

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRARIAS**

**CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE MANJERICÃO-
ANIS (*Ocimum selloi* Benth)**

**LEIDIMARA MOREIRA DOS SANTOS
REGIANNE FERNANDES DA SILVA**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2024**

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE MANJERICÃO-ANIS
(*Ocimum selloi* Benth)

Leidimara Moreira dos Santos
Regianne Fernandes da Silva

Orientador: Prof Dr. André Luís Duarte Goneli

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da
Grande Dourados, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrícola.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S237c Santos, Leidimara Moreira Dos
CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE MANJERICÃO-ANIS (*Ocimum selloi* Benth)
[recurso eletrônico] / Leidimara Moreira Dos Santos, Regianne Fernandes da Silva. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Dr. André Luís Duarte Goneli.
TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Modelo de Midilli. 2. Planta medicinal. 3. Difusão. I. Silva, Regianne Fernandes da . II.
Goneli, Dr. André Luís Duarte. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE MANJERICÃO-ANIS
(*Ocimum selloi* Benth)

Por

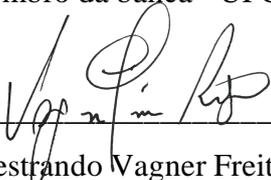
Leidimara Moreira dos Santos
Regianne Fernandes da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 05 de março de 2024.

Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli
Orientador – UFGD/FCA

Profa. Vanderleia Schoeninger
Membro da banca - UFGD/FCA



Mestrando Wagner Freitas Rigo
Membro da banca - UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS – Leidimara Moreira dos Santos

À Deus pelo dom da vida, saúde e pelas oportunidades que alcancei.

À Nossa Senhora Aparecida, por quem sou eternamente grata e devota pela força e proteção de meus caminhos.

Aos meus pais, Pedro Moreira dos Santos e Leidiana Aparecida Lourenço dos Santos, pelo apoio e compreensão em todas as etapas da minha vida.

Aos meus irmãos Henrique e Valentina, pelos momentos de alegria.

À Terezinha Braulino, pelo incentivo e pela sustentação ao longo de todos esses anos.

À minha tia Benedita e à minha prima Jessica, por me amparar e me receber nos momentos em que precisei.

Em memória à Marlene Moreira, minha querida tia que sempre acreditou que sou capaz de conquistar as coisas que almejo.

À minha amiga Maria Cristina, pela amizade de infância e companheirismo nos momentos felizes e tristes.

Às minhas amigas Eduarda Matos, Ana Clara Astolfi e Talita Ramos, pela boa amizade desde o início do curso (que espero que perdure), pelos bons momentos e pela colaboração no trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli, pelos ensinamentos passados durante o período em que participei das pesquisas no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas – LAPREP, e pelo auxílio com o presente trabalho.

Aos professores que me acompanharam durante a graduação.

Aos demais integrantes do laboratório, que ajudaram de alguma forma.

Por fim, agradeço à Universidade Federal da Grande Dourados por proporcionar o desenvolvimento desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS – Regianne Fernandes da Silva

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para enfrentar os obstáculos ao longo desses anos.

À minha família, especialmente aos meus pais, por todo apoio e incentivo.

As pessoas queridas que, infelizmente, partiram.

Aos amigos que fiz durante a trajetória dentro da universidade.

Aos colegas que colaboraram durante o projeto.

Aos colegas do Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas – LAPREP, por ajudarem a tornar possível esse trabalho.

À Universidade Federal da Grande Dourados- UFGD e a todos os professores do curso de Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias por todo ensinamento.

Por fim, agradeço ao orientador Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli pelo auxílio e ensinamentos para a realização desse trabalho.

SANTOS, Leidimara Moreira; SILVA, Regianne Fernandes. **Cinética de secagem de folhas de manjerição-anis (*Ocimum selloi* Benth)**. 2024. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

RESUMO

O *Ocimum selloi* Benth, conhecido como manjerição-anis, destaca-se por suas propriedades medicinais e aromáticas, sendo amplamente utilizado na culinária e na indústria, especialmente em medicamentos e cosméticos. Devido à sua natureza medicinal, o manjerição-anis possui um alto teor de água em sua composição, tornando-o suscetível   degradação durante o armazenamento. Diante do crescente cultivo de plantas medicinais no Brasil e da necessidade de informações sobre processos pós-colheita para a expansão comercial dessas espécies, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes temperaturas e velocidades do ar na cinética de secagem das folhas da planta manjerição-anis. A secagem das folhas ocorreu em condições controladas de temperatura (40, 50, 60 e 70 C) e velocidades do ar de secagem de 0,4 ms⁻¹ e 0,8 ms⁻¹ em um secador experimental de leito fixo. Para a realização do experimento, foram conduzidas duas repetições para cada temperatura e velocidades do ar de secagem, utilizando aproximadamente 40 g em cada bandeja do secador, com intervalos de 5 a 30 minutos entre as pesagens. Os dados experimentais da razão de umidade durante a secagem foram submetidos à análise de regressão não linear pelo método de Gauss-Newton para o ajuste do modelo de difusão e obtenção do coeficiente de difusão efetivo. Dentre os modelos matemáticos ajustados para prever o processo de secagem das folhas de manjerição-anis, apenas o modelo de Midilli apresentou um ajuste satisfatório em todas as condições do ar de secagem. Com o aumento da temperatura e da velocidade do ar, observou-se uma redução no tempo de secagem das folhas de manjerição-anis. A temperatura do ar teve um impacto mais significativo na diminuição do tempo de secagem, enquanto a velocidade do ar mostrou um efeito mais pronunciado na redução do tempo de secagem para a temperatura do ar de 40  C. Os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem.

Palavras-chave: Modelo de Midilli. Planta medicinal. Difusão.

ABSTRACT

Ocimum selloi Benth, known as anise basil, stands out for its medicinal and aromatic properties, being widely used in cooking and industry, especially in medicines and cosmetics. Due to its medicinal nature, anise basil has a high-water content in its composition, making it susceptible to degradation during storage. Given the growing cultivation of medicinal plants in Brazil and the need for information on post-harvest processes for the commercial expansion of these species, this study aimed to evaluate the effect of different temperatures and air velocities on the drying kinetics of basil plant leaves-anise. Drying of the leaves occurred under controlled temperature conditions (40, 50, 60 and 70°C) and drying air speeds of 0.4 ms⁻¹ and 0.8 ms⁻¹ in an experimental fixed-bed dryer. To carry out the experiment, two repetitions were conducted for each drying temperature and air speed, using approximately 40 g in each dryer tray, with intervals of 5 to 30 minutes between weighings. The experimental data on the moisture ratio during drying were subjected to non-linear regression analysis using the Gauss-Newton method to adjust the diffusion model and obtain the effective diffusion coefficient. Among the mathematical models adjusted to predict the drying process of basil-anise leaves, only the Midilli model presented a satisfactory fit in all drying air conditions. With the increase in temperature and air velocity, a reduction in the drying time of the basil-anise leaves was observed. Air temperature had a more significant impact on decreasing drying time, while air velocity showed a more pronounced effect on reducing drying time for air temperature of 40 °C. The values of the effective diffusion coefficient increased with increasing temperature and drying air speed.

Keywords: Midilli model. Medicinal plant. Diffusion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Realização da pesagem (A) da bandeja antes das folhas de manjeriçã-anis e repetições (B) das bandejas no leito de secagem.	9
Figura 2. Secador experimental utilizado para a secagem das folhas de manjeriçã-anis (<i>Ocimum selloi</i> Benth).	10
Figura 3. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para velocidade do ar de secagem de $0,4 \text{ ms}^{-1}$	17
Figura 4. Valores da taxa de redução de água durante o processo de secagem das folhas de manjeriçã-anis para a velocidade do ar de secagem de $0,4 \text{ ms}^{-1}$	17
Figura 5. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ ms}^{-1}$	18
Figura 6. Valores da taxa de redução de água durante o processo de secagem das folhas de manjeriçã-anis para a velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ ms}^{-1}$	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem das folhas de manjeriçã-anis (<i>Ocimum selloi</i> Benth).	11
Tabela 2. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na modelagem das curvas de secagem das folhas de manjeriçã-anis (<i>Ocimum selloi</i> Benth) para as diferentes condições do ar de secagem.....	15
Tabela 3. Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem das folhas de manjeriçã (<i>Ocimum selloi</i> Benth).	19
Tabela 4. Coeficiente de difusão efetivo (D_i) ajustado as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem em camada delgada das folhas de manjeriçã (<i>Ocimum selloi</i> Benth).	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1	MANJERICÃO-ANIS (<i>Ocimum selloi</i> Benth).....	4
2.2	CINÉTICA DE SECAGEM.....	4
2.3	MODELOS MATEMÁTICOS	5
2.3.1	Modelo Aproximação da Difusão	5
2.3.2	Modelo Dois Termos	6
2.3.3	Modelo Exponencial de Dois Termos	6
2.3.4	Modelo de Henderson e Pabis modificado	6
2.3.5	Modelo Logarítmico	7
2.3.6	Modelo Midilli	7
2.3.7	Modelo Page	8
2.3.8	Modelo Thompson	8
3	MATERIAIS E MÉTODOS	9
3.1	CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE MANJERICÃO-ANIS.....	10
3.1.1	Razão de umidade	10
3.1.2	Determinação do coeficiente de difusão efetivo	12
3.1.3	Influência da temperatura	12
3.1.4	Análise estatística	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5	CONCLUSÃO	22
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 INTRODUÇÃO

O *Ocimum selloi* Benth, popularmente conhecido como manjeriçã-anis, destaca-se pelas suas propriedades medicinais e aromáticas, sendo amplamente utilizado na culinária, mas por se tratar de uma planta com grande teor de óleos essenciais se torna muito importante na indústria, tanto no setor de medicamentos quanto na de cosméticos.

A história do uso de plantas para fins medicinais é antiga e remonta aos primórdios da civilização humana. Na verdade, é considerada uma das formas mais antigas de práticas médicas. Uma proporção significativa da população de países em desenvolvimento, variando de 65% a 80%, depende exclusivamente de plantas medicinais para cuidados básicos de saúde, conforme relatório da Organização Mundial da Saúde no início da década de 1990 (Veiga Junior et al., 2005).

O uso de plantas medicinais no tratamento/prevenção de doenças ocorre pelo fato de poder ser consumido juntamente com medicamentos convencionais, e por se tratar de um medicamento fitoterápico extraído diretamente da planta faz com que tenha melhor aceitação pelas pessoas, outro grande aliado na difusão do uso de plantas medicinais é o conhecimento popular que passa de geração para geração.

A grande diversidade botânica e o patrimônio cultural do Brasil tornaram o uso de plantas medicinais amplamente difundido (Santos et al., 2008). A demanda mundial por produtos terapêuticos, ervas e plantas aromáticas tem aumentado diariamente, e no Brasil também (Martinazzo et al., 2007). O papel das plantas medicinais na terapia sofre variações ao longo das épocas, estando intrinsecamente relacionado ao estado do desenvolvimento dos tratamentos. É inegável que os medicamentos sintéticos tiveram um papel crucial na melhoria dos padrões de vida ao longo do último século; no entanto, a medicina herbal tem recuperado sua relevância nos últimos anos. A abordagem de uma única substância muitas vezes não é suficiente para tratar doenças de longo prazo. Em vez de focar exclusivamente na cura de uma enfermidade, as pessoas têm direcionado mais atenção para fortalecer todo o sistema imunológico, buscando prevenir o surgimento de doenças. Além de seu uso tradicional na área farmacêutica, as plantas medicinais também se destacam como uma importante fonte para a descoberta e produção de medicamentos. A medicina de fitoterápicos desempenha um papel fundamental na promoção da saúde em diversas regiões do mundo (Poós e Varju, 2017). No entanto, essa produção requer um conhecimento prévio de aspectos botânicos, agrônômicos,

fitoquímicos, farmacológicos e toxicológicos, bem como de metodologias analíticas e tecnológicas (Miguel e Miguel, 2004).

O manjeriço-anis por se tratar de uma planta medicinal apresenta alto teor de água na sua composição o que o torna muito suscetível a degradação durante sua armazenagem. A demanda por uma agricultura sustentável e eficiente requer o desenvolvimento de técnicas eficazes para todas as fases da produção agrícola, particularmente para as diversas culturas de cereais cultivadas. Quando se trata de plantas medicinais, as práticas culturais e de processamento devem ser cuidadosamente controladas para preservar os compostos químicos utilizados na preparação de alimentos e fitoterápicos. Desse modo as técnicas de secagem adequadas são especialmente essenciais para que retenha as propriedades medicinais da planta, garantindo o máximo aproveitamento. A água é a principal responsável pelo aumento de atividades metabólicas e mudanças químicas e físicas que ocorrem no produto durante o seu armazenamento até o seu processamento ou consumo, sendo assim, é de fundamental importância para a manutenção da qualidade das plantas medicinais após a colheita a redução de seu teor de água por meio da secagem (Goneli et al., 2014).

A secagem de plantas medicinais é um procedimento destinado a adequar as plantas para um armazenamento seguro, preservando suas propriedades medicinais. Esse processo visa atender às demandas das indústrias farmacêuticas de fitoterápicos, que enfrentam restrições no uso de plantas frescas em larga escala para a produção industrial. O objetivo é assegurar a manutenção das propriedades medicinais das plantas, garantindo a qualidade necessária para a elaboração dos produtos farmacêuticos (Lorenzi e Matos, 2008).

A retirada de água dos produtos agrícolas representa um processo intrincado, que engloba a transferência simultânea de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser seco. Nesse processo, o aumento da temperatura resulta no aumento da pressão parcial de vapor no produto, ocasionando a diminuição do teor de água presente no mesmo (Goneli et al., 2014a).

Diversas técnicas são empregadas para a secagem de plantas medicinais, incluindo secagem ao sol, secagem à sombra, secagem assistida por energia solar, liofilização, secagem por micro-ondas, secagem por vácuo no forno micro-ondas, secagem assistida por bomba de calor e secagem por infravermelho. Para avaliar a eficácia dessas diferentes técnicas de secagem, vários fatores que impactam o processo de secagem precisam ser considerados, tais como a faixa de temperatura do ar de secagem, a velocidade do ar e a capacidade do sistema de secagem (Khallaf e El-Sebaii, 2022). A desidratação de produtos agrícolas em nível comercial e industrial é normalmente realizada em secadores. Essas máquinas extraem o excesso de teor

de água das camadas densas do produto. Frequentemente, camadas menores ou individuais são experimentadas para auxiliar pesquisas subsequentes na secagem de camadas mais espessas. Esses experimentos podem ser conduzidos em diferentes temperaturas e velocidades do ar, a fim de medir a velocidade do processo de secagem dependente desses fatores.

Temperatura e fluxo de ar são os elementos-chave que regem a secagem de produtos agrícolas, com a temperatura exercendo um efeito mais expressivo. Quando o volume de ar direcionado para o produto é aumentado, a taxa de perda de água também acelera, reduzindo potencialmente o tempo de secagem, mas com a possibilidade de problemas de qualidade. O impacto da velocidade do ar nas taxas de secagem depende do tipo de produto, teor inicial de água, técnica de secagem e temperatura, o que significa que a contribuição do fluxo de ar para o tempo de secagem varia dependendo dessas variáveis (Martins, 2019).

Com isso, estuda-se a cinética de secagem, onde são feitas pesquisas em laboratório com diferentes temperaturas e velocidades de ar em camadas delgadas, sendo a mesma formada pela espessura de uma única unidade de produto. Ao realizar o estudo da secagem de produtos agrícolas em camada delgada, consegue-se descrever a curva de secagem do produto, e ajustar modelos matemáticos que representem o devido processo de modo satisfatório. Como citado por Celma et al. (2009), analisar o comportamento das curvas de secagem em diversas condições atmosféricas, bem como aplicar modelos matemáticos para ajustar essas curvas em produtos agrícolas, é essencial. Além disso, determinar a difusão efetiva e a energia de ativação são aspectos cruciais para o desenvolvimento de projetos e a construção de equipamentos de secagem específicos para diferentes produtos agrícolas.

Deste modo, tendo em vista o aumento do cultivo de plantas medicinais no Brasil, com consequente necessidade de informações a respeito dos processos de pós-colheita para ampliação do cultivo comercial destas espécies, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes temperaturas e velocidades do ar sobre a cinética de secagem de folhas de manjeriço-anis (*Ocimum selloi* Benth).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MANJERICÃO-ANIS (*Ocimum selloi* Benth)

A família Lamiaceae tem uma significativa importância econômica devido à sua grande quantidade de espécies aromáticas. Entre elas, destaca-se o gênero *Ocimum*, que inclui várias plantas popularmente conhecidas como manjeriço ou alfavaca, reconhecidas pelo seu aroma característico e uso medicinal. Uma dessas plantas é o *Ocimum selloi* Benth, vulgarmente chamado de elixir-paregórico, anis ou alfavaquinha. Este subarbusto perene tem um crescimento ereto e ramificado, sendo nativo do sul e sudeste do Brasil e cultivado em jardins e hortas domésticas devido aos seus benefícios tanto culinários quanto medicinais. Pode se reproduzir através de sementes ou mudas, preferindo terrenos bem drenados e parcialmente sombreados para seu desenvolvimento ideal. Suas folhas e inflorescências frescas possuem propriedades digestivas e hepático-biliares, sendo utilizadas para aliviar gases intestinais, tratar gastrite, vômitos, tosse, bronquite, gripe, febre e resfriados (Lorenzi e Matos, 2002).

O *Ocimum selloi* Benth também apresenta um aroma característico de anis, o que o diferencia de outras variedades de manjeriço. Sua preparação mais comum é em forma de chá. Além dos benefícios mencionados anteriormente, conforme relatado por Pavi et al. (2021), a espécie demonstra potenciais anti-inflamatório, antiedematoso, anti-hiperalgésico e antinociceptivo a partir dos materiais extraídos das folhas de *Ocimum selloi*, especialmente em extrato aquoso, corroborando, assim, a validade do uso popular dessa espécie.

O potencial do óleo essencial estende-se à fabricação de produtos voltados para uso veterinário, farmacêutico e agrícola (Facanali et al., 2015). De acordo com as pesquisas feitas por Paula et al. (2004), as propriedades presentes no óleo essencial do manjeriço-anis também podem ser usadas como repelente de mosquitos que causam a doença de Chagas (*Anopheles braziliensis*), tendo uma efetividade média de 98% contra as picadas dentre os 06 voluntários.

2.2 CINÉTICA DE SECAGEM

A cinética de secagem refere-se ao estudo da taxa de remoção de água de um produto durante o processo de secagem. Esse campo de pesquisa é importante em diversas áreas da indústria, incluindo a de alimentos, agricultura, química e farmacêutica, onde a remoção eficaz de água é de suma importância para a preservação, armazenamento e processamento adequado

dos produtos. Ela analisa como a água é removida ao longo do tempo e como fatores como a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e características do produto afetam o processo. A cinética de secagem pode ser descrita através das curvas de secagem que representam a variação do teor de água do produto ao longo do tempo. Além disso, são utilizados modelos matemáticos para melhor descrever o processo de secagem, permitindo a previsão e otimização dos processos industriais. Esses modelos ajudam a entender a transferência de calor e massa durante a remoção de água.

A obtenção e modelagem das curvas de secagem de um produto específico fornecem meios para determinar índices físicos e termodinâmicos associados às transferências de calor e massa, sendo essenciais para o dimensionamento apropriado de toda a estrutura empregada no processo de secagem. Por conseguinte, ao avaliar esses índices, é possível comparar a secagem entre espécies ou materiais distintos, considerando as particularidades dos produtos, como diferentes finalidades e requisitos, como por exemplo a distinção entre grãos e sementes. Entre os diversos indicadores empregados para analisar a cinética de secagem de produtos agrícolas, ressalta-se o coeficiente de difusão como um dos mais significativos. Este índice viabiliza a avaliação e comparação da rapidez de secagem entre produtos que variam em termos de tamanhos, formas e texturas. Dessa forma, ao examinar a correlação do coeficiente de difusão com a temperatura, torna-se possível determinar alguns índices termodinâmicos que facultam uma avaliação energética do processo de secagem (Botelho et al., 2015).

O entendimento das propriedades termodinâmicas nos procedimentos de secagem de produtos agrícolas é uma fonte crucial de informações. Esses dados são essenciais para o design de equipamentos de secagem, o cálculo da energia necessária nesse processo, a análise das propriedades da água adsorvida e a avaliação da microestrutura dos alimentos, bem como para o estudo dos fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos alimentos (Corrêa et al., 2010).

2.3 MODELOS MATEMÁTICOS

2.3.1 Modelo Aproximação da Difusão

O modelo Aproximação da Difusão é baseado na Segunda Lei de Fick e amplamente utilizado para representar a remoção de água de produtos sólidos em camada fina durante o processo de secagem. E como apresentado por Corrêa (2010), a Equação 1 pode ser descrita como:

$$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta) \quad (1)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

k: coeficiente de secagem, h^{-1} ;

θ : tempo de secagem, h;

a e b: constantes.

2.3.2 Modelo Dois Termos

O modelo Dois Termos é frequentemente usado para descrever a secagem de produtos que apresentam diferentes comportamentos em fases iniciais e finais do processo. Segundo Henderson (1974), a Equação 2 pode ser expressa como:

$$RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta) \quad (2)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

k_0 e k_1 : coeficientes de secagem, h^{-1} ;

θ : tempo de secagem, h;

a e b: constantes.

Esse modelo é mais flexível porque permite que duas fases distintas do processo de secagem sejam modeladas separadamente.

2.3.3 Modelo Exponencial de Dois Termos

Este modelo é uma variação exponencial do modelo Dois Termos citado anteriormente, podendo ser descrito na Equação 3:

$$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k a \theta) \quad (3)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

k: coeficiente de secagem, h^{-1} ;

θ : tempo de secagem, h;

a: constante.

2.3.4 Modelo de Henderson e Pabis

O modelo é proposto por Henderson e Pabis (1961) para descrever as curvas de secagem, que é frequentemente usado para analisar o processo de secagem de diversos materiais, como alimentos e produtos agrícolas. Podendo ser expresso na Equação 4:

$$RU = a \exp(-k \theta) \quad (4)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

k: coeficiente de secagem, h^{-1} ;

θ : tempo de secagem, h;

a: constantes.

2.3.5 Modelo Logarítmico

Este modelo emprega uma equação logarítmica para descrever a redução do teor de água ao longo do tempo. Representa uma alternativa aos modelos exponenciais, sendo aplicável em situações específicas em que a taxa de secagem diminui progressivamente. Demonstrado pela Equação 5:

$$RU = a \exp(-k t) + c \quad (5)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

k: coeficiente de secagem, h^{-1} ;

t: tempo de secagem, h;

a e c: constantes.

2.3.6 Modelo Midilli

O modelo de Midilli (2002) é utilizado para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas e materiais semelhantes em camada única. Ele é uma extensão do modelo de difusão de Fick, que é amplamente aplicado na engenharia de processos de secagem. Sendo descrito na Equação 6:

$$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta \quad (6)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

k: coeficiente de secagem, h^{-1} ;

θ : tempo de secagem, h;

n: parâmetro de ajuste;

a, b e c: constantes.

2.3.7 Modelo Page

De acordo com Page (1949), a Equação 7 pode ser usada para representar a taxa de secagem de produtos agrícolas. A equação do modelo de Page pode ser dada por:

$$RU = \exp(-k \theta^n) \quad (7)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

k: coeficiente de secagem, h^{-1} ;

θ : tempo de secagem, h;

n: parâmetro de ajuste.

Essa equação assume uma curva exponencial, sendo comum para muitos processos de secagem. O parâmetro **n** pode assumir valores diferentes, dependendo das características específicas do produto e do processo de secagem.

2.3.8 Modelo Thompson

Este modelo é uma extensão do modelo de Page e é empregado na representação do processo de secagem em camadas finas, adotando a forma geral de uma equação exponencial. Com base em resultados experimentais, Thompson et al. (1968) propuseram um modelo empírico para descrever a relação entre a razão de umidade e o tempo de secagem, expresso pela Equação 8:

$$RU = \exp\left(\left(-a - (a^2 + 4 b \theta)^{0,5}\right) / 2 b\right) \quad (8)$$

Onde:

RU: razão de umidade do produto;

θ : tempo de secagem;

a e b: constantes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi implantado na área experimental de Pós-colheita de Grãos e as coletas dos dados no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas – LAPREP, no município de Dourados, MS, localizados na Faculdade de Ciências Agrárias – FCA da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.

Foram utilizadas folhas de manjericão-anis (*Ocimum selloi* Benth), coletadas no período da manhã de forma aleatória, evitando a coleta após irrigação, precipitações ou orvalho, para que não houvesse variação do teor de água decorrente destas interferências. Depois de coletadas, as folhas passaram por separação, retirando as que apresentaram doenças ou estavam danificadas.

Para a determinação do teor de água das amostras foi utilizado uma estufa de circulação de ar forçada a 103 ± 1 °C, por meio do método gravimétrico para forrageiras e plantas similares, por 24 horas como recomendado pela ASABE (2010). As folhas foram colhidas com teor de água inicial de cerca de 80% b.u. e retiradas do secador com aproximadamente 8% b. u..

A secagem das folhas foi realizada para diferentes condições controladas de temperatura (40, 50, 60 e 70°C) e velocidades do ar de secagem de $0,4 \text{ ms}^{-1}$ e $0,8 \text{ ms}^{-1}$ em um secador experimental de leito fixo Figura 1B. Foram feitas duas repetições para cada temperatura e velocidades do ar de secagem com aproximadamente 40 g em cada bandeja do secador, com intervalos de 5 a 30 minutos entre as pesagens.

A.

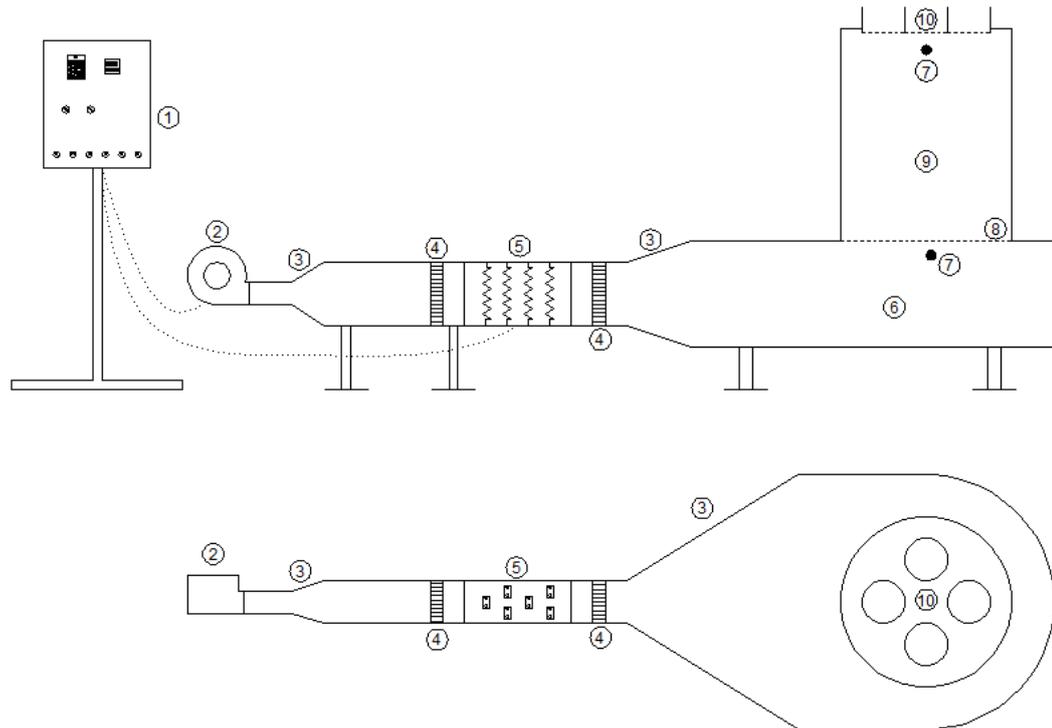


B.



Figura 1. Realização da pesagem (A) da bandeja antes das folhas de manjericão-anis e repetições (B) das bandejas no leito de secagem.

Ademais, a Figura 2 apresenta o secador experimental tipo leito fixo, onde as folhas foram secas, com câmara de secagem medindo 0,80 m de diâmetro e 1,0 m de altura. O secador utiliza um conjunto de resistências elétricas totalizando 12 kW de potência e associado um ventilador centrífugo de 0,75 kW de potência (Ibram, modelo VSI-160). A temperatura do secador é regulada por meio de um controlador de processo universal da marca Novus (modelo N1200) utilizando o controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID).



1 - Painel de controle; 2 - Ventilador centrífugo; 3 - Expansões; 4 - Homogeneizadores de ar; 5 - Resistências elétricas; 6 - Plenum; 7 - Ponto de medição de temperatura do ar; 8 - Fundo telado; 9 - Leito de secagem; 10- Bandejas para secagem em camada delgada.

Figura 2. Secador experimental utilizado para a secagem das folhas de manjeriço-anis (*Ocimum selloi* Benth).

Fonte: Adaptado de Martins (2015).

3.1 CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE MANJERICÃO-ANIS

3.1.1 Razão de umidade

A razão de umidade para as diferentes condições do ar de secagem, foi determinada por meio da Equação 9.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (9)$$

em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional;

U: teor de água do produto em um determinado tempo, decimal b.s.;

U_e: teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.; e

U_i: teor de água inicial do produto, decimal b.s..

Os dados observados foram ajustados aos tradicionais modelos matemáticos, Tabela 1, utilizados por vários pesquisadores para estudar a cinética de secagem de plantas medicinais (Martinazzo et al., 2007; Radünz et al., 2011; Prates et al., 2012; Reis et al., 2012; Goneli et al., 2014a; Goneli et al., 2014b).

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem das folhas de manjeriço-anis (*Ocimum selloi* Benth).

Designação do modelo	Modelo	
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta)$	(1)
Dois termos	$RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$	(2)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k a \theta)$	(3)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-k \theta)$	(4)
Logarítmico	$RU = a \exp(-k t) + c$	(5)
Midilli	$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta$	(6)
Page	$RU = \exp(-k \theta^n)$	(7)
Thompson	$RU = \exp\left(\left(-a - (a^2 + 4 b \theta)^{0,5}\right) / 2 b\right)$	(8)

em que:

θ : tempo de secagem, h;

k, k₀, k₁: constantes de secagem, h⁻¹;

a, b, c, n: coeficientes dos modelos.

A taxa de redução de água (TRA) durante a secagem das folhas foi determinada pela Equação 10, conforme descrito por Corrêa et al. (2001). Os mesmos autores conceituam a TRA como a quantidade de água que um determinado produto perde por unidade de matéria seca por unidade de tempo.

$$\text{TRA} = \frac{\text{Ma}_0 - \text{Ma}_i}{\text{MS}(t_i - t_0)} \quad (10)$$

em que:

TRA: taxa de redução de água, $\text{kg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$;

Ma_0 : massa de água total anterior, kg;

Ma_i : massa de água total atual, kg;

MS: massa de matéria seca, kg;

t_0 : tempo total de secagem anterior, h; e

t_i : tempo total de secagem atual, h.

3.1.2 Determinação do coeficiente de difusão efetivo

O coeficiente de difusão efetivo para as folhas da planta medicinal foi obtido ajustando o modelo matemático de difusão líquida (Equação 11) com base em dados experimentais para as várias situações de ar de secagem. A solução analítica da Segunda Lei de Fick é apresentada nesta equação, levando em consideração a forma geométrica da placa plana do produto e uma aproximação de oito termos.

$$\text{RU} = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n_t=0}^{\infty} \frac{1}{(2n_t+1)^2} \exp \left[-(2n_t + 1)^2 \pi^2 D_i \left(\frac{\theta}{4L} \right)^2 \right] \quad (11)$$

em que:

D_i : coeficiente de difusão, m^2s^{-1} ;

L: espessura do produto, m;

n_t : número de termos.

Para determinar a espessura das folhas foi utilizado um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. O processo de medição envolve fazer cinco medições em locais diferentes em cada uma das 50 folhas, seguidas do cálculo do valor médio dessas medições. Após as medições foi calculada a espessura média das folhas de manjeriço, a qual foi de 0,211 mm.

3.1.3 Influência da temperatura

Na avaliação da influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, a equação de Arrhenius (Equação 12) foi utilizada.

$$D_i = D_0 \exp \left(\frac{E_a}{R T_a} \right) \quad (12)$$

em que:

D_0 : fator pré-exponencial;

R : constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1}\text{K}^{-1}$;

T_a : temperatura, K; e

E_a : energia de ativação, kJ mol^{-1} .

3.1.4 Análise estatística

Os dados experimentais de razão de umidade durante a secagem, em camada delgada das folhas de manjeriço-anis foram submetidos à análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton, para o ajuste do modelo da difusão e obtenção do coeficiente de difusão efetivo. Para o ajuste aos dados experimentais, foi utilizado um programa computacional de estatística.

Para a escolha do modelo matemático que melhor representasse o processo de secagem das folhas em diversas condições de ar, avaliou-se o grau de ajuste de cada modelo. Essa avaliação foi conduzida por meio da análise dos valores do erro médio relativo (P), os quais indicam o quão distantes os dados observados estão dos valores estimados pelo modelo matemático em estudo (Kashaninejad et al., 2007). Além disso, utilizou-se o desvio padrão da estimativa (SE) como outro parâmetro de avaliação. O desvio padrão da estimativa indica a capacidade de um modelo descrever com precisão um determinado processo físico. Quanto menor o valor do desvio padrão, melhor a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados experimentais obtidos (Draper e Smith, 1998). Adicionalmente, realizou-se a análise dos valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2). Os cálculos dos valores de P e SE foram realizados por meio das Equações 13 e 14, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n_o} \sum_{i=1}^{n_o} \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o} (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

em que:

n_o : número de observações experimentais;

Y : valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo; e

GLR: graus de liberdade do modelo.

Além disso, estabeleceu-se como critério de seleção a escolha de um modelo que demonstrasse ajuste satisfatório em todas as condições do ar de secagem abordadas neste estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos, após serem ajustados aos dados experimentais, demonstraram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,98, conforme evidenciado na Tabela 2.

Tabela 2. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na modelagem das curvas de secagem das folhas de *Ocimum selloi* Benth para as diferentes condições do ar de secagem.

Modelos	0,4 m s ⁻¹			0,8 m s ⁻¹		
	SE (decimal)	P (%)	R ² (decimal)	SE (decimal)	P (%)	R ² (decimal)
40°C						
(1)	0,0061	5,2658	0,9998	0,0087	7,4616	0,9996
(2)	0,0062	5,2663	0,9998	0,0088	7,4897	0,9996
(3)	0,0214	7,8393	0,9979	0,0399	27,1066	0,9918
(4)	0,0230	8,6638	0,9976	0,0429	25,4091	0,9904
(5)	0,0220	4,9993	0,9979	0,0345	15,7421	0,9940
(6)	0,0140	9,6879	0,9991	0,0125	5,2281	0,9992
(7)	0,0183	10,6306	0,9985	0,0126	4,2149	0,9992
(8)	0,0289	17,3561	0,9962	0,0181	11,9512	0,9983
50°C						
(1)	0,0079	3,2459	0,9996	0,0191	15,4403	0,9980
(2)	0,0076	4,1396	0,9996	0,0183	9,2442	0,9982
(3)	0,0094	9,3709	0,9994	0,0084	11,3456	0,9996
(4)	0,0146	1,9424	0,9984	0,0174	9,1408	0,9983
(5)	0,0077	3,0151	0,9996	0,0164	12,2275	0,9985
(6)	0,0077	2,1965	0,9996	0,0039	1,5944	0,9999
(7)	0,0118	12,8738	0,9990	0,0086	11,4208	0,9996
(8)	0,0093	8,7873	0,9994	0,0239	12,8722	0,9967
60°C						
(1)	0,0090	6,6215	0,9995	0,0202	12,8590	0,9980
(2)	0,0088	6,6333	0,9996	0,0314	19,8338	0,9955
(3)	0,0097	6,3855	0,9994	0,0158	4,6608	0,9988
(4)	0,0110	7,4826	0,9993	0,0301	19,5839	0,9955
(5)	0,0105	5,5702	0,9993	0,0212	13,2440	0,9978
(6)	0,0093	7,2217	0,9995	0,0154	4,6839	0,9989
(7)	0,0094	6,5578	0,9995	0,0167	3,9472	0,9986
(8)	0,0096	6,3989	0,9994	0,0339	24,0667	0,9943
70°C						
(1)	0,0531	50,2718	0,9898	0,0270	23,8225	0,9972
(2)	0,0493	43,5130	0,9922	0,0235	16,0339	0,9980
(3)	0,0141	14,9023	0,9992	0,0155	12,8697	0,9990
(4)	0,0441	43,5141	0,9922	0,0472	36,6715	0,9905
(5)	0,0241	23,1076	0,9979	0,0245	17,6876	0,9976
(6)	0,0079	7,3837	0,9998	0,0079	5,1939	0,9998
(7)	0,0096	7,1777	0,9996	0,0096	5,4773	0,9996
(8)	0,0504	50,2867	0,9898	0,0563	44,4655	0,9864

em que:

SE: desvio padrão da estimativa;

P: erro médio relativo;

R²: coeficiente de determinação ajustado.

Tendo em vista que os valores considerados satisfatórios para o erro médio relativo (P) dos modelos matemáticos devem ser inferiores a 10% (Mohapatra e Rao, 2005) e baixo desvio padrão da estimativa (SE), o modelo que melhor se adequou às folhas de manjeriçã-anis, em todas as condições de ar de secagem avaliadas (Tabela 2), foi o modelo de Midilli (6). Os outros modelos em algumas condições tiveram um bom ajuste, como na temperatura de 60°C, com uma velocidade do ar de secagem de 0,4 ms⁻¹, todos os modelos demonstraram ajuste adequado. Entretanto, essa adequação não se verifica nas demais condições de secagem examinadas. Nas temperaturas mais elevadas (70°C), em ambas as velocidades, apenas os modelos de Midilli e de Page apresentaram um erro médio relativo inferior a 10%.

A capacidade do modelo de Midilli em apresentar um ajuste satisfatório aos dados experimentais de secagem de diversas plantas medicinais está possivelmente associada à rápida perda de água nos estágios iniciais desse processo em produtos desse tipo. Isso resulta em uma curva de secagem mais proeminente e melhor caracterizada matematicamente por este modelo (Goneli et al., 2014a). Em estudos envolvendo outras espécies de folhas medicinais, como *Petroselinum crispum* Mill. (Corrêa Filho et al., 2018), *Cymbopogon citratus* (Gomes et al., 2017), *Casearia sylvestris* Swartz var. língua (Dorneles, 2022) e *Solanum paniculatum* L. (Martins, 2019), observou-se que o modelo de Midilli também foi o que melhor se adequou.

A eficácia do modelo é destacada pela proximidade entre os valores experimentais e a curva estimada em todas as condições examinadas (Figuras 3, 4, 5 e 6), fortalecendo sua utilidade na previsão dos dados de secagem das folhas para o intervalo estudado.

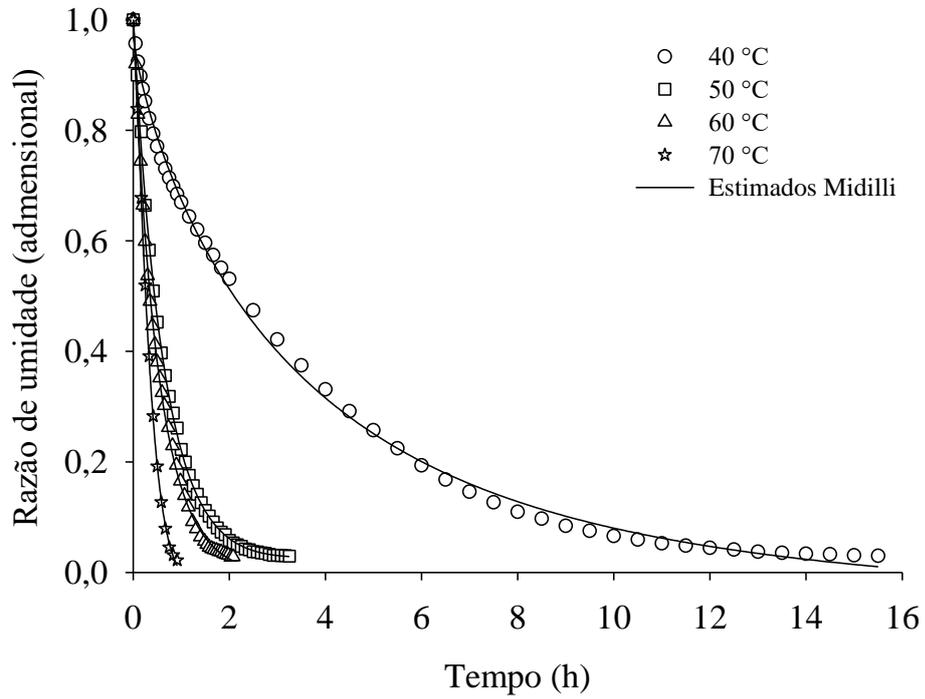


Figura 3. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para velocidade do ar de secagem de $0,4 \text{ ms}^{-1}$.

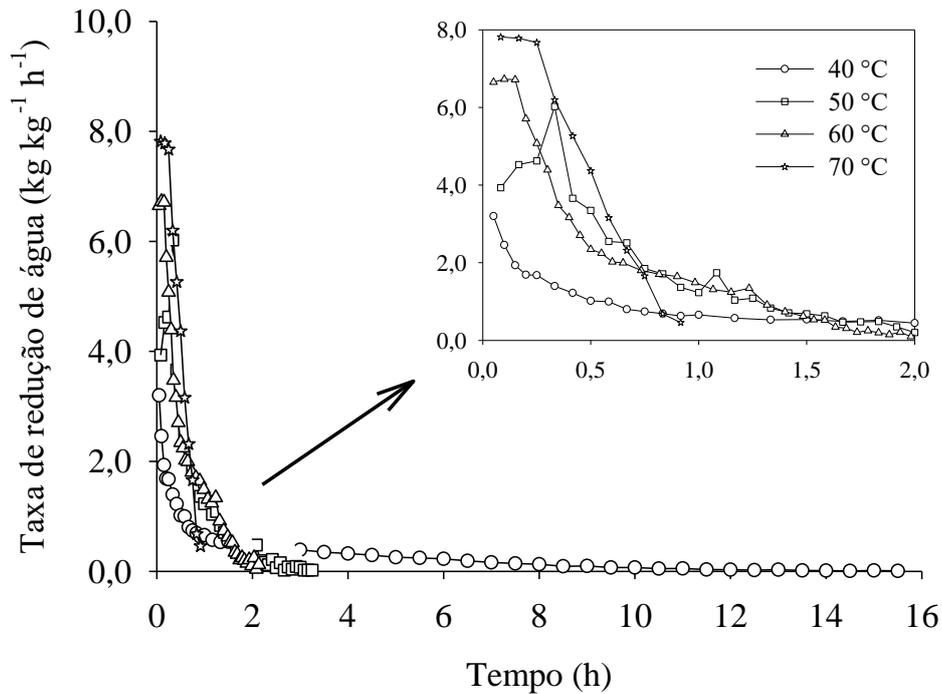


Figura 4. Valores da taxa de redução de água durante o processo de secagem das folhas de manjeriço-anis para a velocidade do ar de secagem de $0,4 \text{ ms}^{-1}$.

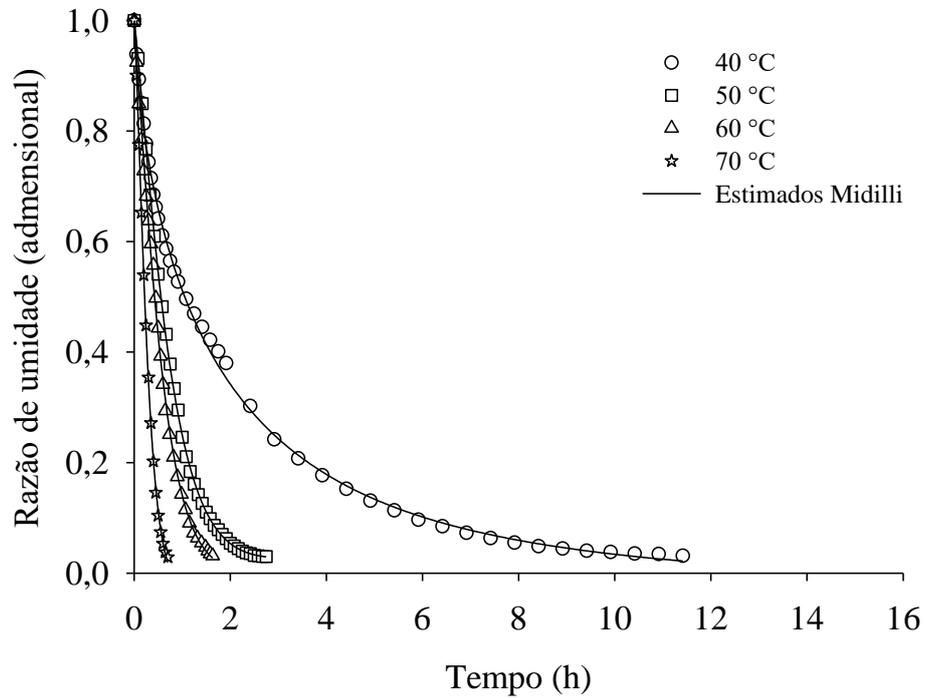


Figura 5. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ ms}^{-1}$.

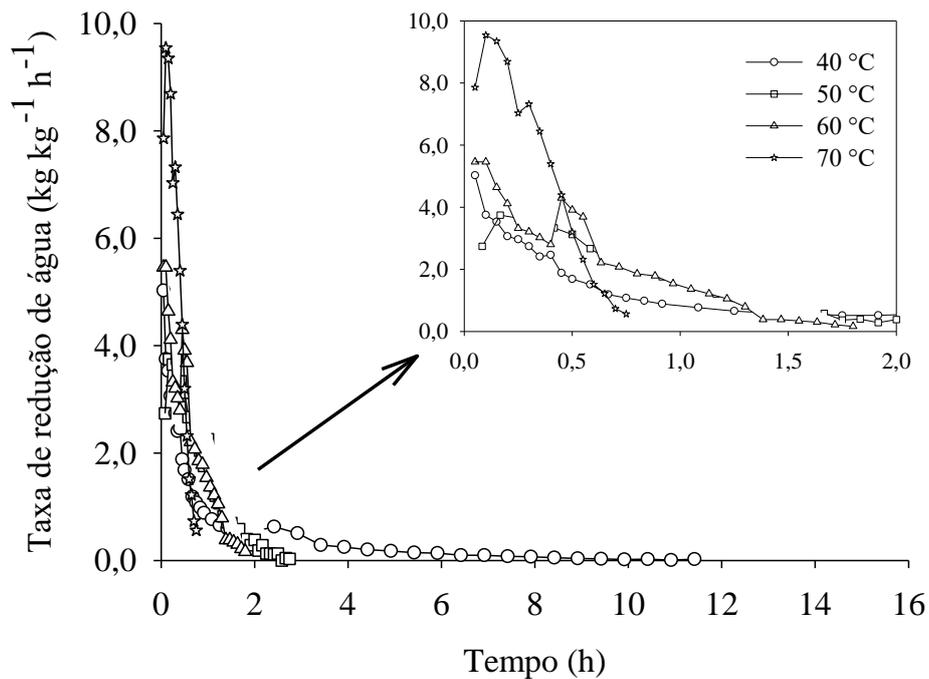


Figura 6. Valores da taxa de redução de água durante o processo de secagem das folhas de manjeriço-anis para a velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ ms}^{-1}$.

O comportamento da água (Figuras 3 e 5) observado em diversos trabalhos com plantas medicinais (Gomes et al., 2017; Goneli et al., 2014a e Martins, 2019), em que há redução no tempo de secagem com a elevação da temperatura era previsto. Assim como o aumento da velocidade do ar também reduziu o tempo das secagens.

A velocidade do ar de secagem é um dos fatores determinantes nos coeficientes de transferência de massa e calor. Portanto, o incremento na velocidade do ar resulta em um aumento desses coeficientes entre o ar e o produto, potencializando a transferência de massa das folhas para o ambiente circundante por unidade de tempo. Esse processo, por conseguinte, reduz o tempo de secagem (Shahhoseini et al., 2013).

Assim como observado por Martins (2019) em seu estudo em folhas de jurubeba, a temperatura exerceu um efeito mais significativo do que a velocidade do ar na redução do tempo de secagem para as folhas de manjeriço atingirem o teor de água de aproximadamente 8% b.u. (Figuras 3 e 5). Este fenômeno, conforme explicado por Martins (2015), decorre do principal fator que desencadeia o processo de secagem em produtos agrícolas: a diferença de pressão de vapor entre o ar de secagem e o produto. A temperatura exerce uma influência direta sobre a pressão de vapor, pois ao aumentar a temperatura do ar de secagem, a diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto se amplia. Em contraste, a velocidade do ar de secagem não afeta a pressão de vapor entre o ar e o produto.

A elevação da temperatura do ar de secagem é um fenômeno que encurta o tempo de secagem devido à diferença na pressão parcial de vapor entre o ar de secagem e o produto durante esse processo (Siqueira et al., 2012). Isso resulta em taxas mais altas da remoção de água. Observa-se que no início das curvas de secagem (Figuras 4 e 6) em ambas as condições a taxa de redução de água foi mais rápida, isto já era esperado porque a água superficial é a primeira a ser evaporada, diferente do final do processo, onde a água está em camadas mais internas dificultando o caminho até a superfície, tendo um gasto de energia maior para a transferência da água fortemente ligada a matéria seca. Quanto ao impacto da velocidade do ar no tempo de secagem das folhas, verifica-se que esse efeito foi mais pronunciado na temperatura de 40°C.

Os parâmetros do modelo de Midilli, ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das folhas de manjeriço-anis em diversas condições de temperatura e velocidades do ar de secagem, estão detalhados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem das folhas de manjeriço (*Ocimum selloi* Benth).

Temperatura (°C)	0,4 m s ⁻¹				0,8 m s ⁻¹			
	a	k	n	b	a	k	n	b
40	0,9714	0,3620	0,8035	-0,0017	1,0129	0,6804	0,6670	-0,0009
50	1,0140	1,5553	0,9666	0,0065	0,9987	1,4147	1,2051	0,0077
60	1,0117	1,8669	0,9384	-0,0019	0,9711	1,9280	1,2458	-0,0002
70	0,9943	3,8813	1,2970	-0,0204	0,9942	5,2011	1,3421	-0,0289

O parâmetro "k" está associado à difusividade efetiva durante a fase decrescente do processo de cinética de secagem, na qual a difusão líquida domina o cenário. Portanto, pode ser empregado como uma aproximação para descrever o impacto da temperatura no processo de secagem (Babalís e Belessiotis, 2004).

Observa-se que, para uma mesma temperatura do ar de secagem, a constante de secagem "k" apresenta consistentemente valores superiores na velocidade do ar de secagem de 0,8 ms⁻¹ em comparação com 0,4 ms⁻¹ (Tabela 3). Isso ocorre porque esse parâmetro está relacionado à difusão de água durante o processo de secagem, e sob uma velocidade do ar de secagem mais alta, resultando em um maior coeficiente de difusão nas folhas de manjeriço-anis (Tabela 4). Esse padrão é corroborado pelos achados de Dorneles (2022) em sua pesquisa com folhas de guaçatonga.

Tabela 4. Coeficiente de difusão efetivo (D_i) ajustado as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem em camada delgada das folhas de manjeriço (*Ocimum selloi* Benth).

Temperatura (°C)	D _i x 10 ⁻¹¹ m ² s ⁻¹	
	0,4 m s ⁻¹	0,8 m s ⁻¹
40	0,1133	0,2052
50	0,6058	0,5465
60	0,7605	0,6999
70	1,2455	1,4785

Os valores do coeficiente de difusão efetiva (D_i) das folhas de manjeriço-anis mostraram aumento à medida que a temperatura do ar de secagem foi elevada, conforme evidenciado na Tabela 4, para ambas as velocidades do ar. Esse padrão de comportamento, em relação à temperatura do ar de secagem, para o D_i de folhas de plantas medicinais, foi também identificado por Martins et al. (2018), Martins (2019), Alves et al. (2017) e Dorneles (2022). Ao considerar a variação da velocidade do ar de secagem para uma temperatura constante,

verificou-se um aumento nos valores de D_i das folhas nas temperaturas de 40°C e 70°C. No entanto, esse padrão não foi evidente nas temperaturas de 50°C e 60°C, indicando uma possível influência limitada da velocidade do ar nessas temperaturas.

A difusividade refere-se à facilidade com que a água é retirada de um determinado material. Variações nessa propriedade impactam diretamente na difusão da água nos capilares dos produtos agrícolas. Isso, aliado à vibração mais intensa das moléculas de água, contribui para um processo de difusão mais ágil (Goneli et al., 2014a).

A energia de ativação, derivada dos coeficientes da equação de Arrhenius ajustados aos valores de D_i para as folhas de manjericão-anis (*Ocimum selloi* Benth) durante o processo de secagem, conforme calculado pela Equação 12, foi de 66,90 kJ mol⁻¹ e 55,25 kJ mol⁻¹ para as folhas secas utilizando velocidades do ar de secagem de 0,4 ms⁻¹ e 0,8 ms⁻¹, respectivamente. Esses cálculos foram realizados para uma faixa de temperatura do ar de secagem de 40 a 70 °C. Conforme esclarecido por Kashaninejad et al. (2007), a energia de ativação constitui uma barreira que deve ser transposta para iniciar o processo de difusão no produto. A elevação da velocidade do ar de secagem resultou na diminuição dos valores de energia de ativação, um fenômeno também observado por Alves et al. (2017) no contexto das folhas de *Hyptis suaveolens*.

5 CONCLUSÃO

Entre os modelos matemáticos ajustados para prever o processo de secagem das folhas de manjeriço-anis, apenas o modelo de Midilli apresentou um ajuste satisfatório em todas as condições do ar de secagem.

Com o aumento da temperatura e da velocidade do ar, observou-se uma redução no tempo de secagem das folhas de manjeriço-anis. A temperatura do ar teve um impacto mais significativo na diminuição do tempo de secagem, enquanto a velocidade do ar mostrou um efeito mais pronunciado na redução do tempo de secagem para a temperatura do ar de 40 °C.

Paralelamente, os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram com o aumento da temperatura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. J. L.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; BRANQUINHO, N. A. de A. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 19, n. 2, p. 168-176, 2017. DOI: [10.1590/1983-084X/0013](https://doi.org/10.1590/1983-084X/0013). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326683963_Cinetica_de_secagem_das_folhas_de_Hyptis_suaveolens. Acesso em: 05 fev. 2024.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Moisture Measurement – Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers** (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p.684-685.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying condition on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223932282_Influence_of_the_drying_conditions_on_the_drying_contents_and_moisture_diffusivity_during_the_thin_layer_drying_of_figs. Acesso em: 04 fev. 2024.

BOTELHO, F. M.; GARCIA, T. R. B.; VIANA, J. L.; BOTELHO, S. C. C.; SOUSA, A. M. B. 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, 2015. Disponível em: https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/610/pdf_424. Acesso em: 8 jan. 2024.

CORRÊA FILHO, L. C.; MARTINAZZO, A. P.; TEODORO, C. E. de S.; ANDRADE, E. T. Post-harvest of parsley leaves (*Petroselinum crispum*): Mathematical modelling of drying and sorption processes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 131-136, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p131-136>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/8DFcNq3qTV4ZBdB5tPYzNtS/abstract/?lang=en>. Acesso em: 02 fev. 2024.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000500005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/GjxCxPngRWvBXzXt3ZGQNgC/?lang=pt#>. Acesso em: 8 jan. 2024.

DORNELES, Luana do Nascimento Silveira. **Secagem e armazenamento de folhas de guaçatonga (*Casearia sylvestris* Swartz var. língua): caracterização de folhas e extratos aquosos**. 2022. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.

- FACANALI, R.; COLOMBO, C. A.; TEIXEIRA, J. P.F.; MING, L. C.; ZUCCHI, M. I.; MARQUES, M. O.M. Genetic and chemical diversity of native populations of *Ocimum selloi* Benth. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 249-257, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.045>. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c8b127cf-0022-4deb-b187-8461814b5208/content>. Acesso em: 8 jan. 2024.
- GOMES, N. H. F.; SILVA NETO, H. C.; ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUSA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. *Engevista*, v. 19, n. 2, p. 328- 338, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22409/engevista.v19i2.837>. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/9105>. Acesso em: 03 fev. 2024.
- 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. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_041. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/m3n64LHvFBQ7cNVNwc7RTvJ/>. Acesso em: 08 jan. 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**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000100005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/wznQGGYH7PjKRYRZ5W7ZJ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- HENDERSON, S. M. Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, p. 1167-1172, 1974. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.37052>. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=37052>. Acesso em: 9 jan. 2024.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877405006424>. Acesso em: 02 fev. 2024.
- KHALLAF, A. EM.; EL-SEBAILI, A. Review on drying of the medicinal plants (herbs) using solar energy applications. **Heat Mass Transfer**, [S. l.], v. 58, p. 1411–1428, 25 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00231-022-03191-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00231-022-03191-5#citeas>. Acesso em: 6 mar. 2024.
- LORENZI, H. E.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.
- LORENZI, H. E.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 1 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 512p.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 301-306, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300009>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/YBJHpYsQNXwhMW75zxKbnHF/?lang=pt>. Acesso em: 05 jan. 2024.

MARTINS, E. A. S. **Descrição da cinética e do efeito da secagem sobre a composição química de folhas e frutos de *Solanum paniculatum* L.** 2019. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; GONCALVES, A. A.; HARTMANN FILHO, C. P.; SIQUEIRA, V. C.; OBA, G. C. Drying kinetics of blackberry leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 570-576, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p570-576>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/8LGRsdZqypqrhgFjCG4vXKG/?lang=en>. Acesso em: 04 fev. 2024.

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p238-244>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/mqhJF3dm5S9JLL93yvwwq9VG/?lang=pt>. Acesso em: 04 fev. 2024.

MARTINS, Elton Aparecido Siqueira. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas.** 2015. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados. Disponível em: <https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-ENGENHARIA-AGRICOLA/2015%20-%20DIMENSIONAMENTO%20E%20EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O%20DE%20UM%20SECADOR%20DE%20LEITO%20FIXO%20PARA%20A%20SECAGEM%20DE%20PRODUTOS%20AGR%C3%8DCOLAS.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2024.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, p. 1503-1513, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/DRT-120005864?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. **Desenvolvimento de fitoterápicos.** 2.ed. Ribeirão Preto: Tecmedd. 2004. 115p.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023>. Disponível em: https://www.academia.edu/14781676/A_thin_layer_drying_model_of_parboiled_wheat. Acesso em: 02 fev. 2024.

PAGE, C. Factors Influencing the Maximum Rate of Drying Shelled Corn in Layers. **West Lafayette**. MSc Thesis, Purdue University. Indiana. 1949.

PAULA, J. P.; FARAGO, P. V.; CHECCHIA, L. E.M.; HIROSE, K. M.; RIBAS, J. L.C. Atividade Repelente do Óleo Essencial de *Ocimum selloi* Benth (variedade eugenol) contra o *Anopheles braziliensis* Chagas. **Acta Farmacêutica Bonaerense**, v. 23, n. 3, p. 376-378, 2004. Disponível em:

http://www.latamjpharm.org/trabajos/23/3/LAJOP_23_3_2_4_Y3B8WWZ07F.pdf. Acesso em: 8 jan. 2024.

PIVA, R. C.; VERDAN, M. H.; BRANQUINHO, L. S.; KASSUYA, C. A. L.; CARDOSO, C. A. L. Anti-inflammatory activity and chemical composition of aqueous extract and essential oil from leaves of *Ocimum selloi* Benth. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 275, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114136>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874121003639>. Acesso em: 5 jan. 2024.

POÓS, T.; VARJU, E. Drying characteristics of medicinal plants. **International Review of Applied Sciences and Engineering**, [S. l.], v. 8, p. 83-91, 1 jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1556/1848.2017.8.1.12>. Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/1848/8/1/article-p83.xml>. Acesso em: 6 mar. 2024.

PRATES, M. F. O.; REIS, R. C. dos; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA JUNIOR, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, p. 514-521, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/YPrDHMNCCdJShHqKJdswGr/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 07 jan. 2024.

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S. do; MOSSI, A. J.; MELO, E. DE C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, p.19-27, 2011. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i1.147>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/133/110>. Acesso em: 08 jan. 2024.

REIS, R. C. DOS; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PBW9qWkk8jDW8bD7GckxPYS/?lang=en>. Acesso em: 08 jan. 2024.

SANTOS, M. R. A.; LIMA, M. R.; FERREIRA, M. G. R. Uso de plantas medicinais pela população de Ariquemes, em Rondônia. **Horticultura brasileira**, v. 26, n. 2, p. 244-250, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000200023>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/f9zpxGbrFrQZCKHrdSMK6Zt/>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SHAHHOSEINI, R.; GHORBANI, H.; KARIMI, S. R.; ESTAJI, A.; MOGHADDAM, M. Qualitative and quantitative changes in the essential oil of Lemon Verbena (*Lippia citriodora*) as affected by drying condition. **Drying Technology**, v. 31, n. 9, p. 1020– 1028, 2013. DOI: [10.1080/07373937.2013.771649](https://doi.org/10.1080/07373937.2013.771649). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265602011_Qualitative_and_Quantitative_Changes_in_the_Essential_Oil_of_Lemon_Verbena_Lippia_citriodora_as_Affected_by_Drying_Condition. Acesso em: 03 fev. 2024.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200004>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rceres/a/PJDPdNSJhyMLFRwMRH5xF3R/?lang=en>. Acesso em: 03 fev. 2024.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Matllematical Simulation of Corn Drying: A New Model. **Transaction of the ASAE**, v. 11, n. 4, p. 582-585, 1968. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.39473>. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARSErrorFiles/30200525/34MathematicalSimulationofCornDrying.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

VEIGA JUNIOR, V. F.; PINTO, A. C.; MACIEL, M. A. M. Plantas medicinais: cura segura?. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 519-528, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000300026>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/CHhqMPvgfDyKcv9XD3HSBsc/#ModalDownloads>. Acesso em: 05 jan. 2024.