

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

**CINÉTICA E ESTUDO DA DIFUSÃO DURANTE O  
PROCESSO DE SECAGEM DE FOLHAS DE TERRAMICINA**  
*(Alternanthera brasiliana (L.) Kuntze)*

**DAVID SANABRIA TRINDADE  
VINICIUS XIMENEZ QUEVEDO**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL**

**2023**

**CINÉTICA E ESTUDO DA DIFUSÃO DURANTE O PROCESSO DE  
SECAGEM DE FOLHAS DE TERRAMICINA (*Alternanthera brasiliana*  
(L.) Kuntze)**

David Sanabria Trindade  
Vinicius Ximenez Quevedo

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  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Q5c Quevedo, Vinicius Ximenez

Cinética e estudo da difusão durante o processo de secagem de folhas de terramicina  
(*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze) [recurso eletrônico] / Vinicius Ximenez Quevedo, David  
Sanabria Trindade. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Difusividade. 2. Temperatura. 3. Midilli. I. Trindade, David Sanabria. II. Goneli, Prof. 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.

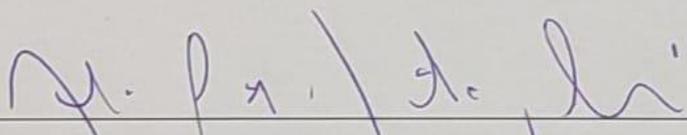
**CINÉTICA E ESTUDO DA DIFUSÃO DURANTE O PROCESSO DE  
SECAGEM DE FOLHAS DE TERRAMICINA (*Alternanthera brasiliana*  
(L.) Kuntze)**

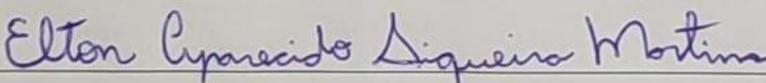
Por

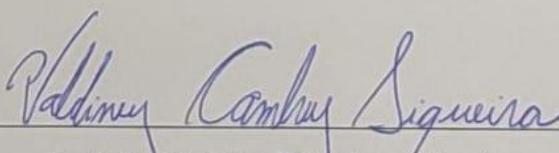
David Sanabria Trindade  
Vinicius Ximenez Quevedo

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

Aprovado em: 25 de agosto de 2023.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. André Luis Duarte Goneli  
Orientador - UFGD/FCA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Elton Aparecido Siqueira Martins  
Membro da banca - UFGD/FCA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira  
Membro da banca - UFGD/FCA

## **AGRADECIMENTOS - David Sanabria Trindade**

À Deus, por me guiar nesse caminho da vida direcionando meus passos, revelando que as dificuldades são inerentes a cada indivíduo, e que somos nós quem decidimos como enfrentá-las. Através da fé e da determinação, sei que é sempre possível superá-las e alcançar aquilo em que acreditamos.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) por sua inestimável contribuição na minha jornada acadêmica em Engenharia Agrícola. Por fornecer a infraestrutura essencial, permitindo o desenvolvimento integral do curso, não apenas capacitando futuros profissionais, mas também cidadãos conscientes do seu papel no decorrer do exercício de sua profissão.

Ao Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli, meu orientador, pela sua orientação, paciência e valiosos ensinamentos. Nossas conversas e conselhos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, sua amizade tornou essa jornada ainda mais enriquecedora.

Ao Prof. Dr. Elton Aparecido Siqueira Martins, pelo apoio incondicional e assistência prestada ao longo de todo o experimento. Sua dedicação foi fundamental para que tudo ocorresse de forma bem-sucedida.

Aos membros da banca, pelo compromisso dedicado e pela excelente expertise empregada na análise e avaliação do meu trabalho.

A todos os professores da universidade. Seus ensinamentos, orientações e dedicação foram fundamentais para moldar meu crescimento acadêmico e pessoal. Cada aula, conversa e feedback contribuíram para expandir os horizontes e aprofundar os conhecimentos, ensinando a pensar criticamente, resolver problemas e abraçar desafios.

Aos meus pais, Jair Duarte Trindade e Laudelina Sanabria Trindade pelo apoio constante e sábios conselhos éticos, morais e emocionais que pautaram minha jornada acadêmica e foram de suma relevância durante a escrita do TCC. Suas palavras de incentivo e orientação foram como um farol nos momentos de incerteza, e seu amor incondicional me concedeu a força necessária para superar os desafios. Saber que os tinha ao meu lado trouxeram confiança e determinação. Este sucesso é tanto meu quanto dos senhores.

Aos meus avós materno e paterno: Elizio Sanabria e Florencia da Cunha, Izael Xér Trindade (in memoriam) e Marina Elichese Duarte, pelo amor, carinho, incentivo e apoio que sempre me ofereceram ao longo da minha vida.

Aos meus familiares que desempenharam um papel significativo em minha jornada de graduação. Seja através de palavras de incentivo, apoio emocional ou gestos práticos, cada um de vocês contribuiu para que alcançasse este marco. O amor e o apoio que recebi de vocês foram

fundamentais para superar desafios, impulsionando-me a alcançar meus objetivos acadêmicos, minha jornada não teria sido a mesma sem a presença e o carinho de cada um. Obrigado por fazerem parte desse importante capítulo da minha vida.

Ao meu parceiro de TCC, um grande amigo que esteve ao meu lado em cada passo desta jornada acadêmica. Sua presença constante, apoio incondicional e colaboração inestimável foram pilares essenciais para o sucesso deste trabalho e para minha experiência na faculdade como um todo. Ter você como parceiro foi um privilégio que enriqueceu minha jornada de forma única.

Aos amigos adquiridos na graduação Daniel Duarte Silva, Lucas Alvez Lima de Mendonça, Vinicius Ximenez Quevedo. Pela amizade, apoio, companheirismo, parceria interminável, e ajuda prestada no trabalho.

A todos os amigos e colegas que fizeram parte dessa trajetória, em especial ao André Fernandes Basilio que sempre teve uma frase de apoio e esteve sempre disponível nos momentos de adversidades.

Por fim, expresso minha gratidão a todos aqueles que, de diferentes maneiras, contribuíram para a concretização deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS - Vinicius Ximenez Quevedo**

À Deus pelo dom da vida e por me conceder a sabedoria e determinação necessárias para superar os desafios desta jornada.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), por toda a infraestrutura oferecida, proporcionando um ambiente propício para o aprendizado.

Ao orientador, Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli, pela confiança, pelas conversas, valiosos ensinamentos, conselhos e pela amizade compartilhada. A oportunidade dada por você de explorar e expandir meus horizontes

Ao Prof. Dr. Elton Aparecido Siqueira Martins, pelas preciosas orientações e sugestões que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Sua amizade e disposição constante em auxiliar foram fundamentais.

Aos membros da banca, por dedicarem seu tempo e expertise na análise e avaliação do meu trabalho. Suas contribuições foram inestimáveis para a qualidade final deste TCC.

Minha família, meu alicerce. Aos meus pais, Gilmar Santos de Quevedo e Maria Ap. Ximenez de Quevedo, e à minha avó Maria Ap. Vermieiro Ximenez, pelo apoio, orações, amor e encorajamento que me proporcionaram. Suas palavras de incentivo e apoio foram o combustível que impulsionou meu progresso, especialmente nos momentos mais desafiadores.

Aos amigos de infância, Matheus Pieretti e Otávio Fanhani, expresso minha imensa gratidão. A amizade que cultivamos ao longo dos anos moldou minha personalidade e trouxe memórias inesquecíveis que carregarei para sempre.

Aos amigos conquistados durante a graduação, David Sanabria Trindade, Daniel Duarte Silva e Lucas Lima de Mendonça, agradeço pelas conversas enriquecedoras e momentos de descontração. Foram cruciais para manter o equilíbrio diante das exigências acadêmicas.

A todos os professores do curso de Engenharia Agrícola, pela educação excepcional que proporcionaram. Guiaram-me com conhecimento e paixão.

Ao meu parceiro de trabalho, David Sanabria Trindade, agradeço pela colaboração ao longo dos anos de graduação. À medida que avançamos para novos desafios, levamos conosco as memórias compartilhadas e as lições aprendidas, reconhecendo que essa colaboração se tornou uma parte preciosa de nossa jornada acadêmica.

A todos, minha sincera gratidão.

TRINDADE, D. S.; QUEVEDO, V. X. **Cinética e estudo da difusão durante o processo de secagem de folhas de terramicina** (*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze). 2023. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2023.

## RESUMO

A terramicina é uma planta encontrada em diversas regiões do Brasil, altamente valorizada por suas aplicações na medicina popular. Pesquisas têm corroborado suas ações farmacológicas, incluindo propriedades anti-inflamatórias, analgésicas e antivirais. Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a cinética e a difusividade durante o processo de secagem das folhas da terramicina. As folhas de terramicina foram colhidas com teor de água inicial de aproximadamente 4,30 b.s. e submetidos à secagem em diferentes condições controladas de temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,4 e 0,8 m s<sup>-1</sup>) em um secador experimental de leito fixo até atingirem teor de água de aproximadamente 0,12 b.s. Aos dados experimentais foram ajustados oito modelos matemáticos constantemente utilizados para representar a secagem de produtos agrícolas. Com base nos resultados obtidos, o modelo matemático de Midilli foi o selecionado para representar a cinética de secagem para as folhas de terramicina em camada delgada. A redução do tempo de secagem devido a elevação da velocidade do ar de secagem é mais pronunciada para as menores temperaturas. Valores do coeficiente de difusão efetivo aumentam com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Os valores da energia de ativação para a difusão líquida foi de 80,9120 e 77,7422 kJ mol<sup>-1</sup>, para as velocidades do ar de secagem de 0,4 e 0,8 m s<sup>-1</sup> respectivamente para a faixa de temperatura estudada (40 a 70 °C).

**Palavras-chave:** Difusividade. Temperatura. Midilli.

TRINDADE, D. S.; QUEVEDO, V. X. **Kinetics and study of diffusion during the drying process of terramycin leaves** (*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze). 2023. 25 f. Completion of course work (Bachelor's Degree in Agricultural Engineering) - Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2023.

## ABSTRACT

Terramycin is a plant found in several regions of Brazil, highly valued for its applications in popular medicine. Research has corroborated its pharmacological actions, including anti-inflammatory, analgesic and antiviral properties. Therefore, the objective of this work was to evaluate the kinetics and diffusivity during the drying process of terramycin leaves. Terramycin leaves were harvested with an initial water content of approximately 4.30 b.s. and subjected to drying under different controlled temperature conditions (40, 50, 60 and 70 °C) and drying air speeds (0.4 and 0.8 m s<sup>-1</sup>) in an experimental fixed-bed dryer until reaching a content of water of approximately 0.12 b.s. Eight mathematical models constantly used to represent the drying of agricultural products were adjusted to the experimental data. Based on the results obtained, Midilli's mathematical model was selected to represent the drying kinetics for thin-layer terramycin sheets. The reduction in drying time due to the increase in drying air speed is more pronounced at lower temperatures. Values of the effective diffusion coefficient increase with increasing temperature and drying air speed. The activation energy values for liquid diffusion were 80.9120 and 77.7422 kJ mol<sup>-1</sup>, for drying air velocities of 0.4 and 0.8 m s<sup>-1</sup> respectively for the temperature range studied. (40 to 70 °C).

**Key words:** Diffusivity. Temperature. Midilli.

## LISTA DE FIGURAS

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Figura 1.</b> Secador experimental utilizado para a secagem de folhas de terramicina.....  | 6      |
| <b>Figura 2.</b> Valores observados e estimados pelo modelo de Midilli para a razão de umidade durante o processo de secagem das folhas de terramicina, considerando uma velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ .....                             | 13     |
| <b>Figura 3.</b> Valores observados e estimados pelo modelo de Midilli para a razão de umidade durante o processo de secagem das folhas de terramicina, considerando uma velocidade do ar de $0,8 \text{ m s}^{-1}$ .....                             | 13     |
| <b>Figura 4.</b> Taxa de redução de água das folhas de terramicina avaliadas durante o processo de secagem, considerando uma velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ .....   | 15     |
| <b>Figura 5.</b> Taxa de redução de água das folhas de terramicina avaliadas durante o processo de secagem, considerando uma velocidade do ar de $0,8 \text{ m s}^{-1}$ .....   | 16     |
| <b>Figura 6.</b> Representação de Arrhenius para descrever o comportamento do coeficiente de difusão efetivo durante o processo de secagem em camada delgada das folhas de terramicina em diferentes condições de temperatura e velocidade do ar..... | 17     |

## LISTA DE TABELAS

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Tabela 1.</b> Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem de folhas de terramicina.....   | 8      |
| <b>Tabela 2.</b> Valores dos parâmetros estatísticos na modelagem das curvas de secagem das folhas de terramicina, considerando diferentes condições do ar de secagem.....    | 12     |
| <b>Tabela 3.</b> Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem das folhas de terramicina.....                                | 15     |
| <b>Tabela 4.</b> Coeficiente de difusão efetivo ( $D_i$ ) ajustado as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem em camada delgada das folhas de terramicina..... | 17     |

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 1      |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA .....                             | 3      |
| 2.1 TERRAMICINA .....                                     | 3      |
| 2.2 SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA.....                   | 4      |
| 2.3 SECAGEM DE PLANTAS MEDICINAIS .....                   | 5      |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....                                | 6      |
| 3.1 CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE TERRAMICINA .....   | 7      |
| 3.1.1 Determinação do coeficiente de difusão efetivo..... | 8      |
| 3.1.2 Influência da temperatura .....                     | 9      |
| 3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                              | 10     |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                             | 11     |
| 5 CONCLUSÕES .....  | 19     |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                        | 20     |

## 1 INTRODUÇÃO

A terramicina (*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze) é uma planta que se desenvolve com facilidade em solos pobres e áreas desmatadas, tornando-se uma opção versátil tanto para fins ornamentais quanto medicinais. No Brasil, ela é amplamente utilizada no tratamento de infecções, enquanto em várias partes do mundo é empregada para aliviar resfriados, gripes, dores de cabeça e problemas digestivos (Shirin; Krishnan; Suman, 2021).

Desde a antiguidade, diversas plantas e produtos de origem vegetal têm sido empregados como agentes aromatizantes e medicamentos, em virtude dos benefícios que oferecem para a saúde (Vázquez-Fresno *et al.*, 2019).

No Brasil, destaca-se a presença de uma vasta gama de espécies vegetais e riqueza etnocultural, sendo privilegiado pela diversidade de biomas em diferentes regiões do país. Neste cenário, a utilização de plantas medicinais é muito relevante (Vieira; Sousa; Lemos, 2015). Nas últimas décadas, houve um aumento significativo no uso de plantas medicinais e fitoterápicos como alternativa ao consumo de produtos sintéticos e industriais. Assim, tendo um papel importante no tratamento terapêutico de muitas condições de saúde diferentes. Seu uso abrange várias formas, como infusões, extratos, pomadas e óleos essenciais (Pereira *et al.*, 2023).

Para atender a essa demanda, é essencial desenvolver técnicas eficientes para todas as etapas do ciclo de produção dessas espécies, assim como em cultivos de cereais.

O teor de água presente em um produto é o principal fator que contribui para a deterioração causada por microrganismos e para as alterações resultantes de reações químicas e enzimáticas (Celestino, 2010). De acordo com Goneli (2014a), os compostos fitoterápicos geralmente são extraídos da parte aérea das plantas medicinais, que normalmente são colhidas com alto teor de água. A fim de evitar processos oxidativos, é essencial reduzir rapidamente o elevado teor de água naturalmente presente nas folhas até alcançar um nível percentual aceitável (Babu *et al.*, 2018).

Ao diminuir a quantidade de água disponível, a velocidade das reações químicas será reduzida, criando-se um ambiente desfavorável para o desenvolvimento de microrganismos. Esse efeito conjunto tem um impacto positivo na qualidade do produto, garantindo uma conservação satisfatória e estendendo sua durabilidade ao longo do tempo (Oliveira *et al.*, 2015).

Desta forma, para preservar os compostos fitoterápicos das plantas medicinais e aromáticas, a secagem é o método mais indicado e viável (Soltani *et al.*, 2021). Este processo desempenha um papel crucial na etapa de pós-colheita, uma vez que contribui para a

preservação das características do produto, possibilitando a sua manipulação com excelência e tornando viável a sua utilização durante períodos nos quais não estão prontamente disponíveis (Resende *et al.*, 2018).

A fim de investigar a cinética de secagem de produtos agrícolas em um ambiente de laboratório, os pesquisadores optam por secá-los em camadas finas. Por meio desse método, é possível obter uma curva de secagem precisa e, conseqüentemente ajustar modelos matemáticos que representem o processo de forma satisfatória (Santos *et al.*, 2019).

Por meio da análise da modelagem das curvas de secagem, torna-se viável a determinação de parâmetros físicos e termodinâmicos referentes às transferências simultâneas de calor e massa. Entre esses parâmetros, destaca-se o coeficiente de difusão, cuja obtenção proporciona a capacidade de avaliar e estabelecer comparações quanto à eficiência da secagem entre produtos de tamanhos, geometrias e texturas diferentes (Botelho *et al.*, 2015).

Levando em consideração o crescimento no uso e na produção de plantas medicinais no Brasil, a relevância da terramicina e a importância do estudo teórico do processo de secagem de produtos agrícolas, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a cinética e a difusividade durante a secagem de folhas de terramicina.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 TERRAMICINA

A terramicina (*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze) é uma planta herbácea perene com base lenhosa, presente em diversas regiões de todo o Brasil, seus ramos são decumbentes ou semieretos, alcançando uma altura de 60-120 cm. Nativa de áreas abertas, especialmente em regiões litorâneas e na Amazônia (Lorenzi e Matos, 2008). É encontrada principalmente na América do Sul e Ásia (Kasthuri e Ramesh, 2018). No contexto brasileiro, é popularmente conhecida pelos termos “penicilina” ou “erva daninha brasileira” (Paliwal *et al.*, 2023).

Pertence à família Amaranthaceae, que engloba uma variedade de espécies de significativa importância no contexto do tratamento de diversas enfermidades na medicina popular. As características intrínsecas da planta incluem uma notável capacidade de adaptação e tolerância a condições ambientais adversas (Arogbodo, 2020). Amplamente adotada por comunidades rurais como um recurso medicinal. Também se destaca por sua capacidade intrínseca de produzir compostos que apresentam potencial ação analgésica (Kumar *et al.*, 2011).

Apresenta ações farmacológicas comprovadas, incluindo propriedades anti-inflamatórias, analgésicas e antivirais (Delaporte *et al.*, 2002). Além de suas propriedades medicinais conhecidas, a planta também demonstrou ser eficaz como modulador imunológico, analgésico, antipirético e antibacteriano, sendo empregada no combate a diversas doenças, incluindo a proliferação de linfócitos e o tratamento da gonorreia (Shirin; Krishnan; Suman, 2021). A infusão das folhas é indicada para combater febres. As inflorescências, por sua vez, são utilizadas tanto no tratamento de dores de cabeça como de resfriados e gripes. Enquanto as folhas possuem propriedades antitérmicas, as raízes são empregadas para combater a diarreia (Agra; Freitas; Barbosa-Filho, 2007).

Ademais, pesquisas conduzidas utilizando a terramicina evidenciaram seu impacto positivo no processo de reparo dos tecidos, ao promover a aceleração do processo de cicatrização (Barua *et al.*, 2012), estimular a contração da úlcera e o aumento de colágeno (Rocha e Marchete, 2018). O extrato hidroalcolólico demonstrou eficácia na promoção da cicatrização de feridas em ratos, por meio da modulação das atividades anti-inflamatória e antioxidante. Essa eficácia foi alcançada através do estímulo da angiogênese e da aceleração do processo de revitalização tecidual (Marchete *et al.*, 2021).

## 2.2 SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA

A secagem é um procedimento caracterizado pela transferência simultânea de calor e massa entre o produto e o ar de secagem (Brooker *et al.*, 1992). Neste contexto a transferência de calor é influenciada significativamente por fatores como a temperatura, velocidade do fluxo de ar e a espessura do produto (Kohli; Shahi; Kumar, 2018).

A água presente no produto é retirada por meio de difusão e evaporação, esse fenômeno é frequentemente induzido pela convecção forçada de ar quente (Borges, 2016).

O fator determinante para a ocorrência da secagem reside no estabelecimento de uma pressão de vapor na superfície do produto superior àquele presente no ar de secagem. A transferência ocorre como resultado da diferença de pressão de vapor entre a superfície do produto em questão e o ar circunvizinho (Silva *et al.*, 2008).

A eficiência do processo de secagem é otimizada com o aumento da temperatura e elevação da velocidade do ar. Contudo, deve-se considerar que temperaturas elevadas ocasionam no rompimento das estruturas celulares, resultando na morte celular ou desencadeando reações enzimáticas e não enzimáticas, o que altera características como cor, sabor e odor da planta. Ademais, o efeito térmico pode promover a hidrólise e degradação de carboidratos, levando ao escurecimento do produto (Borsato, 2003).

Por meio de simulações matemáticas, é possível representar de forma satisfatória a diminuição do teor de água durante o processo de secagem, utilizando modelos que fornecem estimativas precisas. Esses modelos têm um papel fundamental ao serem aplicados em estudos, projetos e análises de viabilidade comercial de sistemas de secagem (Souza *et al.*, 2019). Na literatura especializada, encontramos uma variedade de modelos matemáticos, sendo estes categorizados como teóricos, semiteóricos e empíricos (Araújo *et al.*, 2017).

Os modelos teóricos levam em consideração somente a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar de secagem, enquanto os modelos semi teóricos e empíricos levam em conta apenas a resistência externa, bem como a temperatura e umidade relativa do ar de secagem (Midilli *et al.*, 2002; Panchariya *et al.*, 2002).

Já os modelos empíricos estabelecem uma relação direta entre o teor de água e o tempo decorrido no processo de secagem. No entanto, tais modelos omitem os princípios subjacentes ao fenômeno de secagem, e os parâmetros empregados não possuem relevância física. Como resultado, esses modelos não proporcionam uma compreensão precisa dos processos essenciais que ocorrem durante esse fenômeno (Martinazzo *et al.*, 2007).

### 2.3 SECAGEM DE PLANTAS MEDICINAIS

A secagem é uma operação essencial para garantir a manutenção das propriedades medicinais das plantas e prepará-las para o armazenamento seguro. Isso se deve ao fato de que a indústria farmacêutica de fitoterápicos não têm condições de utilizar plantas frescas em grande quantidade para a produção em escala industrial (Lorenzi e Matos, 2008).

A sensibilidade ao calor é uma característica intrinsecamente ligada ao tipo de produto, podendo resultar em danos ao mesmo quando exposto a temperaturas elevadas durante o processo de secagem e remoção de água (Nakagawa *et al.*, 2021).

Desta forma, a secagem pode ter um impacto negativo na qualidade do produto. A cor e os componentes fenólicos das plantas medicinais são extremamente sensíveis à temperatura, sendo que a cor é um indicador importante para prever a qualidade do produto seco, pois está intimamente ligada às preferências dos consumidores. Os componentes ativos das plantas medicinais são significativamente afetados pela temperatura de secagem. Devido à degradação térmica, altas temperaturas geralmente afetam a qualidade e a quantidade de compostos fenólicos (Arslan; Ozcan; Menges, 2010).

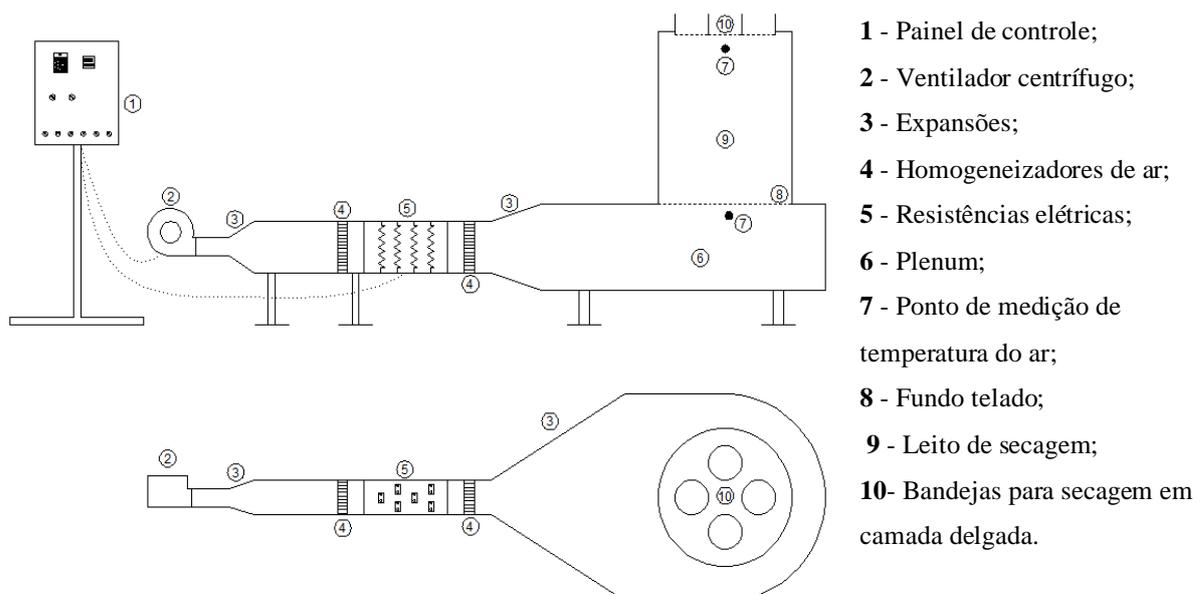
A utilização de secadores apropriados é de extrema importância, considerando a necessidade de controlar fatores como a velocidade e temperatura durante o processo de secagem, pois o conteúdo de água presente nas plantas medicinais desempenha um papel fundamental na determinação de suas propriedades (Téllez *et al.*, 2020).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi executado na área experimental de Pós-colheita de grãos e no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas - LAPREP, pertencentes Faculdade de Ciências Agrárias - FCA da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD.

As folhas de terramicina (*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntz) foram colhidas no período da manhã, manualmente e de forma aleatória para evitar interferência nos resultados, não coletando após precipitações, irrigação ou com resquícios de orvalho, com o intuito de evitar a variação do teor de água inicial dos mesmos. Após a coleta, as folhas foram selecionadas retirando-se aquelas que possuíam partes danificadas e com incidência de doenças visíveis.

O secador experimental (Figura 1) é do modelo leito fixo, apresenta uma câmara de secagem com as especificações de 0,80 m de diâmetro por 1,0 m de altura. Para aquecimento o secador experimental utiliza como fonte um agrupamento de resistências elétricas, totalizando 12 kW de potência, associadas a um ventilador do tipo centrífugo com 0,75 kW de potência, da marca Ibram, modelo VSI-160. A temperatura é controlada por meio de um controlador universal de processos, modelo N1200, da marca Novus, que trabalha com controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID).



**Figura 1.** Secador experimental utilizado para a secagem de folhas de terramicina.

Fonte: Goneli *et al.*, 2016.

### 3.1 CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE TERRAMICINA

Posteriormente à colheita das folhas de terramicina, os teores de água obtidos foram de aproximadamente 4,30 b.s.. Para a determinação do teor de água das folhas foi utilizado o método gravimétrico recomendado pela Asabe (2010) para forrageiras e plantas similares, em estufa com circulação forçada de ar a  $103 \pm 1$  °C, durante 24h a fim de determinar o teor de água do produto.

Com o objetivo de realizar a modelagem matemática, as folhas foram submetidas a processos de secagem até alcançarem um teor de água final de aproximadamente 0,12 b.s..

A secagem das folhas foi realizada sob diferentes condições de temperatura (40, 50, 60 e 70 °C) e duas velocidades (0,4 e 0,8 m s<sup>-1</sup>) do ar em um secador experimental (Figura 1).

A razão de umidade para as diferentes condições do ar de secagem, foi determinada por meio da Equação 1.

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

em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional;

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

U<sub>e</sub>: teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.; e

U<sub>i</sub>: teor de água inicial do produto, decimal b.s..

Aos dados observados das folhas de terramicina foram ajustados 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 de folhas de terramicina.

| Designação do modelo         | Modelo   | Equação |
|------------------------------|--|---------|
| Aproximação da difusão       | $RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta)$                     | (2)     |
| Dois termos                  | $RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$                         | (3)     |
| Henderson e Pabis Modificado | $RU = a \exp(-k \theta) + b \exp(-k_0 \theta) + c \exp(-k_1 \theta)$     | (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)     |
| Wang e singh                 | $RU = 1 + a t + b t^2$   | (9)     |

em que:

$\theta$ : tempo de secagem, h;

$k, k_0, k_1$ : constantes de secagem,  $h^{-1}$ ;

$a, b, c, n$ : constantes dos modelos.

A taxa de redução de água (TRA) durante o processo de secagem das folhas foi calculada por meio da Equação 10, como descrito por Corrêa *et al.* (2001).

$$TRA = \frac{Ma_0 - Ma_i}{MS_i (t_i - t_0)} \quad (10)$$

em que:

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

$Ma_0$ : 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.

### 3.1.1 Determinação do coeficiente de difusão efetivo

O coeficiente de difusão efetivo foi obtido através do ajuste do modelo matemático da difusão líquida Equação 11, para as folhas de terramicina, aos dados experimentais para as diferentes condições do ar e sistemas de secagem. Essa equação apresenta a solução analítica para a segunda lei de Fick, levando em conta a forma geométrica do produto aproximada de uma placa plana, com aproximação de oito termos.

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

em que:

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

$L$ : espessura do produto,  $m$ ;

$n_t$ : número de termos.

A medição da espessura ( $L$ ) das folhas foi realizada utilizando um paquímetro digital com uma resolução de 0,01 mm. Foram feitas seis medidas em pontos diferentes de cada folha, totalizando 50 folhas medidas. Após as medições, a espessura média das folhas de terramicina foi calculada e encontrou-se um valor de 0,4338 mm.

### 3.1.2 Influência da temperatura

Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, foi utilizada a equação de Arrhenius, descrita na Equação 12.

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

em que:

$D_o$ : 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,  $\text{kJ mol}^{-1}$ .

### 3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizou-se o ajuste de um modelo matemático para expressar a relação entre as variáveis estudadas, utilizando dados experimentais da razão de umidade durante a secagem em camada delgada das folhas de terramicina. Para tal, foi empregue a análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton.

Após o ajuste dos modelos, foram consideradas as maiores magnitudes do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), valores reduzidos do erro médio relativo (P) e desvio padrão da estimativa (SE). O cálculo do erro médio relativo e do desvio padrão da estimativa é descrito pelas Equações 13 e 14.

$$P = \frac{100}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_0} (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

em que:

$n_0$ : número de observações experimentais;

$Y$ : valor observado experimentalmente;

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

GLR: graus de liberdade do modelo.

Além disso, como critério para a seleção dos modelos matemáticos avaliados, foi requerido que o modelo escolhido apresentasse um ajuste adequado a todas as condições do ar de secagem.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as condições isoladas e específicas de temperatura e velocidade do ar abordadas no presente trabalho, verificou-se que, quando analisados de forma individual, os modelos: Aproximação da difusão; Henderson e Pabis Modificado; Logarítmico; Midilli; Page. tiveram o valor de (P) inferior a 10 % que de acordo com Mohapatra e Rao (2005), essa margem é considerada adequada para a estimar com precisão os dados observados durante a secagem. No entanto, com o intuito de facilitar a visualização e a representação da cinética de secagem das folhas de terramicina em camada delgada, optou-se por selecionar o modelo de Midilli. Esse modelo se destaca, pois é o único que atende a esse critério para todas as condições do ar de secagem investigadas no presente trabalho.

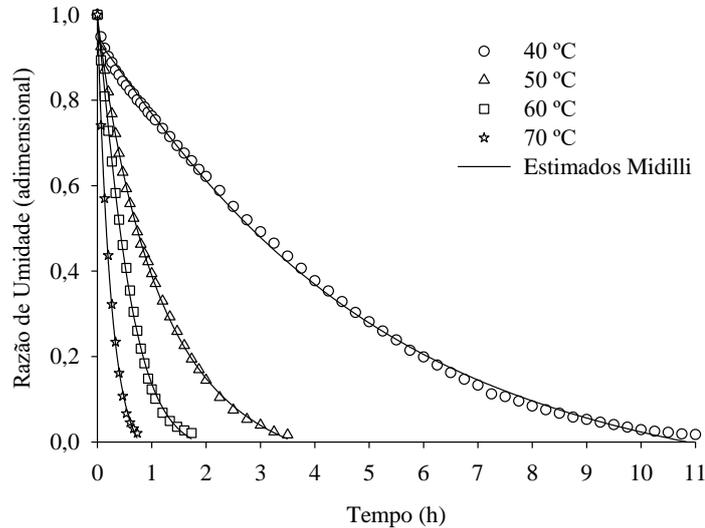
Além de ter apresentado valores de P inferiores a 10% em todas as condições de secagem analisadas, o modelo de Midilli também apresentou reduzidos valores de SE e  $R^2$ , reforçando seu bom ajuste aos dados experimentais da cinética de secagem das folhas de terramicina. Conforme apontado por Kashaninejad *et al.* (2007), tais valores indicam uma representação satisfatória do modelo para o processo em estudo, como observado na Tabela 2.

De acordo com Goneli *et al* (2014a), o melhor ajuste do modelo de Midilli às curvas de secagem de folhas de plantas medicinais, provavelmente, deve-se à rápida perda de água no início do processo de secagem desses produtos, gerando uma curva de secagem mais notável e bem caracterizada, matematicamente, por esse modelo.

**Tabela 2.** Valores dos parâmetros estatísticos na modelagem das curvas de secagem das folhas de terramicina, considerando diferentes condições do ar de secagem.

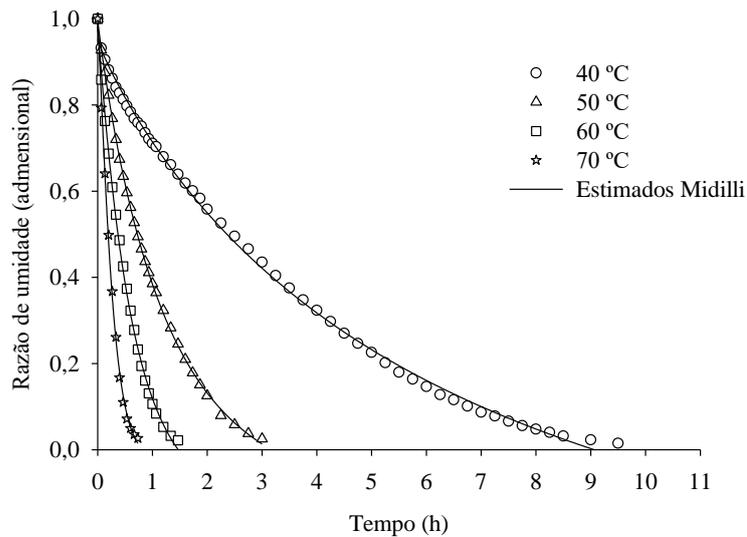
| Modelos | 0,4 m s <sup>-1</sup> |         |                          | 0,8 m s <sup>-1</sup> |         |                          |
|---------|-----------------------|---------|--------------------------|-----------------------|---------|--------------------------|
|         | SE (decimal)          | P (%)   | R <sup>2</sup> (decimal) | SE (decimal)          | P (%)   | R <sup>2</sup> (decimal) |
| 40 °C   |                       |         |                          |                       |         |                          |
| (2)     | 0,0235                | 8,8498  | 0,9951                   | 0,0313                | 9,8938  | 0,9901                   |
| (3)     | 0,0311                | 32,0566 | 0,9914                   | 0,0214                | 15,5828 | 0,9954                   |
| (4)     | 0,0322                | 32,2215 | 0,9914                   | 0,0077                | 4,9713  | 0,9994                   |
| (5)     | 0,0130                | 10,6734 | 0,9985                   | 0,0143                | 5,9586  | 0,9979                   |
| (6)     | 0,0133                | 8,8788  | 0,9984                   | 0,0130                | 9,3104  | 0,9982                   |
| (7)     | 0,0305                | 24,8673 | 0,9914                   | 0,0333                | 25,5880 | 0,9885                   |
| (8)     | 0,0315                | 23,0954 | 0,9908                   | 0,0342                | 21,7858 | 0,9879                   |
| (9)     | 0,0346                | 17,6142 | 0,9890                   | 0,0492                | 24,0173 | 0,9901                   |
| 50 °C   |                       |         |                          |                       |         |                          |
| (2)     | 0,0111                | 10,4622 | 0,9986                   | 0,0158                | 11,1321 | 0,9972                   |
| (3)     | 0,0114                | 12,4587 | 0,9986                   | 0,0144                | 11,8165 | 0,9978                   |
| (4)     | 0,0059                | 4,4197  | 0,9997                   | 0,0215                | 15,5390 | 0,9954                   |
| (5)     | 0,0074                | 2,9239  | 0,9994                   | 0,0061                | 2,6405  | 0,9996                   |
| (6)     | 0,0053                | 4,1512  | 0,9997                   | 0,0051                | 3,4653  | 0,9997                   |
| (7)     | 0,0111                | 11,8964 | 0,9986                   | 0,0126                | 9,8202  | 0,9981                   |
| (8)     | 0,0111                | 11,6666 | 0,9986                   | 0,0138                | 11,9222 | 0,9978                   |
| (9)     | 0,0455                | 35,9801 | 0,9763                   | 0,0332                | 18,9520 | 0,9871                   |
| 60 °C   |                       |         |                          |                       |         |                          |
| (2)     | 0,1458                | 46,9213 | 0,7929                   | 0,0125                | 6,8260  | 0,9984                   |
| (3)     | 0,0294                | 23,9127 | 0,9920                   | 0,0275                | 24,1336 | 0,9926                   |
| (4)     | 0,0312                | 23,9125 | 0,9920                   | 0,0120                | 7,6717  | 0,9988                   |
| (5)     | 0,0169                | 16,9132 | 0,9972                   | 0,0117                | 9,2982  | 0,9986                   |
| (6)     | 0,0117                | 8,4439  | 0,9987                   | 0,0129                | 9,6544  | 0,9984                   |
| (7)     | 0,0140                | 7,3832  | 0,9980                   | 0,0206                | 15,3084 | 0,9954                   |
| (8)     | 0,0313                | 27,9576 | 0,9899                   | 0,0264                | 25,1828 | 0,9924                   |
| (9)     | 0,0154                | 15,4796 | 0,9976                   | 0,0247                | 14,4795 | 0,9933                   |
| 70 °C   |                       |         |                          |                       |         |                          |
| (2)     | 0,0991                | 37,7130 | 0,9200                   | 0,0154                | 7,5324  | 0,9982                   |
| (3)     | 0,0210                | 22,4303 | 0,9968                   | 0,0403                | 30,3165 | 0,9891                   |
| (4)     | 0,0464                | 30,5605 | 0,9892                   | 0,0464                | 30,5613 | 0,9892                   |
| (5)     | 0,0094                | 9,7053  | 0,9993                   | 0,0220                | 19,3256 | 0,9963                   |
| (6)     | 0,0107                | 9,9725  | 0,9992                   | 0,0155                | 9,4548  | 0,9984                   |
| (7)     | 0,0142                | 12,6637 | 0,9982                   | 0,0155                | 6,6860  | 0,9980                   |
| (8)     | 0,0192                | 23,4128 | 0,9967                   | 0,0393                | 34,5506 | 0,9871                   |
| (9)     | 0,0334                | 29,4012 | 0,9899                   | 0,0102                | 10,9044 | 0,9991                   |

Os valores de razão de umidade estimados pelo modelo de Midilli apresentaram uma alta conformidade com os dados de razão de umidade observados em diferentes condições do ar de secagem das folhas de Terramicina (Figuras 2 e 3). Essa consistência reforça a qualidade do ajuste e a aplicabilidade efetiva deste modelo para representar o processo estudado.



**Figura 2.** Valores observados e estimados pelo modelo de Midilli para a razão de umidade durante o processo de secagem das folhas de terramicina, considerando uma velocidade do ar de  $0,4 \text{ m s}^{-1}$ .

Fonte: Autores, 2023.



**Figura 3.** Valores observados e estimados pelo modelo de Midilli para a razão de umidade durante o processo de secagem das folhas de terramicina, considerando uma velocidade do ar de  $0,8 \text{ m s}^{-1}$ .

Fonte: Autores, 2023.

Para as folhas de Terramicina atingirem o teor de água de aproximadamente 0,12 decimal b.s., na velocidade do ar de secagem  $0,4 \text{ m s}^{-1}$  foram necessárias 11,00; 3,50; 1,73 e 0,73 h (Figura 2), para as temperaturas do ar de 40, 50, 60 e  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Já para a velocidade do ar de secagem de  $0,8 \text{ m s}^{-1}$ , foram necessários 9,50; 3,00; 1,47; e 0,73 h (Figura 3), para as mesmas temperaturas do ar de secagem já citadas.

Observa-se que à medida que a temperatura do processo de secagem das folhas de terramicina aumenta, o tempo necessário para completar a secagem é reduzido. Essa observação está em concordância com pesquisas anteriores sobre a secagem de diversos produtos agrícolas (Siqueira *et al.*, 2012; Radünz *et al.*, 2011; Mohapatra e Rao, 2005).

A velocidade do ar de secagem exerce influência nos coeficientes de transferência de massa e calor. Portanto, ao elevar a velocidade do ar, os coeficientes de transferência de massa e calor entre o ar e o produto são igualmente aumentados. Isso resulta em uma intensificação da transferência de massa das folhas para o ambiente circundante por unidade de tempo, o que, conseqüentemente, reduz o tempo de secagem (Shahhoseini *et al.*, 2013).

Ao aumentar a velocidade do ar de secagem das folhas, o tempo necessário para alcançar o teor de água final também foi reduzido, como foi observado nas temperaturas de  $40^\circ \text{C}$  a  $60^\circ \text{C}$ , com a exceção da faixa de  $70^\circ \text{C}$ . Pois, à medida em que se eleva a temperatura, nota-se uma redução na influência do ar de secagem.

Segundo Martins (2015), o efeito mais marcante na redução do tempo de secagem das folhas de terramicina, para atingirem o teor de água de 0,12 decimal b.s. (Figuras 2 e 3), é ocasionado pela temperatura, em vez da velocidade do ar. Conforme explicado por esse autor, a diferença de pressão de vapor entre o ar de secagem e o produto agrícola é o principal fator que desencadeia a secagem. Nesse contexto, a temperatura desempenha um papel crucial, já que seu aumento aumenta significativamente a diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto. Por outro lado, a velocidade de deslocamento do ar de secagem não exerce influência na pressão de vapor entre o ar e o produto.

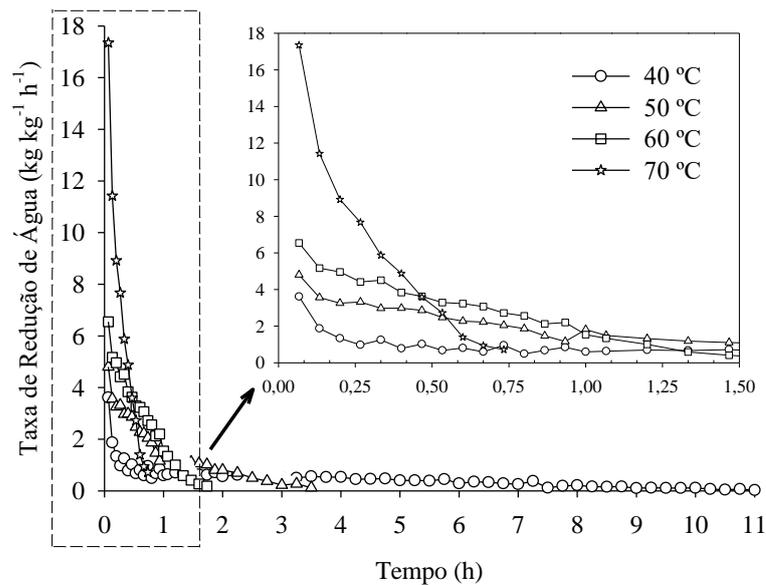
**Tabela 3.** Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem das folhas de terramicina.

| Temperatura<br>(°C) | 0,4 m s <sup>-1</sup> |        |        |        | 0,8 m s <sup>-1</sup> |        |        |        |
|---------------------|-----------------------|--------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|--------|
|                     | a                     | k      | n      | b      | a                     | k      | n      | b      |
| 40                  | 0,9396                | 0,1919 | 1,0855 | 0,0067 | 0,9518                | 0,2656 | 0,8952 | 0,0155 |
| 50                  | 0,9985                | 0,9077 | 0,9425 | 0,0128 | 0,9975                | 0,9015 | 0,9604 | 0,0205 |
| 60                  | 0,9797                | 1,8975 | 1,1901 | 0,0104 | 0,9834                | 1,7715 | 1,0242 | 0,0483 |
| 70                  | 0,9954                | 4,2618 | 1,0167 | 0,0480 | 0,9889                | 5,0507 | 1,2194 | 0,0223 |

Fonte: Autores, 2023.

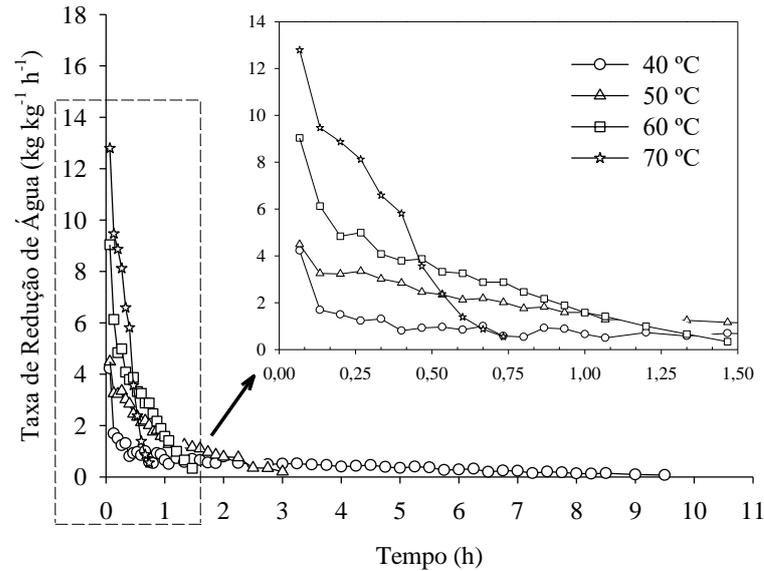
Com relação aos parâmetros do modelo de Midilli (Tabela 3), as magnitudes da constante de secagem "k" no modelo de Midilli aumentaram de forma proporcional à elevação da temperatura do ar de secagem.

No início do processo de secagem (Figuras 4 e 5), a remoção de água das folhas de terramicina foi mais intensa, devido à relação direta entre a temperatura do ar de secagem e a taxa de redução de água (TRA). Quanto maior a temperatura do ar de secagem, maior é a taxa de redução de água nessa fase inicial. Após 1 hora de secagem, para ambas as velocidades do ar de secagem, não foram observadas diferenças expressivas na TRA em função da temperatura do ar de secagem.



**Figura 4.** Taxa de redução de água das folhas de terramicina avaliadas durante o processo de secagem, considerando uma velocidade do ar de 0,4 m s<sup>-1</sup>.

Fonte: Autores, 2023.



**Figura 5.** Taxa de redução de água das folhas de terramicina avaliadas durante o processo de secagem, considerando uma velocidade do ar de  $0,8 \text{ m s}^{-1}$ .

Fonte: Autores, 2023.

Observando as figuras, é possível constatar que, as magnitudes da TRA no início da secagem variam de acordo com as temperaturas aplicadas. Para temperaturas de 40, 50 e 60 °C, observa-se que as magnitudes da TRA aumentam à medida que a velocidade do ar de secagem é elevada. Contudo, nota-se um comportamento distinto quando se trata da temperatura de 70 °C. Nesse caso, essa diferença pode estar relacionada à possível variação do teor de água inicial presente no produto (Figuras 4 e 5).

Conforme observado por Babalis *et al.* (2006), esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que, no início do processo de secagem, a água na superfície do produto evapora, resultando em uma contribuição mais significativa da velocidade do ar para a remoção de água nessa fase. À medida que o processo de secagem avança, a evaporação na superfície gradualmente cede lugar à condensação no interior do produto, reduzindo o impacto da velocidade do ar e tornando a difusão líquida o fator predominante nesse processo.

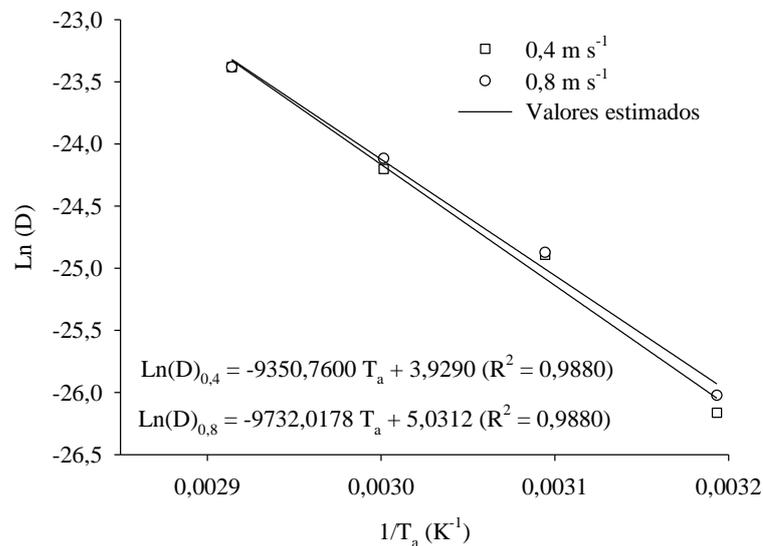
Com base nas Figuras 4 e 5, nota-se que o impacto da velocidade do ar no tempo de secagem das folhas de terramicina foi mais proeminente na menor temperatura do ar de secagem (40 °C).

A energia de ativação para difusão líquida, para o intervalo de temperatura de 40 a 70 °C, durante a secagem das folhas de terramicina foram de 80,9120 e 77,7422  $\text{kJ mol}^{-1}$ , para as velocidades do ar de secagem de 0,4 e 0,8  $\text{m s}^{-1}$  respectivamente. Conforme observado na (Figura 6).

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

| Temperatura (°C) | 0,4 m s <sup>-1</sup>                            | 0,8 m s <sup>-1</sup> |
|------------------|--|-----------------------|
|                  | $D_i \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ |                       |
| 40               | 0,4341   | 0,4993                |
| 50               | 1,5475   | 1,5765                |
| 60               | 3,0840   | 3,3593                |
| 70               | 7,0063   | 7,0063                |

Fonte: Autores, 2023.



**Figura 6.** Representação de Arrhenius para descrever o comportamento do coeficiente de difusão efetivo durante o processo de secagem em camada delgada das folhas de terramicina em diferentes condições de temperatura e velocidade do ar.

Fonte: Autores, 2023.

Foi observado na Tabela 4 que os valores do coeficiente de difusão efetivo das folhas de terramicina aumentam à medida que a temperatura aumenta, mantendo-se a mesma velocidade de ar de secagem. Segundo Goneli *et al.* (2009), esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que o aumento da temperatura leva à diminuição da viscosidade da água, a qual representa a resistência do fluido ao movimento. A redução da viscosidade facilita o deslocamento da água do interior para a superfície do produto, além disso, o aumento da temperatura também contribui para elevar o nível das vibrações moleculares da água, favorecendo um processo mais rápido de difusão. O acréscimo na temperatura propicia uma

melhoria nas condições para a difusão da água, tornando-a mais eficiente na movimentação do interior para a superfície do produto. As variações entre os valores do coeficiente de difusão efetivo encontrada nas folhas do presente trabalho, ficaram entre  $0,4341$  e  $7,0063 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para as temperaturas e velocidades do ar de  $40 \text{ }^\circ\text{C} - 0,4 \text{ m s}^{-1}$  e  $70 \text{ }^\circ\text{C} - 0,8 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente.

Esse valor indica a quantidade de energia necessária para iniciar o processo de difusão da água durante a secagem e pode ser útil para projetar processos de secagem mais eficientes.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, concluímos:

1. O modelo de Midilli demonstrou um ajuste satisfatório para todas as condições de ar de secagem estudadas para descrever o comportamento do processo de secagem.
2. A velocidade do ar de secagem exerceu uma influência significativa na redução do tempo de secagem, principalmente para as menores temperaturas avaliadas. Isso implica que aumentar a velocidade do ar pode ser uma estratégia eficaz para acelerar o processo de secagem em temperaturas menores.
3. O coeficiente de difusividade efetiva aumentou conforme temperatura e velocidade do ar de secagem foram elevadas.
4. A energia de ativação durante a difusão da água foi  $80,9120 \text{ kJ mol}^{-1}$  e  $77,7422 \text{ kJ mol}^{-1}$  para as velocidades do ar de secagem de  $0,4 \text{ m s}^{-1}$  e  $0,8 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente, na faixa de temperatura estudada.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, M. DE F.; FREITAS, P. F. DE; BARBOSA-FILHO, J. M. Synopsis of the plants known as medicinal and poisonous in Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 114-140, mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2007000100021>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/mK3xKRWQ5tK6WHB KJKGGpxD/?lang=en>. Acesso em: 17 ago. 2023.

ARAUJO, W. D. *et al.* Mathematical modelling of thin-layer drying in peanut fruit. **Revista ciência agrônômica**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 448–457, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/79SMDYrqZKTW7rYfYx5p5GN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2023.

AROGBODO, J. O. Investigation of the Possible Effect of Two Processing Methods on the Proximate and Macro Element Constituents of *Alternanthera brasiliana* (L.) O. Kuntze. **International Journal of Innovative Science and Research Technology**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 477-480, mar. 2020. Disponível em: <https://ijsrt.com/assets/upload/files/IJSRT20MAR485.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

ARSLAN, D.; OZCAN, M. M.; MENGES, H. O. Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 51, n. 12, p. 2769-2775, 1 dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890410002244?via%3Dihub>. Acesso em: 17 ago. 2023.

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. *et al.* Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 75, n. 2, p. 205-214, 1 jul. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877405002414>. Acesso em: 17 ago. 2023.

BABU, A. K. *et al.* Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 90, p. 536-556, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118302107?via%3Dihub>. Acesso em: 17 ago. 2023.

BARUA, C. C. *et al.* Influence of *Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze on Altered Antioxidant Enzyme Profile during Cutaneous Wound Healing in Immunocompromised Rats. **ISRN Pharmacology**, [s. l.], v. 2012, p. 1-8, 9 ago. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5402/2012/948792>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/948792/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

BORGES, F. B. **Descrição da secagem convectiva de grãos de milho através de modelos difusivos**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmloi/handle/riufcg/975?show=full>. Acesso em: 17 ago. 2023.

BORSATO, A. V. **Secagem da camomila sob diferentes temperaturas e vazões específicas do ar**. 2003. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26535/D%20%20BORSATO%2C%20AURELIO%20VINICIUS.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

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**, Sete Lagoas, v. 14, n. 2, p. 260–272, 30 ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p260-272>. Disponível em: <https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/610>. Acesso em: 17 ago. 2023.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport : AVI, 1992. 450p.

CELESTINO, S. M. C. 2010. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2010. 51p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77765/1/doc-276.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

CIPLIENE, A. *et al.* Usage of hybrid solar collector system in drying technologies of medical plants. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 93, p. 399-405, 15 mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.051>. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890415000631>. Acesso em: 17 ago. 2023.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 134-142, jan./fev. 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267254190CINETICADESECAAGEMEQUALIDDEDEGRAOSDEMILHO-PIPOCA>. Acesso em: 17 ago. 2023.

DELAPORTE, R.H. *et al.* Estudo farmacognóstico das folhas de *Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze (Amaranthaceae). **Acta Farmaceutica Bonaerense**, Buenos Aires, v. 21, n. 3, p. 169-174, 2002. Disponível em: [http://www.latamjpharm.org/trabajos/21/3/LAJOP\\_21\\_3\\_1\\_2\\_NB G71B7P0J.pdf](http://www.latamjpharm.org/trabajos/21/3/LAJOP_21_3_1_2_NB G71B7P0J.pdf). Acesso em: 17 ago. 2023.

GONELI, A. L. D. *et al.* Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014a. Supl 1. DOI: [https://doi.org/10.1590/1983-084X/13\\_041](https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_041). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/m3n64LHvFBQ7cNVNwc7RTvJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2023.

GONELI, A. L. D. *et al.* Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 11, p. 64-73, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/258242741Cineticadeseca\\_gemdosgraosdecafedescascadosemcamadadelgada](https://www.researchgate.net/publication/258242741Cineticadeseca_gemdosgraosdecafedescascadosemcamadadelgada). Acesso em: 17 ago. 2023.

GONELI, A. L. D. *et al.* Experimental dryer design for agricultural products. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 938-950, out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p938-950/2016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/9W9wFHZCLfNVBZKsNf9BbXH/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 17 ago. 2023.

GONELI, A. L. D. *et al.* Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 56–64, jan./mar. 2014b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000100005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/wznQGGYH7PjhKYR YJZ5W7ZJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2023.

HIDAR, N. *et al.* The impact of solar convective drying on kinetics, bioactive compounds and microstructure of stevia leaves. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 161, p. 1176–1183, 1 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.124>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120312003>. Acesso em: 17 ago. 2023.

KASHANINEJAD, M. *et al.* Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 98-108, 1 jan. 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: 17 ago. 2023.

KASTHURI, O. R.; RAMESH, B. Phytochemical screening and in vitro antioxidant activities of leaf extracts of *alternanthera brasiliiana* (L). kuntze and *Alternanthera bettzickiana* regel. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 266-272, 1 jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i6.25136>. Disponível em: <https://journals.innovareacademics.in/index.php/ajpcr/article/view/25136>. Acesso em: 17 ago. 2023.

KOHLI, D.; SHAHI, N. C.; KUMAR, A. Drying kinetics and activation energy of *Asparagus* root (*Asparagus racemosus* Wild.) for different methods of drying. **Current Research in Nutrition and Food Science**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 191–202, 1 abr. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.1.22>. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Drying-Kinetics-and-Activation-Energy-of-Asparagus-Kohli-Shahi/965d32601fff0605e2f26b66c9a11d39dd652127>. Acesso em: 17 ago. 2023.

KUMAR, S. *et al.* Phytopharmacological review of *Alternanthera brasiliiana* (Amaranthaceae). **Asian Journal of Plant Science and Research**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 41-47, 2011. Disponível em: <https://www.imedpub.com/abstract/phytopharmacological-review-of-alternanthera-brasili-anarnamaranthaceae-12198.html>. Acesso em: 17 ago. 2023.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: Nativas e exóticas**. 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544 p.

MARCHETE, R. *et al.* Anti-inflammatory and antioxidant properties of *Alternanthera brasiliiana* improve cutaneous wound healing in rats. **Inflammopharmacology**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 1443-1458, 1 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10787-021-00862-3>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34546478/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

MARTINAZZO, A. P. *et al.* Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/YBJHpYsQNXwhMW75zxKbnHF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2023.

MARTINS, E. A. S. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/128>. Acesso em: 17 ago. 2023.

MELO, E. C.; RADÜNZ, L. L.; MELO, R. C. A. Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais - Revisão. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 12, n. 4, p. 307-315, 2004. Disponível em: <http://www.ppmac.org/sites/default/files/v12n4p307-315.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, [s. l.], v. 20, p. 1503-1513, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/DRT-120005864>. Acesso em: 17 ago. 2023.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 66, n. 4, p. 513–518, 1 fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877404001888>. Acesso em: 17 ago. 2023.

NAKAGAWA, K. *et al.* Influence of processing conditions of atmospheric freeze-drying/low temperature drying on the drying kinetics of sliced fruits and their vitamin C retention. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s. l.], v. 6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100231>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154321001332?via%3Dihub>. Acesso em: 17 ago. 2023.

OLIVEIRA, G. H. H. DE *et al.* Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 314-321, out./dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.5315>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/TFQF4ZDYHmRbpGHFHYTrqWM/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

PALIWAL, V. M. *et al.* *Alternanthera brasiliana* L. extract alleviates carbon tetrachloride-induced liver injury and fibrotic changes in mice: Role of matrix metalloproteinases and TGF- $\beta$ /Smad axis. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 303, p. 115992, 1 mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115992>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874122010315?via%3Dihub>. Acesso em: 17 ago. 2023.

PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 52, p. 349-357, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00126-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00126-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877401001261>. Acesso em: 17 ago. 2023.

PEREIRA, D. T. C. *et al.* Uso medicinal e fitoterápico de " terramicina"(*Alternanthera brasiliana* L. Kuntze). **Revista Biodiversidade**, Cuiabá, v. 22, n. 2, p. 113-119, 2023. Disponível em: file:///C:/Users/vinic/Downloads/15852-Texto%20do%20Artigo-68440-1-10-20230702%20(3).pdf. Acesso em: 17 ago. 2023.

PRATES, M. F. O. *et al.* Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 514–521, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/YPrDhMnCCdJShHqKJdswGr/?format=html>. Acesso em: 17 ago. 2023.

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**, Viçosa, v. 19, p.19-27, jan./fev. 2011. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i1.147>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/133/110>. Acesso em: 17 ago. 2023.

REIS, R. C. DOS. *et al.* 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/S1415-4366201200120012>. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PBW\\_9qWkk8jDW8bD7GckxPYS/?format=pdf&lang=en](https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PBW_9qWkk8jDW8bD7GckxPYS/?format=pdf&lang=en). Acesso em: 17 ago. 2023.

RESENDE, O. *et al.* DRYING KINETICS OF BARU FRUITS (*Dipteryx alata* Vogel). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 103-109, jan./fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n1p103-109/2018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/engagri/a/CwXLZ9rwbH3RFdYhYnFDwhC/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 17 ago. 2023.

ROCHA, P.; MARCHETE, R. Principais atividades da planta alternanthera brasiliana. **Revista Saúde em Foco 10<sup>a</sup> ed**, Teresina, 2018. Disponível em: <https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/12/119PRINCIPAIS-ATIVIDADES-DA-PLANTAALTERNANTHERA-BRASILIANA-.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SANTOS, N. C. *et al.* Study on Drying of Black Rice (*Oryza sativa* L.) Grains: Physical-Chemical and Bioactive Quality. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 11, n. 9, p. 203-212, 30 jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n9p203>. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39749>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SHAHHOSEINI, R. *et al.* Qualitative and quantitative changes in the essential oil of Lemon Verbena (*Lippia citriodora*) as affected by drying condition. **Drying Technology**, [s. l.], v. 31, n. 9, p. 1020-1028, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.771649>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2013.771649>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SHIRIN K, R. V; KRISHNAN, N. S.; SUMAN, F. P. Review on *alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze for its pharmacognostic, phytochemical, pharmacological perspectives. **World Journal of Pharmaceutical Research**, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 382-392, 2021. DOI: [10.20959/wjpr202111-21352](https://doi.org/10.20959/wjpr202111-21352). Disponível em: [https://www.wjpr.net/abstract\\_file/17481](https://www.wjpr.net/abstract_file/17481). Acesso em: 17 ago. 2023.

SILVA, *et al.* Secagem e secadores. IN: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Editora UFV, Viçosa, 2008. 560p. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201811/23093833-secagem-e-armazenagem-cap5.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of *Jatropha seeds*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, p. 171-177, mar./abr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/PJDPdNSJhyMLFRwMRH5xF3R/?lang=en>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SOLTANI, A. *et al.* Multi-response optimization of drying process parameters for *Laurus Nobilis*. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, [s. l.], v. 22, p. 100302, 1 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100302>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214786121000115>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SOUZA, D. G. *et al.* Drying kinetics of the sliced pulp of biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 2, p. 176-181, 25 abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n2p176-181/2019>. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/eagri/a/S6ZpGm7FRZmD8PvmLYxs6Bc/?form\\_at=pdf&lang=en](https://www.scielo.br/j/eagri/a/S6ZpGm7FRZmD8PvmLYxs6Bc/?form_at=pdf&lang=en). Acesso em: 17 ago. 2023.

TÉLLEZ, M. C. *et al.* Kinetics of Drying Medicinal Plants by Hybridization of Solar Technologies. **Current Drying Processes**, [s. l.], p. 1-16, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.89686. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/69796>. Acesso em: 17 ago. 2023.

VÁZQUEZ-FRESNO, R. *et al.* Herbs and Spices- Biomarkers of Intake Based on Human Intervention Studies - A Systematic Review. **Genes and Nutrition**, [s.l.], v. 14, n. 18, p. 2-27, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12263-019-0636-8>. Disponível em: <https://genesandnutrition.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12263-019-0636-8#citeas>. Acesso em: 17 ago. 2023.

VIEIRA, L. S.; SOUSA, R. S.; LEMOS, J. R. Plantas medicinais conhecidas por especialistas locais de uma comunidade rural maranhense. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 1061–1068, 2015. Supl 3. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983084X/15009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/6t9RYzHszwB99mDDYLtFD9j/>. Acesso em: 17 ago. 2023.