

**INFLUÊNCIA DA
TEMPERATURA E DA
VELOCIDADE DO AR NA
SECAGEM DA SEMENTE DE
NÊSPERA (ERIBOTRYA
JAPONICA) E AVALIAÇÃO
DE MODELOS
MATEMÁTICOS**

**INFLUENCE OF TEMPERATURE AND AIR VELOCITY ON THE DRYING OF
LOQUAT (ERIBOTRYA JAPONICA) SEEDS AND EVALUATION OF
MATHEMATICAL MODELS**

Ciências Agrárias, Engenharias • 24/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/790190763](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/790190763)

Luana Zanardo de Andrade¹

Leonardo Inácio Rodrigues²

Leandro Osmar Werle³

Raquel Manozzo Galante⁴

RESUMO

A nêspera (*Eriobotrya japonica*) é uma fruta reconhecida por seu valor nutricional e por apresentar compostos bioativos de interesse funcional. Suas sementes também possuem potencial para aplicações alimentícias e farmacológicas, o que torna necessário compreender processos que favoreçam sua conservação e estabilidade, como a secagem. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou a cinética de secagem das sementes de nêspera em diferentes condições de temperatura e velocidade do ar, bem como ajustes de modelos matemáticos para identificar aqueles que melhor representam o processo. As sementes foram submetidas às condições de 50 °C/1,5 m.s⁻¹, 65 °C/ 1,5 m.s⁻¹ e 65 °C/ 1,0 m.s⁻¹, resultando em coeficientes de difusão efetiva (D_{ef}) de $0,00119 \times 10^{-10}$ m².s⁻¹, $0,00284 \times 10^{-10}$ m².s⁻¹ e $0,00197 \times 10^{-10}$ m².s⁻¹, respectivamente. O aumento da temperatura e da circulação do ar acelerou a remoção de umidade e elevou os valores de D_{ef} , indicando maior eficiência no transporte interno de água. Os modelos matemáticos de Midilli e Exponencial de Dois Termos apresentaram os melhores ajustes estatísticos (maiores R^2 e menores MAPE e MSE), descrevendo com elevada precisão o comportamento experimental, para maior das temperaturas avaliadas. Assim, o estudo evidencia a influência direta das condições operacionais e reforça a utilidade da modelagem matemática para otimizar a secagem das sementes de nêspera.

Palavras-chave: secagem; cinética; difusividade efetiva; modelos matemáticos; sementes de nêspera.

ABSTRACT

The loquat (*Eriobotrya japonica*) is a fruit recognized for its nutritional value and for containing bioactive compounds of functional interest. Its seeds also have potential for food and

pharmaceutical applications, making it necessary to understand processes that favor their preservation and stability, such as drying. In this context, the present work evaluated the drying kinetics of loquat seeds under different temperature and air velocity conditions, as well as adjustments of mathematical models to identify those that best represent the process. The seeds were subjected to conditions of 50 °C/1,5 m.s⁻¹, 65 °C/ 1,5 m.s⁻¹, and 65 °C/1,0 m.s⁻¹, resulting in effective diffusion coefficients (Def) of $0.00119 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $0.00284 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, and $0.00197 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. The increase in temperature and air circulation accelerated moisture removal and raised the Def values, indicating greater efficiency in internal water transport. The Midilli and Two-Term Exponential mathematical models presented the best statistical fits (higher R² and lower MAPE and MSE), describing the experimental behavior with high precision for the evaluated temperatures. Thus, the study highlights the direct influence of operating conditions and reinforces the usefulness of mathematical modeling to optimize the drying of loquat seeds.

Keywords: drying; kinetics; effective diffusivity; mathematical models; loquat seeds.

1. INTRODUÇÃO

A nêspora (*Eriobotrya japonica*) é uma frutífera pertencente à família Rosaceae, originária da China e amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais. O fruto apresenta polpa succulenta, sabor doce-ácido e coloração alaranjada, sendo considerado uma fonte de compostos bioativos, como fenólicos, carotenóides e vitaminas, que possui atividade antioxidante amplamente reconhecida (El Aouni et al., 2025). Segundo Shah et al. (2023), os frutos da nêspora são ricos em carotenóides, flavonóides, fenóis, açúcares e ácidos orgânicos,

compostos que contribuem para seu valor funcional e elevado potencial antioxidante.

Além disso, Zhang et al. (2015) observaram que o tratamento pré-colheita com ácido p-cumárico aumenta a atividade de enzimas antioxidantes e reduz a incidência de injúrias por frio, o que resulta em maior conservação e prolongamento da vida útil pós-colheita do fruto. Esses resultados reforçam o interesse científico e comercial pela aplicação de técnicas fisiológicas e químicas que preservem a qualidade da nêspera durante o armazenamento.

De forma complementar, He et al. (2011) investigaram a diversidade genética de nêspera provenientes da China, Japão e Europa, identificando alto polimorfismo entre cultivares. Essa variabilidade genética indica potencial para melhoramento de características desejáveis, como resistência ao estresse e manutenção da firmeza e do sabor.

Estudos recentes apontam que a nêspera possui baixo teor de gordura e proteína, sendo composta majoritariamente por carboidratos simples e água. De acordo com Mokhtari et al. (2024) o suco da variedade Navela apresentou aproximadamente 10,22 g de açúcares totais por 100 g de fruto, sendo a frutose, glicose e sacarose os principais açúcares identificados. O teor proteico foi de cerca de 0,41 g/100 g e o lipídico de apenas 0,08 g/100 g, caracterizando a nêspera como um alimento de baixo valor calórico e boa digestibilidade.

Além dos macronutrientes, a fruta é rica em micronutrientes e compostos bioativos. MOKHTARI et al. (2024) também observaram teores expressivos de potássio (261,58 mg/100 g), sódio (36,20 mg/100

g), fósforo, cálcio, magnésio e ferro, além de vitamina C (~10,52 mg/100 g), que contribui para sua ação antioxidante. O conteúdo de compostos fenólicos e flavonóides, como a quercetina e os ácidos cafeoilquínicos, é particularmente elevado, o que foi confirmado por Zhang et al. (2015), que associaram esses compostos à alta capacidade antioxidante do fruto. A presença desses metabólitos secundários é responsável pela neutralização de radicais livres e pela proteção das células contra danos oxidativos, o que reforça seu potencial funcional na prevenção de doenças crônicas.

As sementes da nêspira, embora menos utilizadas na alimentação, também são objeto de diversas pesquisas devido à presença de compostos bioativos e óleos com potencial industrial e farmacológico. Segundo o Ministério da Agricultura do Japão (MAFF, 2023), as sementes contêm cerca de 2 a 5% de amigdalina, um glicosídeo cianogênico que, ao ser metabolizado, pode liberar pequenas quantidades de cianeto, sendo, portanto, tóxico quando ingerido em excesso. No entanto, quando tratadas e utilizadas em concentrações seguras, as sementes apresentam efeitos biológicos promissores. Kimura et al. (2008) observaram que a suplementação com 10% de sementes de nêspira em pó em ratos diabéticos tipo 2 durante quatro meses reduziu significativamente os níveis de glicose sanguínea e melhorou a sensibilidade à insulina. Além disso, extratos etanólicos das sementes demonstraram atividade antioxidante e capacidade de reduzir danos renais em modelos de nefropatia induzida (Kondo et al., 2004).

Segundo Zhao et al. (2024), as variações no teor de açúcares, compostos fenólicos e flavonoides ao longo do amadurecimento do fruto influenciam diretamente seu sabor e suas propriedades antioxidantes. O conteúdo de compostos bioativos tende a diminuir

com o avanço da maturação, enquanto os açúcares aumentam, o que torna os frutos mais doces, porém com menor capacidade antioxidante. Essa relação entre estágio de maturação e composição química reforça a importância de determinar o ponto ideal de colheita para equilibrar sabor e valor funcional.

Dessa forma, tanto a polpa quanto as sementes da nêspera apresentam potencial nutricional e funcional significativo. Segundo Zhang et al. (2015) e Shao et al. (2019), seus compostos antioxidantes, anti-inflamatórios e metabólicos indicam que a espécie *Eriobotrya japonica* é um recurso promissor para o desenvolvimento de produtos alimentícios e farmacêuticos voltados à promoção da saúde e à prevenção de doenças metabólicas e degenerativas.

A secagem é um processo unitário amplamente utilizado na indústria alimentícia, que visa a remoção de água das frutas, com o objetivo de aumentar sua durabilidade e garantir a preservação de suas propriedades nutricionais e sensoriais. A redução do teor de água impede a proliferação de microrganismos, inibindo a deterioração dos alimentos e permitindo a sua conservação por períodos mais longos. Além disso, a secagem facilita o transporte das frutas, uma vez que diminui o peso do produto. Diversos fatores influenciam a eficiência do processo de secagem, incluindo temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do fluxo de ar e características físicas das frutas, como espessura e estrutura da casca. A otimização desses parâmetros é essencial para maximizar a eficiência da secagem e assegurar a qualidade do produto final (Santos et al., 2019).

Segundo Reis et al. (2015) a temperatura e a velocidade do ar exercem influência direta na cinética de secagem da pimenta

(*Capsicum chinense*), sendo que temperaturas mais elevadas aceleram o processo de perda de umidade. Os autores observam que, ao utilizar temperaturas de 60°C com velocidades de 2,0 m/s, a secagem foi significativamente mais rápida, contribuindo para maior eficiência energética. Além disso, destacam que o controle adequado das condições do ar durante o processo é essencial para evitar danos à qualidade físico-química dos frutos, como alterações na cor e na textura.

Outro estudo realizado pelo autor Silva et al. (2016), analisou a cinética de secagem da polpa de carambola (*Averrhoa carambola*) nesta amostra, foi avaliada em temperaturas de 40, 50 e 60 °C, com velocidade do ar mantida a 1,0 m/s. Os autores observaram que o aumento da temperatura acelerou o processo de secagem, reduzindo significativamente o tempo necessário para atingir os níveis finais de umidade. Além disso, verificou-se que a temperatura influenciou diretamente parâmetros termodinâmicos como a difusividade efetiva, que aumentou com a elevação da temperatura, indicando maior mobilidade da umidade dentro do alimento. A energia de ativação também apresentou variação, sendo um indicativo da sensibilidade do processo à temperatura. Os resultados do estudo são importantes para o desenvolvimento de processos eficientes de desidratação, garantindo melhor qualidade final do produto seco.

A difusividade constitui uma propriedade física-chave para estudar a cinética de secagem, pois expressa a taxa com que moléculas como as de água se deslocam no interior de um material. Segundo John Crank (1975), em seu livro clássico *The Mathematics of Diffusion*, que apresenta de forma aprofundada a teoria e as soluções matemáticas dos processos difusivos, a difusividade efetiva representa a medida

da facilidade com que moléculas de água se movem dentro de um meio sólido ou poroso. Nesse contexto, o autor descreve que esse fenômeno é regido pela Lei de Fick, a qual estabelece que o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração de umidade, indicando que quanto maior essa diferença, maior será a taxa de difusão.

Em estudos recentes, Almeida et al. (2020) investigaram as cinéticas de secagem de sementes de melão ajustando o modelo de difusão para a geometria de cilindro infinito e verificaram que o coeficiente de difusividade aumentou com a temperatura, corroborando a ideia de que condições térmicas elevadas favorecem maior mobilidade da água no interior da semente.

O uso de modelos matemáticos tem se consolidado como uma ferramenta essencial para entender e aprimorar os processos de secagem. Embora não sejam responsáveis pelos efeitos físicos do tratamento, esses modelos permitem prever o comportamento das variáveis, estimar o tempo necessário para a remoção da umidade, avaliar o consumo energético e definir condições operacionais mais adequadas. No caso da nêspera, a secagem que contribui para manter suas características nutricionais e sensoriais, além de aumentar a estabilidade e reduzir perdas. A aplicação dos modelos, por sua vez, auxilia na otimização dessas etapas, favorecendo maior eficiência e menor custo produtivo (Sousa et al., 2020).

Os ajustes realizados por meio de modelos matemáticos são fundamentais devido à complexidade dos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem. Esse processo envolve o acoplamento entre as transferências de calor e de massa, tanto no interior do material quanto na interface com o ar de secagem

(Tzempelikos et al., 2015). Diversas variáveis influenciam diretamente a eficiência da secagem, como a temperatura, a velocidade do ar, as propriedades físico-químicas do produto e a umidade relativa da corrente de ar quente. Além disso, o encolhimento do material durante o processo reduz a área superficial disponível para a evaporação da umidade, o que dificulta a taxa de transferência de massa e, conseqüentemente, prolonga o tempo necessário para atingir o equilíbrio de secagem.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar a cinética de secagem da semente de *Eriobotrya japonica*, em diferentes temperaturas e velocidade do ar além de realizar ajustes de modelos matemáticos aos resultados obtidos, de modo a determinar as melhores condições de secagem e o modelo mais apropriado para a representação do processo.

2. MATÉRIAS E MÉTODOS

Os frutos da nêpera (*Eriobotrya japonica*) foram adquiridos no município de Fátima do Sul, Mato Grosso do Sul e a secagem foi conduzida no laboratório LANASE do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.

As sementes foram retiradas dos frutos com o auxílio da pinça e selecionadas quanto à integridade (sinais de deterioração).

Para determinação da espessura, foi selecionada uma amostra aleatória composta por cinco sementes. As medições foram realizadas utilizando um paquímetro digital (MTX).

As sementes foram cuidadosamente distribuídas sobre o vidro-relógio, de modo a preencher completamente os espaços vazios.

Essa etapa foi fundamental para assegurar uma disposição uniforme do material, favorecendo a homogeneidade da secagem e reduzindo possíveis variações de temperatura e fluxo de ar entre as amostras.

Após o registro dos dados referentes à massa e às dimensões das sementes, iniciou-se o processo de secagem em secadora laboratorial (CE-220/630, CIENLAB), com o objetivo de avaliar o comportamento das sementes durante a remoção da umidade.

3. SECAGEM

Para a determinação das curvas de secagem, utilizou-se um secador convectivo de bandeja com fluxo de ar vertical e entrada superior. O processo foi conduzido sob duas velocidades do ar (1,5 m/s e 1,0 m/s) e em diferentes combinações de temperatura e velocidade de ar: 50 °C/1,5m/s, 65 °C/1,5m/s e 65 °C/1,0m/s. Para o controle da remoção de umidade da amostra, as amostras foram pesadas em intervalos de 15 minutos durante as duas primeiras horas, de 30 minutos na terceira e quarta hora, e, posteriormente, a cada hora, até alcançar peso constante. Posteriormente, a amostra foi deixada por 24 horas no secador até atingir a umidade de equilíbrio, obtendo-se o peso final do sólido seco.

4. MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática é fundamental para analisar o comportamento de secagem, em relação ao tempo e temperatura. No entanto, a escolha do modelo mais adequado depende diretamente das características da matéria-prima submetida ao processo. Cada tipo de material apresenta uma cinética de secagem distinta, o que exige a seleção de equações específicas para

descrever com precisão a curva de secagem e garantir a eficiência da modelagem.

Diversos modelos matemáticos têm sido propostos na literatura para descrever a cinética de secagem, e sua aplicação varia conforme as propriedades físicas e químicas do produto, bem como as condições operacionais adotadas.

Os dados experimentais obtidos durante o processo de secagem, foram ajustados utilizando modelos matemáticos, os quais relacionam o adimensional de umidade pelo tempo de secagem. Para o presente trabalho foram selecionados os modelos de Page (Eq. 1), Henderson e Pabis Modificado (Eq. 2), Exponencial de Dois Termos (Eq. 3), Midilli (Eq. 4), Verma (Eq. 5), Segunda lei de Fick (Eq. 6) conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos utilizados para a secagem.

MODELO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
1. (1) Page	$y = \exp(-kt^n)$	Gupta, Ahmet, Shivhare & Raghavan (2002)
1. (2) Henderson e Pabis Modificado	$y = a \exp(-kt) + b \exp(-k_0t) + c \exp(-k_1t)$	Karathanos (1999)
1. (3) Exponencial de Dois Termos	$y = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1t)$	Sharaf-Eldin, Blaisdell & Hamdy (1980)
1. (4) Midilli	$y = a \exp(-kt^n) + b t$	Midilli, Kucuk & Yapar (2002)

1. (5) Verma	$y = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	Verma, Bucklin, Endan & Wratten (1985)
1. (6) Segunda lei de Fick	$y = (X - X_e)/(X_0 - X_e) = (8/\pi^2) \exp[-(D_{ef} \pi^2 t)/L^2]$	Geankoplis (1998)

Onde:

y - razão de umidade do produto, adimensional;

t - tempo de secagem, min;

k, k_0 , k_1 - coeficientes de secagem, min⁻¹;

a, b, c, n - constantes dos modelos, adimensional;

L - espessura, mm;

Def - coeficiente de difusão efetivo, cm² min⁻¹;

X - teor de umidade do produto, gH₂O/g sólido seco;

X₀ - teor de umidade inicial do produto, gH₂O/g sólido seco;

X_e - teor de umidade de equilíbrio do produto, gH₂O/g sólido seco

Para avaliar a dinâmica de secagem, utilizou-se o modelo difusivo baseado na Segunda Lei de Fick, considerando a geometria de placa plana, difusão uniforme e ausência de encolhimento significativo durante o processo. A solução analítica da equação foi truncada no primeiro termo, procedimento amplamente adotado por fornecer

uma boa aproximação dos dados experimentais, mantendo a simplicidade e eficiência do modelo.

Visando identificar o modelo que melhor descreveu o processo de secagem, foram considerados três critérios estatísticos: o coeficiente de determinação (R^2), o erro percentual médio absoluto (MAPE) (Equação 7) e o erro quadrático médio (MSE) (Equação 8). O MAPE representa uma medida de erro relativo e é considerado como uma das medidas mais utilizadas para se avaliar os modelos de previsão. O modelo pode ser considerado preditivo quando são encontrados valores inferiores a 10% para este parâmetro, conforme sugerido por Lewis (1982). O erro quadrático médio (MSE) é amplamente utilizado como métrica de precisão em modelos de estimativa, pois representa a média dos quadrados das diferenças entre os valores observados e estimados, quantificando o desvio médio das previsões em relação aos dados experimentais e atribuindo maior penalização a erros elevados devido à quadratização; assim, valores de MSE próximos de zero indicam maior qualidade do ajuste, menor dispersão dos resíduos e, portanto, maior confiabilidade do modelo.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| (7)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 (8)$$

Onde:

Y_t = valores preditos pelo modelo matemático;

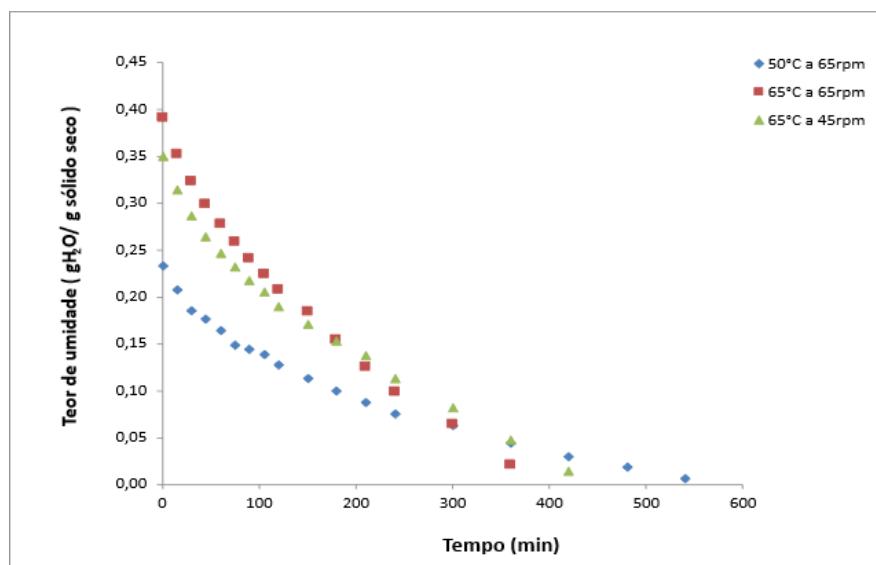
F_t = valores obtidos experimentalmente;

n = número de observações ao longo do experimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para compreender o comportamento da amostra durante o processo de desidratação, é fundamental analisar como o teor de umidade varia ao longo do tempo sob diferentes condições operacionais. A cinética de secagem fornece informações importantes sobre a eficiência do processo, a influência da temperatura e da velocidade do ar, além de indicar a etapa em que a remoção de água ocorre de forma mais intensa. Nesse contexto, a Figura 1 apresenta a evolução do teor de umidade em distintas combinações de temperatura e velocidade do ar, permitindo comparar a taxa de secagem entre os tratamentos avaliados, conforme discutido por Botelho et al. (2016).

Figura 1. Cinética de secagem em diferentes condições de temperatura e velocidade do ar.



Fonte: Autor próprio

Ao analisar as curvas da Figura 1, percebe-se que cada condição de secagem apresenta uma velocidade distinta de redução do teor de umidade ao longo do tempo. Na condição de 65°C a 1,5m/s, observa-

se uma queda mais acentuada, atingindo valores baixos de umidade em menos tempo quando comparada às demais curvas.

Já a condição de 65 °C a 1,0m/s também demonstra uma secagem eficiente, mas com uma redução de umidade ligeiramente mais lenta, indicando que a menor velocidade do ar reduz levemente o ritmo de remoção da umidade, ainda que a temperatura elevada continue favorecendo o processo. Em contraste, a condição de 50 °C e 1,5m/s apresenta o comportamento mais gradual entre as três condições, refletindo que a menor temperatura prolonga o tempo necessário para que o material atinja baixos teores de umidade. Nota-se que todas as curvas convergem para valores reduzidos de umidade ao longo do tempo, porém cada uma atinge esse patamar em um intervalo distinto, evidenciando que tanto a temperatura quanto a velocidade do ar influenciam diretamente o tempo total de secagem, sendo a temperatura o parâmetro operacional mais influente do processo.

A análise do comportamento de secagem na Figura 1 deixa evidente como a temperatura, velocidade do ar e a umidade inicial influenciam diretamente a cinética de desidratação das sementes. Esse efeito também é observado com nitidez em trabalhos recentes.

De acordo com os autores, Lima e Silva (2020) em estudos com sementes de melão, no qual trabalharam com diferentes condições de temperatura e velocidade do ar, e identificaram coeficientes de difusão mais altos à medida que a temperatura aumentava, favorecendo o transporte de umidade e reduzindo de maneira significativa o tempo de secagem.

Quando se analisa esses resultados com o comportamento apresentado na Figura 1, fica evidente que os mecanismos físicos de secagem, como a difusão interna e a renovação do filme de ar na superfície estão de acordo com o que os autores descrevem na literatura. A influência da temperatura é um ponto reforçado por todos, visto que o aumento de energia térmica acelera a migração da água sem comprometer o processo. A modelagem matemática também mostra seu valor, servindo como ferramenta confiável para prever a cinética de secagem e orientar decisões operacionais.

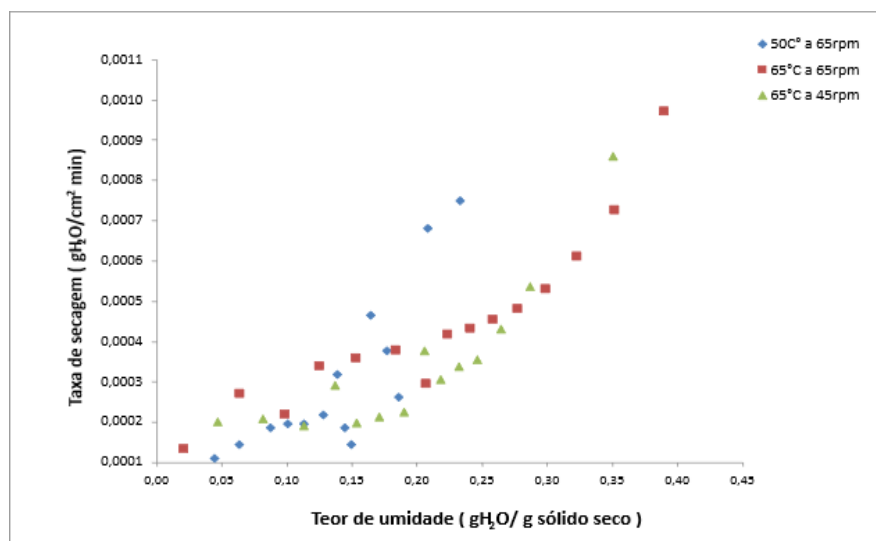
Do ponto de vista prático, trabalhar com temperaturas mais elevadas pode ser uma boa estratégia para otimizar a secagem, desde que haja um controle cuidadoso para evitar prejuízo à viabilidade fisiológica das sementes, sem perdas de compostos bioativos.

Outro ponto importante é a umidade inicial: conforme Aranha et al. (2023) destacam, variações internas de umidade podem alterar os coeficientes de transferência de massa e, dependendo do caso, exigir modelos mais sofisticados para explicar completamente o processo.

A avaliação da taxa de secagem é essencial para compreender a dinâmica do processo e identificar como a remoção de umidade ocorre em cada etapa. Enquanto a cinética de secagem mostra a redução global da água ao longo do tempo, o perfil da taxa permite observar com maior detalhe a intensidade dessa remoção em função do teor de umidade. Essa abordagem é importante porque revela o comportamento da amostra em diferentes fases, especialmente na transição entre a etapa de secagem rápida e a etapa de difusão lenta, que é influenciada por fatores como temperatura e velocidade do ar. Assim, a Figura 2 apresenta o perfil

da taxa de secagem sob distintas combinações de temperatura e velocidade do ar, permitindo comparar o desempenho dos tratamentos, conforme discutido por Silva et al. (2016).

Figura 2. Perfil da taxa de secagem sob diferentes condições de temperatura e velocidade do ar.



Fonte: Autor próprio

A análise das curvas de secagem na Figura 2, permite observar como a combinação entre temperatura, velocidade do ar, influencia diretamente a taxa de secagem das sementes. Quando a secagem acontece a 50 °C e 1,5m/s, nos primeiros pontos, observa-se uma taxa de secagem elevada, quando comparada as demais condições, que não corresponde ao comportamento esperado. Apesar dessa oscilação inicial, a curva se estabiliza e passa a seguir um padrão coerente com o processo, mantendo taxas mais baixas ao longo da secagem, como era previsto para a menor temperatura. Isso faz sentido, já que temperaturas mais moderadas e uma renovação de ar mais limitada realmente reduzem a remoção de água na superfície das sementes. Esse comportamento já era esperado e está de acordo com o que Corrêa et al. (2007) que destacam a interação entre temperatura e fluxo de ar altera o gradiente de pressão de vapor, influenciando diretamente a intensidade da secagem.

Quando a temperatura aumenta para 65 °C e 1,5m/s, o gráfico evidencia uma mudança significativa: as taxas se tornam mais altas, indicando um processo de secagem muito mais eficiente. Isso ocorre porque temperaturas mais elevadas aceleram a difusão interna da água no produto, aumentando rapidamente o gradiente de umidade.

Ao mesmo tempo, a maior velocidade do ar intensifica a convecção, reduz a resistência externa ao transporte de massa e facilita a remoção da umidade que migra para a superfície. Já em condições de temperatura e velocidade do ar mais baixas, as taxas apresentadas no gráfico tendem a ser menores e mais dispersas, refletindo um processo mais lento, pois a energia disponível para evaporar a água e do ar não são suficientes para remover a umidade com a mesma eficiência.

Esse comportamento é amplamente descrito na literatura. Goneli et al. (2014), por exemplo, destacam que sementes submetidas a fluxos de ar mais elevados apresentam secagem mais rápida justamente pela diminuição da camada de ar úmido que se forma sobre o material, o que reduz a resistência ao fluxo de massa.

A terceira condição, 65 °C e 1,0m/s apresenta valores intermediários, diminuindo a renovação dos pontos de contato com o ar quente. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, embora a temperatura elevada aumente o potencial térmico para remoção de umidade, a menor renovação do ar sobre a superfície da semente, que permaneceu estacionária no vidro-relógio, limita a redução da camada limite e restringe a transferência de massa. Dessa forma, a combinação entre maior temperatura e menor renovação do ar resulta em um desempenho intermediário quando comparada às

demais condições avaliadas, conforme ilustrado na Figura 1. Esse resultado é compatível com os princípios da secagem convectiva, segundo os quais a elevação da temperatura favorece a evaporação e a difusão interna, mas a eficiência global depende também da renovação do ar e da resistência externa à transferência de massa Mujumdar (2006).

No geral, o gráfico evidencia que a temperatura de 65 °C foi o fator que mais influenciou a taxa de secagem, enquanto a velocidade do ar de 1,5 m/s contribuiu, mas de forma menos expressiva, para intensificar o processo.

A taxa de secagem nas condições de 65 °C e 1,5m/s, confirma um padrão bem conhecido na literatura: aumentar a energia térmica e a convecção do ar favorece a migração da água do interior para a superfície, acelerando o processo sem comprometer a integridade física das sementes quando tudo é feito de forma controlada. Goneli et al. (2014).

Para compreender os parâmetros cinéticos é importante para explicar como a secagem ocorre nas diferentes condições avaliadas. A constante de secagem (k) e o coeficiente difusivo efetivo (Def) são amplamente utilizados para descrever a velocidade com que a umidade é removida e a facilidade com que a água se desloca do interior para a superfície do material. Valores mais elevados desses parâmetros indicam maior rapidez no processo e maior mobilidade da umidade, refletindo diretamente a influência da temperatura e da velocidade do ar. Portanto, a Tabela 2 apresenta os valores obtidos para k e Def nas condições experimentais estudadas, permitindo comparar o efeito das variáveis operacionais sobre a intensidade da secagem.

Tabela 2. Constante de secagem (k) e coeficiente difusivo (Def) obtidos durante a secagem da semente de nêspera através da Segunda Lei de Fick.

Temperatura(°C); Velocidade do Ar.	k (min ⁻¹)	Def (10 ⁻¹⁰ m ² .s ⁻¹)
65°C/1,5m/s	0,007	0,00284
65°C/1,0m/s	0,006	0,00197
50°C/1,5m/s	0,006	0,00119

Fonte: Autor próprio

Os resultados mostram que o Coeficiente de Difusividade Efetiva (Def) aumenta conforme a temperatura se eleva. Esse comportamento é amplamente reconhecido na literatura, pois temperaturas mais altas fornecem mais energia para o movimento das moléculas de água, facilitando a difusão interna e acelerando a remoção de umidade. Esse mesmo padrão também foi observado por Camicia et al. (2015) ao estudarem sementes de feijão-caupi em secagem convectiva sob diferentes temperaturas, confirmando que o coeficiente de difusão efetiva cresce de maneira significativa com o aumento térmico, seguindo a tendência descrita pela equação de Arrhenius.

Embora a velocidade do ar também influencie o processo, seu efeito é menos expressivo quando comparado ao impacto da temperatura. A variação de 1,5m/s e 1,0m/s contribui de forma coerente, o ar quente ao redor da amostra reduz a resistência externa, o que favorece o transporte de umidade para a superfície. Ainda assim, as diferenças observadas são menos expressivas do que aquelas

causadas pela elevação da temperatura, o que reforça o papel predominante do aquecimento na secagem, consequentemente na difusividade efetiva.

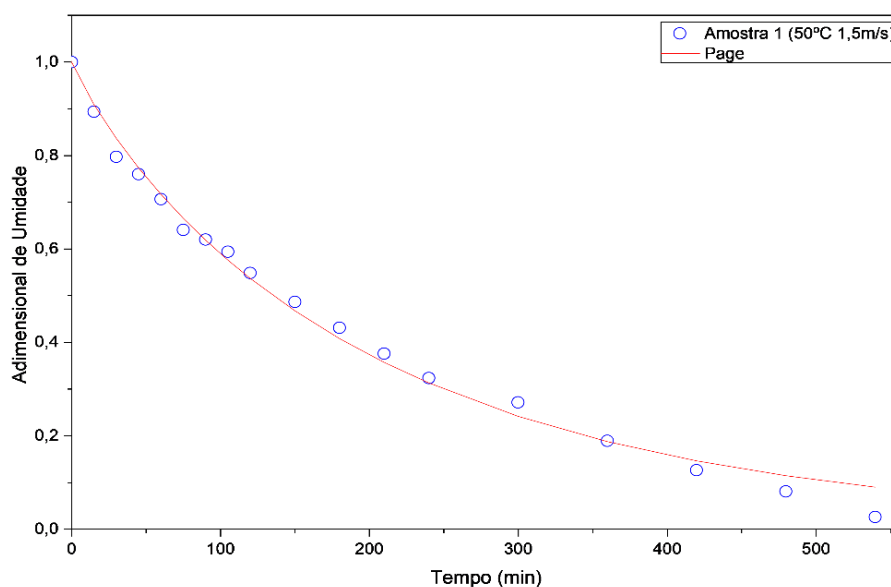
De modo geral, os resultados confirmam o comportamento esperado no processo de secagem: o Coeficiente de Difusividade Efetiva (Def) aumenta à medida que a temperatura se eleva e também com o uso de maiores velocidades de ar. No entanto, com base nos valores obtidos, fica evidente que a temperatura é o fator mais influente para aumentar a difusão de umidade no interior das sementes, tornando o processo mais eficiente. Esses resultados reforçam a consistência e a coerência dos dados analisados.

A utilização de modelos matemáticos na descrição da cinética de secagem permite compreender, de forma mais clara, como cada equação busca representar o comportamento do material ao longo do processo. Cada modelo destaca aspectos distintos da secagem, seja na forma de retratar o início da remoção de umidade, na intensidade da taxa de secagem ou na aproximação da umidade de equilíbrio. A comparação entre eles, a partir dos parâmetros estatísticos e dos coeficientes ajustados, possibilita identificar qual equação melhor reflete a realidade observada experimentalmente.

As Figuras 3, 4 e 5 ilustram o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais para as três condições avaliadas. Inicialmente, todos os modelos testados apresentaram comportamentos muito semelhantes, resultando na sobreposição das curvas geradas, o que dificultou a visualização individual e a distinção entre os diferentes ajustes. Diante disso, optou-se por apresentar apenas o modelo que demonstrou melhor aderência aos dados experimentais, destacando-se em relação aos demais. Essa escolha permitiu uma

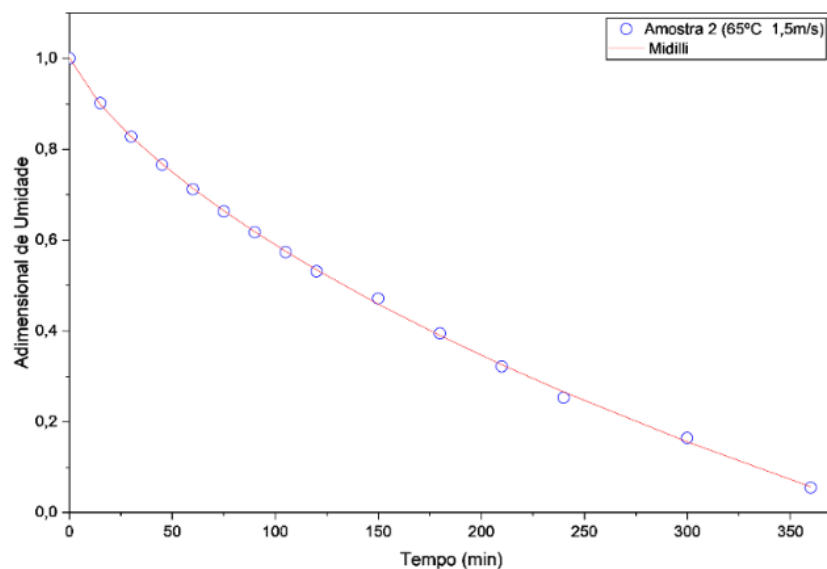
representação gráfica mais clara e objetiva, sem comprometer a análise dos resultados, uma vez que a comparação completa entre os modelos foi realizada com base nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 3.

Figura 3. Modelo matemático ajustado aos dados experimentais da secagem da nêspera para amostra 1 (50°C



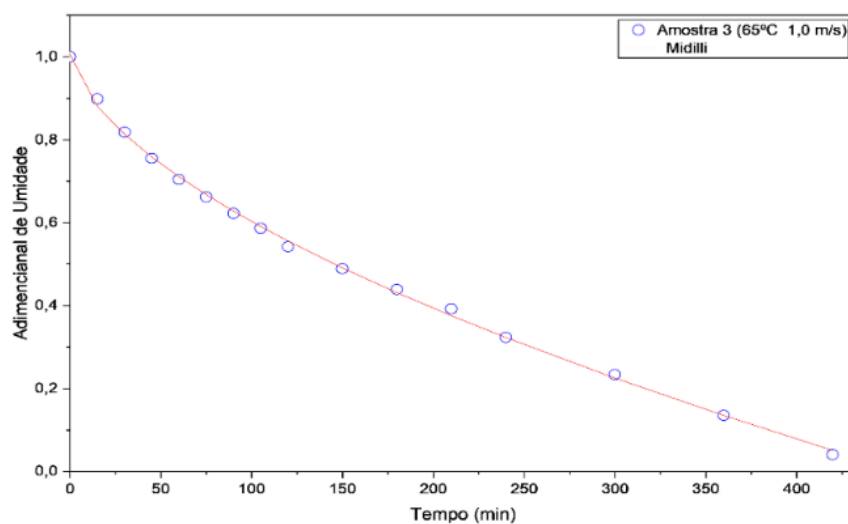
Fonte: Autor próprio

Figura 4. Modelo matemático ajustado aos dados experimentais da secagem da nêspera para amostra 2 (65°C 1,5 m/s)



Fonte: Autor próprio

Figura 5. Modelo matemático ajustado aos dados experimentais da secagem da nêspera para amostra 3 (65oC 1,0m/s)



Fonte: Autor próprio

Tabela 3. Parâmetros obtidos nos ajustes dos 6 modelos à secagem da semente da nêspera.

Modelo	Parâmetro	Temperatura (°C) Velocidade de ar (m/s)		
		50°C (1,5 m/s)	65°C (1,5m/s)	65°C (1,0 m/s)
Page	k	0,00829	0,00447	0,00663
	n	0,90218	1,04348	0,94881

	R ² (decimal) MAPE (%) MSE(decimal)	0,98255 13,3782 4,1×10 ⁻⁴	0,99899 6,6747 4,0×10 ⁻⁴	0,99999 11,2966 0,0006
Midilli	a b k R ² (decimal) MAPE (%) MSE decimal)	1 1,01×10 ⁻⁸ 0,0082 0,9999 13,3566 4,1×10 ⁻⁴	1,00096 -8,06×10 ⁻⁴ 0,01224 0,98769 0,7639 2,0×10 ⁻⁵	1,00607 -8,266×10 ⁻⁴ 0,0225 0,99999 1,6836 5,0×10 ⁻⁵
Verma	a k k1 R ² (decimal) MAPE (%) MSE(decimal)	0,12199 0,01998 0,00429 0,97966 12,8155 3,9×10 ⁻⁴	0,00546 0,82619 0,00551 0,99999 7,6141 4,0×10 ⁻⁴	0,04593 2519,400 0,00475 0,99998 10,8618 5,0×10 ⁻⁴
Handerson e Pabis modificado	a b k c k0 k1 R ² (decimal) MAPE (%) MSE(decimal)	0,18497 0,02532 0,01068 0,78966 0,07145 0,00406 0,9999 13,3336 4,1×10 ⁻⁴	0,7609 0,2355 0,00553 3,46×10 ⁻⁵ 0,00553 0,11096 0,98756 7,5973 4,0×10 ⁻⁴	0,04593 3,33×10 ⁻⁶ 0,98713 0,95406 0,00543 0,00475 0,99999 10,8618 5,0×10 ⁻⁴
Exponencial de Dois Termos	a k R ² (decimal) MAPE (%) MSE(decimal)	0,12602 0,01844 0,99495 12,9142 3,9×10 ⁻⁴	0,97903 0,00504 0,98999 0,8744 1,0×10 ⁻⁴	-0,14419 0,00486 0,98856 10,7365 6,0×10 ⁻⁴

Segunda Lei de Fick	a	0,96844	0,99642	0,96876
	k	-0,00477	-0,00553	-0,00486
	R ²	0,9999	0,99999	0,99999
	(decimal)	10,4802	7,5976	10,7365
	MAPE (%)	4,1×10 ⁻⁴	4,0×10 ⁻⁴	6,0×10 ⁻⁴
	MSE(decimal)			

Fonte: Autor próprio

Ao observar os dados experimentais e as curvas obtidas na modelagem, é possível verificar que todos os modelos descrevem o comportamento da secagem. Além disso, o efeito da temperatura e da velocidade do ar também aparece de forma bastante evidente nas Figuras 3, 4 e 5. Em temperaturas mais baixas, a secagem ocorre de maneira mais gradual, enquanto nas condições mais severas, como 65 °C, a curva se torna mais inclinada e a perda de água acontece de forma mais acelerada. Esse tipo de comportamento é relatado pelos autores, Goneli et al. (2014), que explicam que temperaturas mais elevadas aumentam o gradiente de vapor, facilitando o fluxo de umidade do interior para a superfície, o que se reflete exatamente no padrão observado nos resultados.

Ao analisar os modelos matemáticos ajustados aos dados observa-se que os modelos Page e Midilli empregados acompanham de forma bastante consistente o comportamento experimental da secagem. Apesar da pequena variação do modelo page, ele não se afasta de maneira relevante da tendência da curva. Esse tipo de variação sutil é esperado em modelagens matemáticas, já que cada modelo responde de forma própria às mudanças físicas do material durante a secagem, como discutido por Lima e Silva (2020) em estudos sobre a influência de fatores estruturais.

Em razão da sobreposição das curvas geradas pelos diferentes modelos avaliados, não foi possível obter, nos gráficos, uma visualização clara e individual do comportamento de cada ajuste. Essa similaridade dificultou a distinção visual entre os modelos, tornando limitada a análise exclusivamente gráfica. Diante disso, optou-se por apresentar apenas os modelos que melhor se destacaram na observação gráfica, a fim de garantir maior clareza na representação dos resultados.

A escolha dos modelos de Page e Midilli foi confirmada pela análise dos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 3, que evidenciaram melhor aderência desses modelos aos dados experimentais em comparação aos demais ajustes avaliados. Esses modelos apresentaram menores valores de erro e maior capacidade de descrever a cinética de secagem, confirmando quantitativamente o desempenho superior observado graficamente.

Dessa forma, a apresentação restrita aos modelos de Page e Midilli nos gráficos não compromete a análise dos resultados, uma vez que a avaliação completa dos seis modelos foi realizada com base em critérios estatísticos, assegurando uma seleção consistente e tecnicamente fundamentada dos modelos mais representativos do processo estudado.

Resultados semelhantes são relatados na literatura. Aranha et al. (2023) observaram que tanto a temperatura aplicada no processo quanto a distribuição da umidade inicial das sementes exercem forte influência na taxa de secagem de materiais como feijão e milho. Nesse estudo, os autores utilizaram modelos matemáticos amplamente empregados na descrição da cinética de secagem, como o modelo de Page e a abordagem baseada em difusão,

obtendo previsões que apresentaram boa concordância com os dados experimentais. Esses resultados reforçam a adequação do uso desses modelos na representação de processos de secagem, em consonância com os resultados obtidos no presente trabalho.

A análise dos erros estatísticos (MAPE e MSE) mostra de forma ampla quais modelos apresentam os melhores ajustes para a secagem da semente de nêspira, já que a avaliação não deve ser feita apenas de maneira visual, mas sim com base nos indicadores numéricos calculados. De modo geral, valores de MAPE maiores de 10% indicam boa capacidade de predição, enquanto o MSE, quando muito baixo (na ordem de 10^{-4} ou 10^{-5}), indica um bom ajuste do modelo.

Com base nos resultados da Tabela 3, verifica-se que o modelo de Midilli foi o que apresentou o melhor desempenho global, exibindo os menores valores de MAPE nas condições de 65°C (1,5m/s e 1,0m/s), além de manter MSE consistentemente baixo, o que demonstra elevada capacidade de representar o comportamento de secagem. Em seguida, o modelo Exponencial de Dois Termos também se destacou, apresentando MAPE reduzido e MSE entre os menores obtidos, configurando-se como o segundo melhor ajuste entre os modelos avaliados.

Os demais modelos Page, Verma, Handerson e Pabis modificado e Segunda Lei de Fick apresentaram bom desempenho apenas em uma das condições testadas, mas não mantiveram consistência ao longo das três condições avaliadas. Assim, embora alguns tenham mostrado MSE baixo isoladamente, não atingiram desempenho estatístico satisfatório quando analisados de forma comparativa. Portanto, os resultados indicam claramente que Midilli é o modelo

mais adequado para descrever o processo de secagem da semente de nêspira, seguido pelo Exponencial de Dois Termos, sendo estes os únicos que apresentaram comportamento superior e consistente em relação aos demais.

Esses resultados vão de acordo com o que foi observado por Leite et al. (2019), que, ao estudarem sementes de jaca em diferentes temperaturas e velocidades de ar, identificaram o modelo Exponencial de Dois Termos como o mais representativo das curvas experimentais

6. CONCLUSÕES

Com base nos valores do coeficiente de difusão efetiva (Def), fica evidente que a temperatura exerce maior influência sobre o processo de secagem do que a velocidade do ar. Isso porque o aumento de 50°C para 65°C resultou nas maiores variações de Def , elevando a difusividade de $0,00119 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (50°C/1,5m/s) para $0,00284 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (65°C/1,5m/s), mesmo quando a velocidade do ar se manteve alta. Já a mudança de velocidade, 1,5m/s e 1,0m/s, dentro da mesma temperatura (65°C), provocou alterações menos expressivas no Def ($0,00197$ para $0,00284 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Assim, a análise confirma que a temperatura é o parâmetro mais determinante para aumentar a difusão de umidade no interior das sementes, sendo, portanto, o fator predominante na eficiência do processo de secagem.

A modelagem matemática confirmou que todos os modelos foram capazes de representar o processo, porém os modelos de Midilli e Exponencial de Dois Termos apresentaram os melhores desempenhos estatísticos, com os menores valores de erro e maior

aderência aos dados experimentais. Esses modelos demonstraram elevada capacidade de previsão tanto nas fases iniciais quanto finais da secagem.

Portanto, conclui-se que a secagem das sementes de nêspera é favorecida por temperaturas mais altas e maior velocidade de ar, que elevam tanto a taxa de secagem quanto o Def, reduzindo o tempo total de processo. Além disso, a modelagem matemática se mostrou uma ferramenta robusta e eficaz para prever o comportamento da secagem e otimizar condições operacionais, sendo especialmente útil em sistemas industriais de processamento de sementes e produtos agrícolas.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PROGRAMA DE APOIO À PESQUISA 2026, EDITAL N° 10/2026, pelo apoio financeiro na publicação deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. L. J. et al. Melon seed drying kinetics described by a diffusion model. Research, Society and Development, v. 9, n. 5, 2020.

DOI: 10.33448/rsd-v9i5.3146. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3146>.

ARANHA, A. C. R. et al. Avaliação da temperatura de secagem e umidade inicial na cinética de secagem e propriedades de transporte de sementes de feijão e milho. Scientia Plena, v. 19, n. 4, 2023. DOI: 10.14808/sci.plena.2023.044201.

BOTELHO, F. M. et al. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. Revista Brasileira de

Milho e Sorgo, v. 14, n. 2, p. 260–272, 2016. Disponível em: <https://rbms.sede.embrapa.br/ojs/article/view/610>.

CAMICIA, R. G. M. et al. Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). Revista Caatinga, v. 28, n. 3, 2015. DOI: 10.1590/1983-21252015v28n323rc.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática da secagem de sementes de feijão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 3, p. 301–306, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BW6dB7T63eBtgN0eXw6uX9M/>.

CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

EL AOUNI, N; DAHMANI, W.; ALI, A.; LOUIS, Z.; AKISSI, E.; DIB, I.; LEGSSYER, A.; SAHPAZ, S.; ZIYYAT, A. *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.: ethnomedicinal uses, phytochemical contents and pharmacological properties: a review. *Ethnobotany Research and Applications*, v. 31, p. 1–43, 2025. DOI: 10.32859/era.31.1-43.

GEANKOPLIS, C. J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3. ed. México: Editora Continental, 1998.

GONELI, A. L. D. et al. Cinética de secagem de sementes de mamona. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 5, p. 548–556, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/8YkzBRF23gM7LqBrzT7tH4M/>.

GUPTA, P.; AHMET, J.; SHIVHARE, U. S.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of red chilli. Drying Technology, v. 20, p. 1975–1987, 2002.

HE, QIAO; LI, XIONG WEI; LIANG, GUO LU; JI, KUN; GUO, QI GAO; YUAN, WEI MIN; ZHOU, GEN ZHI; CHEN, KUN SONG; VAN DE WEG, W. ERIC; GAO, ZHONG SHAN. Genetic diversity and identity of Chinese loquat cultivars/accessions using mapped SSR markers from apple. *Plant Molecular Biology Reporter*, v. 29, n. 1, p. 197–208, 2011. DOI: 10.1007/s11105-010-0218-9.

KARATHANOS, V. T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, v. 39, p. 337–344, 1999.

KIMURA, Y.; OKUDA, H.; NAKAGAWA, K. Hypoglycemic effect of *Eriobotrya japonica* seed powder in type 2 diabetic mice. *Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 19, n. 3, p. 172–179, 2008. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2007.02.001

KONDO, S.; TSUJI, M.; YAMAMOTO, K. Protective effect of *Eriobotrya japonica* seed extract against adriamycin-induced nephropathy in rats. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, v. 27, n. 12, p. 1957–1960, 2004. DOI: 10.1248/bpb.27.1957.

LEITE, D. D. F. et al. Modelagem matemática da cinética de secagem de sementes de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 3, 2019. DOI: 10.5935/1806-6690.20190043.

LEWIS, C. D. *Industrial and Business Forecasting Methods*. London: Butterworths, 1982.

LIMA, S. E.; SILVA, E. G. Kinetics of melon seed drying described by a diffusion model. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 5, 2020.

MAFF – MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES OF JAPAN. Amygdalin in loquat seeds and its risk assessment. Tokyo, 2023. Disponível em: https://www.maff.go.jp/e/policies/food_safety/attach/pdf/amygdalin_in_loquat_seeds.pdf.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, v. 20, p. 1503–1513, 2002.

MOKHTARI, I.; MOUMOU, M.; MOKHTARI, C.; HARNAFI, M.; MILENKOVIC, D.; AMRANI, S.; HARNAFI, H. Nutritional composition and effect of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* L. var. Navela) on lipid metabolism and liver steatosis in high-fat high-sucrose diet-fed mice. *Preventive Nutrition and Food Science*, v. 29, n. 3, p. 256–269, 2024. DOI: 10.3746/pnf.2024.29.3.256.

MUJUMDAR, A. S. *Handbook of Industrial Drying*. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

REIS, D.; SANTOS, P.; SILVA, F.; PORTO, A. Influência das características do ar na cinética de secagem de pimenta variedade bico. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 18, n. 2, p. 146-154, abr./jun. 2015. DOI: 10.1590/1981-6723.6214

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, W. P. Processos de secagem de frutas: influência dos parâmetros operacionais na qualidade do produto final. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 22, p. e2018191, 2019.

SHAH, H. M. S.; KHAN, A. S.; SINGH, Z.; AYYUB, S. Postharvest biology and technology of loquat (***Eriobotrya japonica*** Lindl.). *Foods*, v. 12, n. 6, p. 1329, 2023. DOI: 10.3390/foods12061329

SHAO, P.; HUANG, J.; ZHU, X. Characterization of loquat (*Eriobotrya japonica*) seed oil and its potential applications. *Industrial Crops and Products*, v. 132, p. 298–305, 2019. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.02.037.

SHARAF-ELDEN, Y. I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. Y. A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE*, v. 5, n. 4, p. 1261–1265, 1980.

SILVA, R.; SILVA, F.; PORTO, A.; PILONETTO, A. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, p. 2069-2080, jul./dez. 2016. DOI: 10.3895/rbta.v10n2.3261.

SOUSA, A. S.; COSTA, L. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Modelagem matemática da secagem de atemoia em secador de leito fixo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 8, p. 533–539, 2020.

TZEMPELIKOS, D. A. et al. Numerical modeling of mass and heat transfer during convective drying of cylindrical quince slices. *Journal of Food Engineering*, v. 156, p. 10–21, 2015.

VERMA, L. R.; BUCKLIN, R. A.; ENDAN, J. B.; WRATTEN, F. T. Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, v. 28, p. 296–301, 1985.

ZHANG, L.; WANG, S.; YU, H. Phenolic compounds and antioxidant activity in loquat fruits from different cultivars. *Food Chemistry*, v. 186, p. 483–489, 2015. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.107.

ZHAO, J.; LIU, W.; WANG, X. Bioactive compounds and pharmacological properties of loquat: a comprehensive review. *Medicinal Plant Research*, v. 14, n. 2, p. 45–58, 2024.

¹ Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

² Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

³ Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

⁴ Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).