais fontes desses compostos, são consumidas tanto *in natura* quanto na forma desidratada (Carvalho, 2022).

No Brasil, a produção de manjeriço está concentrada na região Nordeste, sendo predominantemente conduzida por pequenos produtores rurais, que enfrentam limitações

no manejo, como sazonalidade da produção e variações ambientais, incluindo escassez ou excesso de água, ventos e pragas (Fernandes *et al.*, 2004). As plantas, que atingem entre 30 e 50 cm de altura, possuem folhas de alto valor comercial, pois são ricas em óleos essenciais e amplamente utilizadas na culinária e em diversas aplicações (Duarte, 2022). Diante desses desafios, a secagem torna-se essencial para garantir a disponibilidade contínua desse condimento para diferentes indústrias.

Nesse contexto, a secagem desempenha um papel fundamental na preservação do manjeriço, pois reduz o teor de água, elemento crucial que influencia as propriedades metabólicas, além de provocar mudanças químicas e físicas na planta (Santos; Silva, 2024). Entre os métodos mais comuns de secagem, destacam-se a secagem em estufa e a secagem por micro-ondas.

A secagem em estufa permite um controle mais preciso da temperatura e da umidade, o que ajuda a manter as propriedades bioativas das folhas, sendo eficiente para grandes

volumes de produção. Já a secagem por micro-ondas oferece vantagens como a rapidez no processo e a preservação superior dos compostos bioativos, pois reduz o tempo de exposição ao calor, evitando perdas significativas desses compostos (Lacerda, 2009).

Neste sentido, tendo em vista que a desidratação do manjericão pode aumentar sua vida útil e favorecer sua conservação, o presente estudo investigou a secagem pelos métodos de estufa e micro-ondas, avaliando a cinética de secagem e modelando a operação de secagem por meio de modelos matemáticos.

Material e Métodos

As folhas de manjericão Limoncino (*Ocimum basilicum*) *in natura* utilizadas neste trabalho foram colhidas manualmente de forma aleatória, no município de Erechim, RS (27° 38' 02" S, 52° 16' 26" O), no horário das 7 às 8 h, cortando-se as plantas a aproximadamente 10 cm acima do solo. A identificação da espécie foi realizada com base em suas características morfológicas, observando-se aspectos como formato, coloração e aroma das folhas, não sendo realizado o encaminhamento de amostras para herbário nem o depósito de exsicata. O material após a coleta foi encaminhado ao laboratório de secagem para a seleção e a homogeneização. No processo de seleção, foram retiradas partes danificadas, bem como quaisquer materiais estranhos presentes. Posteriormente, as folhas foram separadas dos caules e homogeneizadas, sendo higienizadas em água corrente e secas com papel toalha.

A Figura 1 apresenta o aspecto visual das folhas de manjericão utilizadas nos experimentos.

Mais adiante, foi realizada a secagem das folhas de manjericão por dois métodos: estufa e micro-ondas. A secagem em estufa foi realizada por meio de uma estufa com

controlador digital de temperatura (Marconi MA 037, Brasil) e circulação de ar natural à temperatura de 50 °C, velocidade do ar de 1,5 m/s (Figura 2). Esta temperatura foi selecionada considerando estudo realizado por Goneli *et al.* (2014), os quais utilizaram folhas de aroeira e verificaram que as melhores temperaturas foram entre 40 °C e 70 °C. As folhas (12,88 g) foram distribuídas de maneira uniforme em bandeja metálica, com dimensões de 32,5 cm de comprimento, 17,6 cm de largura e 0,6 mm de espessura (284,55 g), a qual foi pesada em balança analítica (BEL, Itália) em intervalos regulares a cada 15 min, até atingirem o equilíbrio higroscópico.

Figura 1- Aspecto visual das folhas de manjericão utilizadas nos experimentos.



Figura 2- Aparência visual da estufa de circulação de ar.



O processo de secagem por microondas foi realizado utilizando um forno de micro-ondas (modelo MS3052RA, LG, Brasil), o qual possuía um sistema de controle digital para tempo de irradiação e potência de micro-ondas (1250 W) e uma frequência de trabalho de 2450 MHz (Figura 3).

Figura 3- Aparência visual do forno micro-ondas.



Para a secagem, 6,51 g de folhas de manjeriço foram utilizadas, colocadas em um prato de vidro (22,6 x 22,6 x 1,8 cm) e usando potência do micro-ondas de 300 W. Esta potência foi escolhida pois Khodja *et al.* (2020), estudando a secagem em micro-ondas com louro, obtiveram melhores resultados de secagem nesta potência. A massa das folhas desidratadas foi registrada periodicamente (a cada 5 s) até atingir peso constante. No processo de secagem por micro-ondas, foi utilizada uma menor massa de manjeriço em comparação à secagem em estufa, devido às limitações de capacidade do recipiente utilizado. Essa redução foi necessária para garantir a distribuição das folhas em uma única camada, evitando sobreposição e promovendo uma secagem mais homogênea.

A umidade das folhas *in natura* e desidratadas pelos dois métodos foi realizada por meio de um analisador de umidade por infravermelho (Marte, ID-200) em triplicata, um método rápido e eficiente amplamente utilizado para amostras vegetais (Reis *et al.*, 2010).

Os resultados da cinética de secagem para ambos os métodos (secagem em estufa e micro-ondas) foram expressos em função do teor de umidade e apresentados em porcentagem. As análises foram realizadas em triplicata.

A razão de umidade (RU, adimensional) foi determinada pela Equação 1 a partir dos dados experimentais.

$$RU = \frac{xt - xeq}{xQ - xeq}$$

Onde: xt é a umidade média do sólido no tempo t ; x_{eq} é a umidade de equilíbrio, em; x_0 é a umidade inicial do sólido. Os valores de RU observados na secagem em estufa e por micro-ondas foram avaliados por 2 diferentes modelos matemáticos de regressão não-linear, conforme a Tabela I.

Tabela I - Modelos matemáticos de regressão não linear utilizados para prever a secagem.

Modelo	Equação	Referência
Lewis	$RU = \exp(-k.t)$	Lewis (1921)
Henderson e Pabis	$RU = a. \exp(-k.t)$	Henderson & Pabis (1961)

Os parâmetros estatísticos para verificação do ajuste dos modelos aos dados experimentais foram calculados utilizando planilhas do Excel, sendo que valores de R^2 próximos de 1 indicam bom ajuste do modelo aos dados experimentais (Rudy *et al.*, 2015).

E também o RMSE (Raiz do erro quadrado médio), em que valores menores indicam melhor ajuste do modelo (Dubiella, 2024).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_{exp} - Y_{est})^2}{\sum (Y_{exp} - Y_{exp(médio)})^2}$$

Y_{exp} = valores experimentais (observados).
 Y_{est} = valores estimados pelo modelo.
 Y_{exp} (médio) = média dos valores experimentais.
 $RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_{exp} - Y_{est})^2}{n}}$
 Y_{exp} = valores experimentais (observados).
 Y_{est} = valores estimados pelo modelo.
 n = número total de dados

Resultados e Discussões

As amostras de folhas *in natura* apresentaram teor de umidade de 82,63% (±1,56). De acordo com Blank *et al.* (2007), o teor de umidade das folhas de manjeriço é de cerca de 85%, corroborando os resultados do presente estudo. Já após a secagem, as amostras apresentaram umidade de 3,5% (±1,66) e 3,9% (±1,98) para micro-ondas e estufa, respectivamente.

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados da razão de umidade (RU) entre dados experimentais relacionados a secagem de folhas de manjeriço em estufa e em micro-ondas e os ajustes aos modelos matemáticos de Lewis e Henderson e Pabis.

Os parâmetros para verificação do ajuste dos modelos aos dados experimentais (R^2 e RMSE), são apresentados na Tabela II.

Observa-se que o modelo de Lewis para a secagem em estufa apresenta um R^2 de 0,9998888, o que demonstra um ajuste

Figura 4- Curva de secagem para folhas de manjeriço em estufa e ajuste aos modelos matemáticos de Lewis e Henderson.

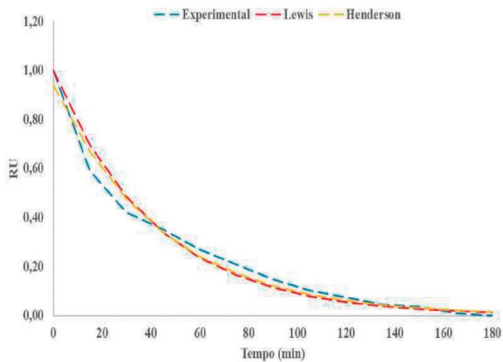
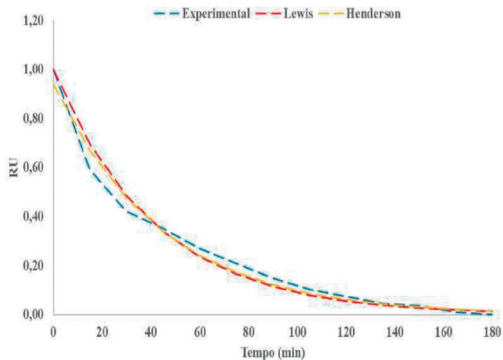


Figura 5- Curva de secagem para folhas de manjeriço em micro-ondas e ajuste aos modelos matemáticos de Lewis e Henderson.



excelente entre os dados experimentais e o modelo, indicando que o modelo de Lewis descreve de maneira quase perfeita a dinâmica de secagem do manjeriço. O modelo de Henderson para a estufa registrou um R^2 de

Tabela II - Resultados dos parâmetros experimentais R^2 e RMSE..

Equipamento	Modelo	R^2	RMSE
Estufa	Lewis	0,9998888	0,029249525
	Henderson e Pabis	0,9937408	0,021514845
Micro-ondas	Lewis	0,9996556	0,002270072
	Henderson e Pabis	0,9551564	0,016971811

0,9937408, ligeiramente inferior ao modelo de Lewis, sugerindo um ajuste um pouco menos preciso.

No caso da secagem por micro-ondas, o modelo de Lewis obteve um R^2 de 0,9996556, um valor também muito próximo de 1, o que indica um excelente ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais. Já o modelo de Henderson para a secagem por micro-ondas demonstrou um R^2 de 0,9551564, que, embora ainda seja relativamente alto, é consideravelmente inferior ao modelo de Lewis, sugerindo que o modelo de Henderson não descreve tão bem o comportamento da secagem em micro-ondas quanto o modelo de Lewis.

Conclusões

O presente estudo forneceu uma análise do processo de secagem de folhas de manjeriço, utilizando os métodos de estufa e

micro-ondas, com avaliação do ajuste de modelos matemáticos de Lewis e Henderson. Os resultados demonstraram que ambos os métodos de secagem foram eficazes na redução do teor de umidade das folhas, atingindo valores de 3,5% e 3,9%, para micro-ondas e estufa, respectivamente. O modelo de Lewis apresentou o melhor desempenho, com melhores ajustes aos dados experimentais tanto para a secagem em estufa quanto por micro-ondas, destacando-se pela alta precisão no ajuste. O modelo de Henderson, embora também adequado, não se mostrou tão preciso, especialmente para a secagem por micro-ondas. Esses achados indicam que o modelo de Lewis é o mais adequado para descrever o comportamento da secagem do manjeriço, sugerindo sua aplicação preferencial em processos de desidratação dessa planta, com potencial para otimização de técnicas de secagem em escalas industriais.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO GOMES, A. R.; DE ANDRADE SOUZA, J. M.; MICAELLE MENEZES LIMA, Y.; TAVARES CAVALCANTE VIEIRA, M. do S.; VIEIRA DE LIMA JÚNIOR, G.; CAVALCANTE DE ALENCAR, F. Produção de sabonetes artesanais a partir do óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Revista Semiárido De Visu**, v. 9, n. 1, p. 25-35, 2021. DOI: 10.31416/rsdv.v9i1.215. Disponível em: <https://revistas.ifsertaope.edu.br/index.php/rsdv/article/view/215>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- ARAÚJO GOMES, A. R.; DE ANDRADE SOUZA, J. M.; MICAELLE MENEZES LIMA, Y.; TAVARES CAVALCANTE VIEIRA, M. do S.; VIEIRA DE LIMA JÚNIOR, G.; CAVALCANTE DE ALENCAR, F. Produção de sabonetes artesanais a partir do óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Revista Semiárido De Visu**, v. 9, n. 1, p. 25-35, 2021. DOI: 10.31416/rsdv.v9i1.215.
- BLANK, A. F.; SOUZA, E. M. de; ARRIGONI-BLANK, M. F.; PAULA, J. W. A. de; ALVES, P. B. Novas Cultivares Maria Bonita: cultivar de manjeriço tipo linalol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.12, p.1811-1813, dez. 2007.
- CARVALHO, J. V. D.; **Análise comparativa dos teores de compostos bioativos in natura e sob processamento térmico das folhas do manjeriço (*Ocimum basilicum*)**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso, (Bacharel em Nutrição), Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.
- DUARTE, J. C. S. Regimes hídricos e coberturas de solo na produção de manjeriço. **Repositório Institucional Unesp**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. 2002.

- DUBIELLA, L. Métricas de avaliação para modelos de regressão. **Alura**, 04 nov. 2024. Disponível em: Alura. Acesso em: 29 mar. 2025.
- FERNANDES, P.C.; FACANALI, R.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, PR.; MARQUES, M.O.M. Cultivo de manjericão em hidroponia e em diferentes substratos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.260-264, abril-junho, 2004.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária e Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.
- LACERDA, M. J. R.; FREITAS, K. R.; SILVA, J. W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 25, n. 3, 2009. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6901>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921.
- REIS, RC, DEVILLA, IA, ASCHERI, DPR, SERVULO, ACO, & SOUZA, ABM. Cinética de secagem de folhas de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 687-693, 2010.
- RUDY, S.; DZIKI, D.; KRZYKOWSKI, A.; GAWLIK-DZIKI, U.; POLAK, R.; RÓZYLO, R.; KULIG, R. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 497-503, 2015.
- SANTOS, L. M.; SILVA, R. F.; **Cinética de secagem de folhas de manjericão-anis (*Ocimum selloi* Benth)**. 2024 Trabalho de Conclusão de Curso, (Bacharel em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.
- SILVA, J. P.; LIMA, J. P.; OLIVEIRA, R. A. Conventional method and microwave drying kinetics of *Laurus nobilis* leaves: effects on phenolic compounds and antioxidant activity. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.21419>.

