



AGRONOMIA

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE COUVE- MANTEIGA PROCESSADAS NA FORMA CHIPS

GEOVANA RAMOS SOARES

Rio Verde, GO

2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
AGRONOMIA

**CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE COUVE-
MANTEIGA PROCESSADAS NA FORMA CHIPS**

GEOVANA RAMOS SOARES

Monografia apresentada ao Instituto Federal
Goiano – Campus Rio Verde, como requisito
parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

Coorientador: Weder Nunes Ferreira Junior

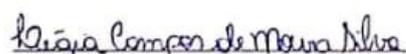
Rio Verde, GO

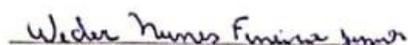
Agosto, 2019

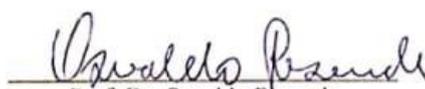
GEOVANA RAMOS SOARES

**CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE COUVE-
MANTEIGA PROCESSADAS NA FORMA CHIPS**

Monografia DEFENDIDA e APROVADA em 07 de agosto de 2019 pela Banca Examinadora constituída pelos membros:


Ms. Ligia Campos de Moura Silva
Engenheira de Alimentos
IF Goiano – Campus Rio Verde


Ms. Weder Nunes Ferreira Junior
Engenheiro Agrônomo
IF Goiano – Campus Rio Verde


Prof. Dr. Osvaldo Resende
IF Goiano – Campus Rio Verde
Orientador

Rio Verde – GO

2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SS0676 Soares, Geovana Ramos
c Cinética de secagem de folhas de couve-manteiga
processadas na forma chips / Geovana Ramos
Soares; orientador Osvaldo Resende; co-orientador
Weder Nunes Ferreira Junior. -- Rio Verde, 2019.
31 p.

Monografia (Graduação em Agronomia) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

1. Brassica oleracea var. acephala. 2. Modelos
matemáticos. 3. Teor de água. I. Resende, Osvaldo,
orient. II. Ferreira Junior, Weder Nunes, co-orient.
III. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Geovana Ramos Soares

Matrícula: 2013102200240016

Título do Trabalho: Cinética de Secagem de folhas de couve-manteiga processadas na forma chips

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 07/08/2019

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde 07/08/2019
Local Data

Geovana Ramos Soares
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Arivaldo Resendi
Assinatura do(a) orientador(a)

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CURSO (TC)

ANO	SEMESTRE

No dia 07 do mês de agosto de 2019, às 08:00 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes Oswaldo Resende, Lígia Campos de Moura Silva e Weder Nunes Ferreira Junior para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado Cinética de secagem de folhas de couve-manteiga processadas na forma chips

do(a) acadêmico(a) Geovana Ramos Soares, Matrícula nº 2013.102000240016 do curso de Agronomia do IF Goiano – Câmpus Rio Verde. Após a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela Aprovação do(a) acadêmico(a). Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que segue datada e assinada pelos examinadores.

Rio Verde, 07 de agosto de 2019.

Oswaldo Resende

Nome:
Orientador(a)

Lígia Campos de Moura Silva

Nome:
Membro

Weder Nunes Ferreira Junior

Nome:
Membro

Observação:

() O(a) acadêmico(a) não compareceu à defesa do TC.

A Deus.

Aos meus pais, Wendel e Sandra.

A minha estrela no céu Wellington.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir chegar até aqui e por sempre abençoar meus passos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde pela a oportunidade de realização de um sonho.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Resende pela orientação, ensinamentos e paciência.

Aos estudantes do LPCPV pelo apoio, em especial a Gleyce Kelle pela colaboração e contribuições no trabalho.

Aos meus pais Wendel e Sandra, e ao meu irmão Thiago por terem sido todo o meu apoio, base e minha fortaleza. Por terem sido responsáveis para que tudo fosse possível. Especialmente a minha mãe por nunca me deixar desistir e ter sido minha maior influenciadora nos estudos desde sempre.

A minha família por apoiarem desde o primeiro momento, por me ajudarem a cada obstáculo encontrado no caminho.

Aos meus amigos mais antigos Kalléssia, Gaspar, Maria Isabel, Amanda, Hillary por terem sido meus amigos, me ouvido, me dado conselhos e força para continuar sempre que pensei em desistir.

Aos amigos que fiz durante a minha caminhada acadêmica Weder, Jéssica, Adeliane, Karla, Patrícia, Patrick, Natália, Oscar, Eduardo, Millena e Bruna que foram minha família em Rio Verde. Em especial o Weder que foi desde melhor amigo, cuidador, companheiro de lar, conselheiro, meu Migs a meu coorientador.

A todos os meus colegas que de alguma forma contribuíram para que esta jornada fosse realizada.

Muito Obrigada !

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Centesimal da Couve-Manteiga (<i>Brassica oleracea</i> var. acephala)....	3
Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados para predizer a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips	7
Tabela 3 - Valores do erro médio estimado (SE, decimal) e valores para o teste de <i>Qui</i> -quadrado (χ^2 , decimal $\times 10^{-4}$) calculados de acordo com os modelos ajustados para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C	10
Tabela 4 - Erro médio relativo (P, %) e coeficiente de determinação (R^2 , decimal) para os modelos ajustados, durante a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C	11
Tabela 5 - Valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC), para os modelos ajustados para a cinética de secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	12
Tabela 6 - Coeficientes do modelo de Midilli, ajustado para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A) Folhas de Couve-manteiga processadas na forma chips. B) Couve-manteiga processada na forma chips em bandeja circular perfurada	5
Figura 2 - Razão do teor de água das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips ao longo do tempo de secagem à 40, 50, 60 e 70 °C	10
Figura 3 - Valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C	14
Figura 4 - Valores médios do coeficiente de difusão efetivo ($m^2 s^{-1}$) obtidos para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.	15
Figura 5 - Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips	16

RESUMO

Nos últimos anos é crescente a busca por alimentos mais saudáveis e de baixo valor calórico. Dentre estes, alimentos têm-se a couve-manteiga que pode ser consumida in natura ou processada, na forma processada têm-se a farinha e a chips de couve. Tendo em vista a conservação de alimentos pós-colheita, objetivou-se neste trabalho estudar a secagem de folhas de couve-manteiga processadas na forma de chips em diferentes temperaturas. O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde. As folhas foram processadas em tamanho uniforme de 5,0 x 3,5 cm e a secagem foi realizada em estufa nas temperaturas de 40; 50; 60 e 70 °C, até massa constante. Para se realizar o ajuste dos modelos matemáticos utilizou-se a análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton, o grau de ajuste de cada modelo foi verificado de acordo com as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), teste de *Qui*-quadrado (χ^2) e os critérios de informação de Akaike (AIC) e critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC). Dentre os modelos utilizados a equação de Midilli se destacou, sendo utilizada para a representação da cinética de secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips. O coeficiente de difusão aumentou linearmente em função do incremento da temperatura e a energia de ativação para a secagem foi de 45,09 kJ mol⁻¹ na faixa de temperatura de 40 a 70 °C.

Palavras-Chave: *Brassica oleracea* var. acephala, modelos matemáticos, teor de água.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.2 Couve-Manteiga.....	2
2.3 Secagem	3
2.4 Modelagem Matemática	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS	5
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	9
5. CONCLUSÃO	16
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1. INTRODUÇÃO

A couve é originária do leste do Mediterrâneo, a *Brassica oleracea L. var. acephala* é comumente conhecida como couve-manteiga, couve-de-folhas, couve-comum dependendo da região (STEINER et al., 2009). É uma olerícola cultivada o ano todo em todas as regiões do Brasil devido a sua adaptação ao clima, podendo ser tolerante ao clima tropical (FILGUEIRA, 2008).

A couve-manteiga é uma das hortaliças mais populares, sendo cultivada por agricultores familiares, a produção em larga escala tem crescido no Brasil gradativamente ao longo dos anos em virtude das novas formas de utilização na culinária, pelo rápido retorno econômico e às recentes descobertas na ciência quanto ao seu aporte nutricional (PITTA et al., 2007; NASCIMENTO, 2016; NASSER, 2018). Na culinária é utilizada há mais de 2.000 anos, e atualmente está sendo cada vez mais utilizada em saladas, sucos, caldos e dietas (AZEVEDO et al., 2014).

A couve possui inúmeros benefícios referente à saúde humana, auxilia na desintoxicação do corpo, é rica em vitaminas, ferro, cálcio, componentes fenólicos, bioativos conferindo proteção natural ao corpo, além de ser considerada pouco calórica (MÁRTON et al., 2013). A busca por produtos mais saudáveis e de baixa caloria fez com que indústrias de alimentos desenvolvessem novos produtos, a partir da couve existem o suco detox, farinhas e o chips de couve (FEIBER, 2012).

Devido ao alto teor de água presente em suas folhas perdas significativas acontecem na pós colheita, conferindo mínima vida útil ao alimento, uma alternativa para esse problema é a secagem, que é responsável pela remoção da água presente no alimento, inibindo a atividade enzimática e microbiológica (CARLESSO et al., 2008).

A secagem de folhas consiste em manter propriedades naturais presentes no alimento para que possam ser armazenadas sem perdas significativas e posteriormente absorvidas pelo organismo ou transformadas em outro subproduto (CORRÊA et al., 2010). Seu processo ocorre por meio da retirada de água do alimento por meio de evaporação consequente de pressão de ar aquecido exercidas sobre as folhas. A cinética estuda a velocidade dos processos ocorridos em função da massa, neste caso a velocidade de transformação do alimento túrgido a seco (BORGES et al., 2010; SANTOS et al., 2010; SANJINEZ-ARGANDOÑA et al., 2011).

Na literatura encontra-se diversos trabalhos avaliando a cinética de secagem de produtos vegetais, como: sementes de feijão (AFONSO JÚNIOR et al., 1999), sementes de nabo

forageiro (SOUSA, 2011), frutos de carambola (SILVA et al., 2016), frutos de banana (COSTA et al., 2018), porém são escassas as informações sobre o comportamento da secagem de folhas das espécies das Brássicas. Portanto, objetivou-se neste trabalho foi estudar a cinética de secagem de folhas de couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*) processadas na forma de chips em diferentes temperaturas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Couve-Manteiga

A couve-manteiga possui a conformação de caule ereto, onde as folhas nascem ao redor do mesmo, continuamente, sua forma de propagação pode ocorrer por meio de sementes, porém a mais utilizada é a propagação vegetativa por broto lateral. A cultura da couve é bastante exigente de boro e molibdênio, sendo necessário fazer adubação mineral desses micronutrientes (VIEIRA, 2010).

Caracterizada por ser uma cultura típica de outono-inverno, tolerante ao clima frio e geadas, a couve também é tolerante ao clima tropical, respondendo bem em temperaturas acima de 28 °C, podendo ser cultivada em grande parte do território nacional. Em regiões quentes, a recomendação é o cultivo em sombreamento (FILGUEIRA, 2008).

A couve apresenta um sistema radicular superficial e possui sensibilidade ao déficit hídrico, com isso seu cultivo ocorre por meio de irrigação. A escassez de água afeta a produtividade, crescimento e qualidade da herbácea. A forma de irrigação mais utilizada é o método de aspersão, entretanto todas as formas de irrigação são passíveis a serem utilizadas para a cultura da couve (MAROUELLI et al., 2011).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Censo Agropecuário (IBGE, 2006) atualizado em 2012, a couve ocupou a sétima posição na lista das cinquenta hortaliças mais comercializadas no Brasil. Destacando-se uma posição de interesse econômico no mercado brasileiro.

A couve-manteiga se destaca por seu maior conteúdo de proteínas, carboidratos, fibras, cálcio, ferro, vitamina A, niacina e vitamina C (Lorenz & Maynard, 1988). Na Tabela 1 estão os dados referentes a composição centesimal das folhas de couve manteiga (LUENGO et al., 2011; NEPA, 2011).

Tabela 1. Composição centesimal da couve-manteiga (*Brassica oleracea var. acephala*)

Componentes Nutricionais da Couve-Manteiga	Quantidade*	Componentes Nutricionais da Couve-Manteiga	Quantidade*
Fibra Alimentar (g)	3,1	Cobre (mg)	0,34
Energia (kcal)	25,0 – 27,0	Manganês (mg)	9.700
Água (%)	89,00	Zinco (mg)	2.900
Mat. Seca	3,4	Potássio (mg)	358,4
Vit. A retinol (µg)	750	Sódio (mg)	243,8
Vit. B tiamina (µg)	96	Calcio (mg)	131
Vit. B2 riboflavina (µg)	247	Ferro (mg)	2.200
Vit. B5 niacina (mg)	0,372	Fosforo (mg)	66
Vit. C ácido ascórbico (mg)	180,0	Lipídeos (g)	0,5
Proteína (g)	2,9	Magnésio (mg)	35
Carboidrato (g)	4,3		

*Quantidade em 100 gramas de folha, segundo Luengo et al. (2011) e NEPA (2011).

2.2 Secagem

Com a economia mundial cada vez mais globalizada, a multiplicação de produtos biológicos e agrícolas confere maior interesse na preservação de alimentos para a fabricação de produtos e subprodutos, um exemplo de método de conservação de alimento, que é amplamente difundido é a secagem (SANTOS, 2009).

A secagem é um dos processos mais utilizados na pós-colheita de produtos vegetais, o método visa a redução de água presente no material, diminuindo a atividade biológica garantindo maior estabilidade e qualidade do produto (CORRÊA et al., 2007). É um processo dinâmico que ocorre entre a umidade relativa e a temperatura do ar, exercendo pressão de vapor sob a massa do produto (VILLELA & PERES, 2004). A pressão faz com que o ar quente elimine a água presente no produto para a superfície externa, e posteriormente seja evaporada (PESKE & VILLELA, 2003).

Sobre a importância da secagem cita-se a redução do teor de água do produto após a colheita, onde a atividade de água determinará a presença de organismos biológicos como os fungos e bactérias que podem deteriorar o produto e diminuir o seu período de vida útil, pois na presença de água os mesmos possuem alta atividade biológica (OLIVEIRA et al., 2006). Os componentes aromáticos em temperatura ambiente permanecem estáveis por maiores períodos sem a degradação enzimática e oxidativa agressiva. Outro fator importante é economia referente ao fato de que o produto não necessita ser refrigerado, economizando em energia, além de que

o produto fica acessível durante todo o ano com as propriedades nutricionais asseguradas (PARK et al., 2001).

Se comparado a outros processo de conservação de alimentos como o tratamento químico, a centrifugação, o enlatamento, a irradiação entre outros a secagem é o processamento que confere períodos maiores de preservação do produto, além de ser o mais simples e de menor custo (SOUSA et al. 2006).

Durante a secagem é necessário monitorar e conhecer os fenômenos físicos para que esta ocorra de forma funcional e econômica (MARTINAZZO et al., 2007), pois algumas condições de secagem como as taxas de remoção de água rápida podem alterar as características dos produtos, podendo promover modificações na estrutura e teores dos seus componentes.

As análises sobre as curvas de secagem são capazes de nos dar uma visão mais ampla sobre o processo, na tomada de decisões sobre a escolha do procedimento, equipamento utilizado, a temperatura adequada para qualidade do produto, e o tratamento a ser usado. (OLIVEIRA et al., 2002).

2.3 Modelagem matemática

Para aprimoramento e entendimento dos equipamentos utilizados para a secagem, é essencial uma simulação e obtenção de bases teóricas sobre reação de cada produto, durante a redução do teor de água. Para a simulação, a qual constitui na secagem de contínuas camadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que demonstra, corretamente, perda de água do produto durante o período de secagem (BERBERT et al., 1995).

A cinética de secagem de produtos alimentícios processados está sendo cada vez mais estudada para permitir o melhor dimensionamento de uma planta de processamento (OLIVEIRA et al., 2006) para obtenção de um produto com teor de água reduzido e que mantenha as características sensoriais. Como exemplo de modelagem matemática de produtos alimentícios estudados, cita-se a secagem de pêra fatiada (PARK et al., 2001), diferentes cultivares de bananas (BORGES et al., 2010; SANTOS et al., 2010; COSTA et al., 2018), abacaxi fatiado (MACHADO et al., 2012), polpa fatiada de batata doce biofortificada (SOUZA et al., 2019).

Considera-se no método teórico os mecanismos internos de transferência de energia e massa e conseqüentemente os seus efeitos, e as condições externas onde o procedimento é realizado. Já nos métodos semiteóricos as operações podem seguir o modelo de Dois Termos (HENDERSON, 1974), e o de Henderson e Pabis que são baseados na Lei de Newton para

resfriamento aplicada à transferência de massa, em que a resistência de transferência de água ocorra somente na extensão do produto e espera-se que as condições sejam isotérmicas (BROOKER et al., 1992).

Segundo Queiroz et al. (1995) o método empírico integra-se de grupos físicos adimensionais de fácil percepção em estudos laboratoriais em que se embasam condições externas como a razão da mistura, velocidade do ar de secagem e temperatura. Os mais utilizados para produtos vegetais são os modelos de Wang & Singh, e, o de Thompson (MARTINAZZO et al., 2007).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde. As folhas de couve foram colhidas no período da manhã em uma horta na zona urbana do município de Rio Verde, Goiás. As folhas foram lavadas e higienizadas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 100 ppm (2,0% de cloro ativo) por aproximadamente cinco minutos, enxaguadas em água corrente, e secas com papel toalha. Após a remoção da água presente na superfície das folhas, em relação ao processamento utilizou-se uma faca de inox, para isso retirou-se as nervuras centrais e os pecíolos (talos), posteriormente as folhas foram cortadas em tamanho uniforme (5,0 x 3,5 cm) (Figura 1A).



Figura 1. A) Folhas de Couve-manteiga processadas na forma chips. B) Couve-manteiga processada na forma chips em bandeja circular perfurada.

As folhas de couve-manteiga processadas na forma chips com teor de água inicial de $7,52 \pm 0,055$ (decimal base seca) foram dispostas sobre a superfície da bandeja circular perfurada, de aço inox (diâmetro de 25 cm), formando uma camada de 5 cm de espessura (Figura 1B). As bandejas foram colocadas dentro da estufa com ventilação de ar forçada, nas temperaturas controladas de 40, 50, 60 e 70 °C – que promoveram a umidade relativa de 29,34; 13,95; 8,61 e 6,30%, respectivamente, em quatro repetições contendo 50 gramas de produto processado. As bandejas foram pesadas em intervalos de tempo para acompanhar a redução da massa, em balança semi-analítica com resolução de 0,01 g.

O teor de água das amostras foi determinado pelo método gravimétrico recomendado pela ASABE (2010), para folhas e similares, em estufa com circulação forçada de ar a $103 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 24 horas.

A temperatura e a umidade relativa ambiente foram monitoradas com auxílio de um data logger e a temperatura do interior da estufa foi monitorada por meio de um termômetro, sendo a umidade relativa no interior da estufa obtida por meio dos princípios básicos de psicrometria, com o auxílio do programa computacional GRAPSI.

Para determinar o teor de água de equilíbrio das folhas de couve-manteiga foram colocadas aproximadamente cinco gramas de folhas, em cápsulas de alumínio em três repetições. As amostras foram colocadas em estufa nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, sendo monitoradas no intervalo de 5 horas o peso dessas amostras, até que a massa do produto permanecesse invariável durante três pesagens consecutivas.

Após o processo de secagem, foram obtidas as curvas de secagem a partir dos dados experimentais utilizando os valores da razão do teor de água. Portanto, para a determinação das razões de teor de água (1) das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips durante a secagem, utilizou-se a expressão:

$$RX = \frac{X^* - X_e^*}{X_i^* - X_e^*} \quad (1)$$

Em que,

RX - Razão de teor de água, adimensional;

X^* - teor de água do produto (decimal b.s.);

X_i^* - teor de água inicial do produto (decimal b.s.);

X_e^* - teor de água de equilíbrio do produto (decimal b.s.).

Aos dados experimentais da secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips, foram ajustados à modelos matemáticos (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips

Designação do Modelo	Modelo	
$RX = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	Wang & Singh	(2)
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(3)
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(4)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(5)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logaritmo	(6)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(7)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 + a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial de Dois Termos	(8)
$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(9)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	Aproximação da Difusão	(10)

Em que,

t - Tempo de secagem;

h; k, k₀, k₁ - Constantes de secagem;

a, b, c, n - Coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton. A significância dos parâmetros dos modelos foi avaliada pelo teste t adotando o nível de 5% de probabilidade. Foram verificados o grau de ajuste de cada modelo de acordo com as magnitudes do coeficiente de determinação (R²), do erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), e o teste de Qui-quadrado (χ^2) ao nível de significância de 0,01% e o intervalo de confiança a 99% (P < 0,01). O erro médio estimado e relativo, bem como o teste de Qui-quadrado para cada um dos modelos, foram calculados conforme as seguintes expressões, respectivamente:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (11)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (12)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (13)$$

Em que,

Y - Valor experimental;

\hat{Y} - Valor estimado pelo modelo;

n - Número de observações experimentais; e,

GLR - Grau de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

O critério de Akaike (AIC) e o critério de informação de bayesiano de Schwarz (BIC) foram utilizados para a escolha do melhor modelo matemático para prever o fenômeno. O AIC permite utilizar o princípio da parcimônia na escolha do melhor modelo, ou seja, de acordo com este critério nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor (BURNHAM & ANDERSON, 2004).

O AIC é usado para comparar modelos não-aninhados ou quando estão sendo comparados três ou mais modelos. Menores valores de AIC refletem um melhor ajuste (AKAIKE, 1974). Sua expressão é dada por:

$$AIC = -2\loglike + 2p \quad (14)$$

Em que,

p - Número de parâmetros; e,

loglike – Valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

O BIC também considera o grau de parametrização do modelo, e da mesma forma, quanto menor for o valor de BIC (SCHWARZ, 1978), melhor será o ajuste do modelo. É um critério assintótico, cuja adequação está fortemente relacionada com a magnitude do tamanho de amostra. Em relação a penalização aplicada na quantidade de parâmetros, esta será mais rigorosa que o AIC para amostras pequenas. Sua expressão é dada por:

$$BIC = -2\loglike + p \cdot \ln(n) \quad (15)$$

A difusividade efetiva foi determinada com base na Segunda Lei de Fick, a difusividade do material foi avaliada assumindo a forma geométrica de uma placa plana e com aproximação de oito termos (CRANK, 1975; BROOKER et al., 1992), conforme seguinte expressão.

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-\frac{(2i+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{S}{V}\right)^2\right] \quad (16)$$

Em que,

D_{ef} – Coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$;

i - Número de termos (8 termos);

t - Tempo, s;

S - área da superfície do produto, m²;

V- Volume do produto, m³.

O volume (V) médio das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips foi determinado por meio da medição da espessura, de folhas processadas na forma chips, sendo a média de 10 pontos aleatórios por folha, antes de iniciar a secagem, com auxílio de um paquímetro digital. O volume foi calculado de acordo com a expressão (17), e a área superficial foi calculada com auxílio do programa ImageJ 1.51j8.

$$V = S \cdot e \quad (17)$$

Em que,

e - Espessura, m.

A relação do coeficiente de difusão com a temperatura do ar de secagem foi analisada pela equação de Arrhenius, conforme seguinte expressão.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T_a}\right) \quad (18)$$

Em que,

D_{ef} – Coeficiente de difusão efetivo, m² s⁻¹;

D₀ - Fator pré-exponencial, m² s⁻¹;

E_a - Energia de ativação, kJ mol⁻¹;

R - Gases constante universal dos gases (8,134 kJ kmol⁻¹ K⁻¹);

T_a - Temperatura absoluta, K⁻¹.

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram linearizados com a aplicação do logaritmo, conforme descrita:

$$\ln D_{ef} = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_a} \quad (19)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que conforme aumenta-se a temperatura maiores são as taxas de secagem do produto. O tempo necessário para ocorrer a remoção de água para um mesmo valor de razão de teor de água aumenta conforme ocorre um decréscimo na temperatura de secagem, sendo que o tempo de secagem foi de 14; 10; 4 e 3,7 para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente (Figura 2).

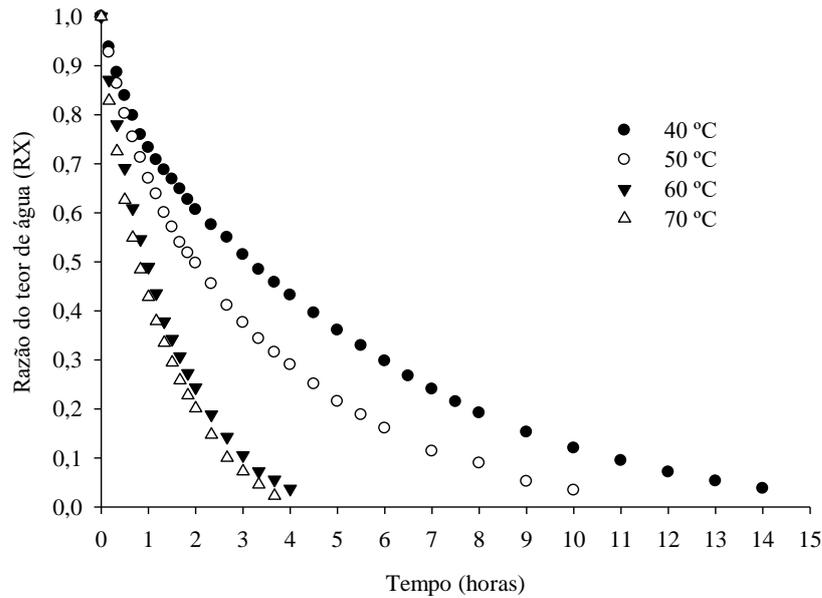


Figura 2. Razão do teor de água das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips ao longo do tempo de secagem à 40, 50, 60 e 70 °C.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores do erro médio estimado (SE, decimal) e valores para o teste de *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal $\times 10^{-4}$) para os modelos ajustados a secagem das folhas de couve-manteiga processada na forma chips.

Tabela 3. Valores do erro médio estimado (SE, decimal) e valores para o teste de *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal $\times 10^{-4}$) calculados de acordo com os modelos ajustados para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C

Modelo	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	SE	χ^2	SE	χ^2	SE	χ^2	SE	χ^2
2	0,0244	43,9	0,0231	46,14	0,0055	13,41	0,0108	27,02
3	0,0023	4,07	0,0005	0,98	0,0004	0,93	0,0009	2,18
4	0,0075	13,19	0,0040	7,93	0,0004	0,88	0,0014	3,28
5	0,0004	0,82	0,0001	0,26	0,0001	0,15	4×10^{-5}	0,11
6	0,0026	4,77	0,0016	3,30	0,0002	0,43	0,0009	2,75
7	0,0026	4,63	0,0018	3,30	0,0004	0,88	0,0009	2,30
8	0,0012	2,20	0,0002	0,44	0,0004	0,93	0,0005	1,32
9	0,0008	1,48	0,0002	0,46	0,0001	0,34	0,0007	1,87
10	0,0008	1,45	0,0002	0,44	0,0002	0,50	0,0005	1,40

Na Tabela 3, verifica-se que o erro médio estimado (SE), ou desvio padrão da estimativa, apresentou valores baixos na maioria dos modelos, o modelo de Midilli (5) apresentou menores valores (4×10^{-5} a $1,0 \times 10^{-4}$ decimal) para este parâmetro em todas as temperaturas de secagem. De acordo com a literatura, quanto menor o valor do SE para uma dada temperatura melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais (CORRÊA et al., 2007; SOUSA et al., 2011). O modelo de Wang & Singh (2) apresentou os maiores valores para o erro médio estimado, variando de 0,0055 a 0,0244 nas temperaturas em estudo.

Em relação ao *Qui*-quadrado (χ^2) (Tabela 3), usa-se metodologia de análise proposta por Gunhan et al. (2005), em que o modelo que apresenta melhor ajuste dos dados estimados aos experimentais será aquele que o ajuste apresentar menor valor ao teste de *Qui*-quadrado. Em comparação aos demais modelos ajustados, o modelo de Midilli apresentou menor valor neste parâmetro, para todas as temperaturas de secagem.

Em relação ao erro médio relativo (P) este dado em porcentagem (Tabela 4), de acordo com Mohapatra & Rao (2005), valores abaixo de 10% para este parâmetro em resultado ao ajuste do modelo aos dados da secagem são considerados como ajuste adequado. Portanto, valores acima dessa margem serão desconsiderados para estimar o processo de secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips.

Tabela 4. Erro médio relativo (P, %) e coeficiente de determinação (R^2 , decimal) para os modelos ajustados, durante a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C

Modelos	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	P	R^2	P	R^2	P	R^2	P	R^2
2	23,55	0,9455	30,26	0,9425	18,61	0,9847	32,36	0,9680
3	10,56	0,9949	6,43	0,9988	6,63	0,9989	14,58	0,9974
4	7,37	0,9831	7,62	0,9897	6,68	0,9989	10,79	0,9959
5	3,69	0,9831	1,43	0,9997	1,80	0,9998	1,82	0,9999
6	5,37	0,9943	7,64	0,9960	2,40	0,9995	3,15	0,9975
7	6,14	0,9942	5,24	0,9954	6,91	0,9990	11,79	0,9973
8	6,80	0,9973	4,24	0,9994	6,68	0,9989	12,47	0,9984
9	6,86	0,9983	4,20	0,9995	2,05	0,9997	3,78	0,9981
10	6,86	0,9983	4,22	0,9995	2,42	0,9995	12,37	0,9985

Na Tabela 4, verifica-se que a maioria dos modelos analisados obtiveram valores abaixo de 10 % para as temperaturas de secagem de 40, 50 e 60 °C, com exceção dos modelos de Wang e Singh (2) e Page (3) para a temperatura de 40 °C, e Wang e Singh (2) para as temperaturas de 50 e 60 °C. No entanto, para a temperatura de 70 °C, apenas os modelos de Midilli (5), Logarítmico (6) e Dois Termos (9) apresentaram valores para o erro médio relativo (P) abaixo de 10%.

Em relação ao coeficiente de determinação (R^2 , decimal), na Tabela 4, observa-se que para a temperatura de 40 °C, os modelos de Dois Termos (9) e Aproximação da Difusão (10) apresentaram o maior valor (0,9983) quando comparado aos demais. Para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C os maiores valores foram apresentados pelo modelo de Midilli (5), 0,9997; 0,9998 e 0,9999, respectivamente, enquanto o modelo de Wang & Singh (2) apresentou o menor valor para este parâmetro para todas as temperaturas de secagem.

Todos os modelos foram submetidos ao Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) (Tabela 5) com a finalidade de escolher o melhor modelo para predizer a curva de secagem da couve-manteiga processadas em forma de chips, em diferentes temperaturas de secagem.

Tabela 5. Valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC), para os modelos ajustados para a cinética de secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C

Modelos	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
2	-81,53	-77,04	-65,67	-60,78	-67,91	-65,08	-51,51	-48,84
3	-159,98	-155,49	-168,48	-164,59	-119,08	-116,24	-97,19	-94,52
4	-122,16	-119,17	-113,14	-110,55	-121,07	-119,18	-90,69	-88,91
5	-210,70	-203,22	-202,51	-196,03	-152,47	-147,75	-154,57	-150,12
6	-153,77	-147,79	-134,88	-129,70	-132,68	-128,90	-95,77	-92,21
7	-155,64	-151,15	-132,72	-128,83	-119,98	-117,15	-96,11	-93,44
8	-180,29	-175,80	-190,01	-186,12	-120,66	-117,82	-90,36	-87,69
9	-191,37	-183,89	-187,60	-181,12	-131,64	-136,37	-98,24	-93,79
10	-193,08	-187,09	-189,10	-183,92	-130,48	-126,70	-104,11	-100,55

Segundo Wolfnger (1993), os menores valores para esses critérios indicam o melhor ajuste do modelo aos dados do processo, o modelo de Midilli (5) apresentou menores valores

para AIC e BIC em ambas as condições de secagem (Tabela 5). Gomes et al. (2018) em trabalho com secagem da massa de folha de jambu triturada também utilizaram os critérios de AIC e BIC para selecionar o melhor modelo, sendo selecionado o modelo de Midilli.

Dentre os parâmetros de erro médio estimado (SE), teste de *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal $\times 10^{-4}$), erro médio relativo (P, %), coeficiente de determinação (R^2 , decimal), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação bayesiano de Schwarz (BIC) utilizados no ajuste de dados estatísticos obtidos na secagem de folhas de couve-manteiga na forma de chips nas temperaturas de 40; 50; 60 e 70 °C, o modelo de Midilli obteve melhores resultados, sendo portanto, o modelo selecionado para estimar o processo de secagem deste produto.

Na literatura encontram-se diversos trabalhos em que o modelo de Midilli apresentou melhor ajuste aos dados experimentais, sendo recomendado para a cinética de secagem de sementes de nabo forrageiro (SOUSA, 2011), de grãos de feijão guandu (SILVA, 2014), grãos de sorgo (BOTELHO et al., 2015), e diferentes variedades de grão de soja (BOTELHO et al., 2018).

Os valores encontrados para os parâmetros do modelo de Midilli, ajustados aos dados experimentais da secagem da couve-manteiga em diferentes temperaturas, foram descritos na Tabela 5. A constante de secagem “k” aumentou de acordo com a elevação da temperatura do ar de secagem. Os coeficientes “a”, “n” e “b” não apresentaram tendência relacionada a mudança da temperatura.

Tabela 6. Coeficientes do modelo de Midilli, ajustado para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips

Coeficientes	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
a	0,999860**	1,008586**	0,998641**	0,999049**
k	0,282936**	0,395647**	0,697675**	0,803036**
n	0,735072**	0,799401**	0,941572**	0,840394**
b	-0,008440**	-0,005062**	-0,010738**	-0,019629**

As curvas de secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips foram estimadas pelo modelo de Midilli estão apresentadas na Figura 2, pode-se observar a correspondência satisfatória entre os valores experimentais e os valores estimados pelo modelo ao logo da secagem em diferentes temperaturas. Silva et al. (2016) selecionaram o modelo de Midilli para predizer a curva de secagem de frutos de pimenta Cabacinha nas temperaturas entre 60 e 100 °C.

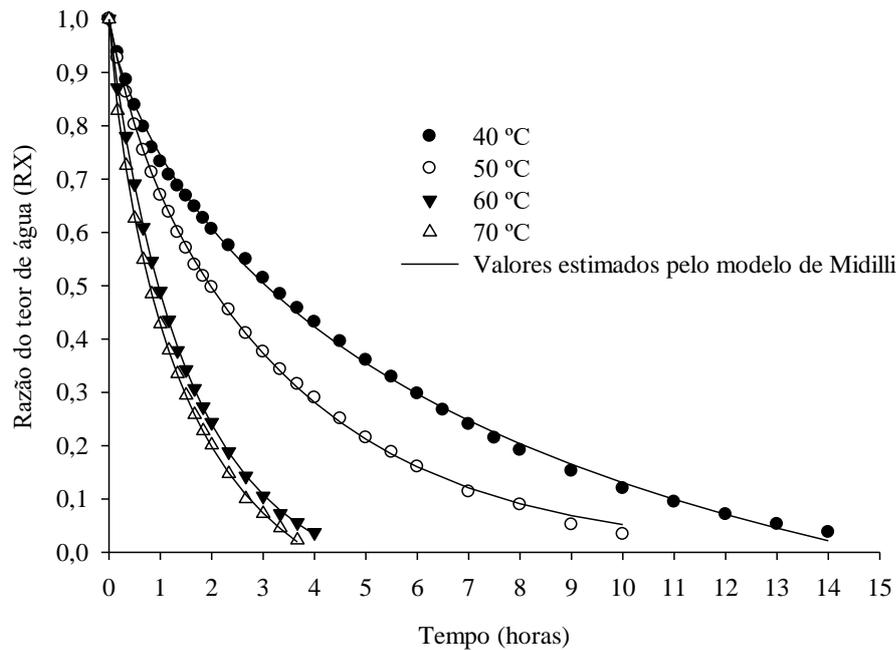


Figura 3. Valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Analisando-se a literatura, observou-se que o modelo de Midilli foi utilizado para representação da secagem de outras espécies folhosas, a opção de utilização deste modelo de acordo com os trabalhos é a sua simplicidade e facilidade de aplicação, bem como por se ajustar melhor aos dados experimentais. Como exemplo destes trabalhos têm-se a cinética da secagem de folhas de Jenipapo (*Genipa americana* L.) nas temperaturas de 35,3; 46 e 64 °C (SILVA et al., 2015), das folhas de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus*) nas temperaturas de secagem de 30, 40, 50 e 60 °C (GOMES et al., 2017), das folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C (MARTINS et al., 2015), das folhas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* Mart. Ex Reiss) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C (JUNQUEIRA et al., 2016), e das folhas de espinafre (*Tetragonia tetragonoides*) nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C (LE MOS et al., 2016).

Conforme observado na Figura 4, foi verificado um aumento de forma linear do coeficiente de difusão em função do incremento da temperatura, indicando um aumento no fenômeno de retirada de água do produto (SOUSA et al., 2011). Para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips foram encontrados os coeficientes de difusão com as magnitudes entre $2,7 \times 10^{-11}$ a $1,04 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Bezerra et al. (2015) secando casca de maracujá nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C encontraram resultados superiores para os coeficientes de difusão efetivos ($0,3199$ a $1,994 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$).

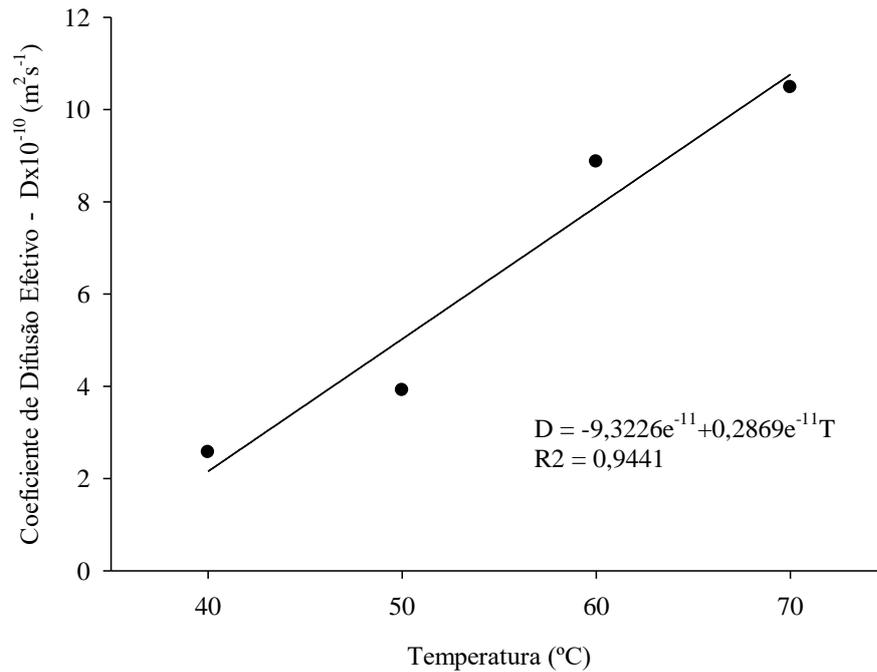


Figura 4. Valores médios do coeficiente de difusão efetivo ($m^2 s^{-1}$) obtidos para a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Gomes et al. (2017) secando folhas de *Cymbopogon citratos* encontraram valores entre $2,20 \times 10^{-12}$ a $1,56 \times 10^{-11} m^2 s^{-1}$ nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C. De acordo com Rizvi (1995), o coeficiente de difusão efetivo é dependente da temperatura do ar de secagem, além da variedade e composição dos materiais, dentre outros, o que justifica a diferença nos valores difusividade entre os produtos vegetais. A forma com que o ar de secagem se relaciona com o produto depende muitas vezes da conformação, estruturas e dimensões do produto a ser seco (OLIVEIRA et al., 2006).

Foi utilizada a expressão de Arrhenius (Figura 5) para representar a dependência do coeficiente de difusão efetivo das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips em relação à temperatura de secagem.

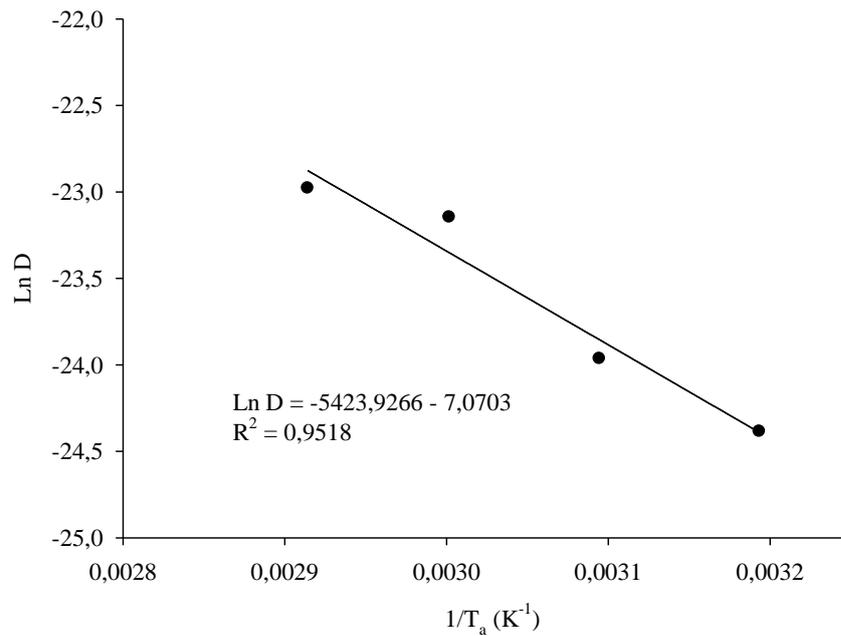


Figura 5. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips.

A energia de ativação para a difusão líquida encontrada para o fenômeno de secagem foi de 45,09 kJ mol⁻¹. A energia de ativação para produtos vegetais encontra-se entre 12,7 e 110 kJ mol⁻¹, sendo assim o valor encontrado neste trabalho está dentro desta faixa (ZOGZAS et al. 1996). Oliveira et al. (2013) trabalhando com grãos de soja encontraram o valor de energia de ativação de 22,77 kJ mol⁻¹, valor discrepante do valor encontrado no presente trabalho, fato que pode ser justificado por se tratar de produtos com formatos bastante diferenciados. GONELI et al. (2014) secando folhas de ervas baleeira nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C encontraram o valor de 62,89 kJ mol⁻¹ para a energia de ativação.

5. CONCLUSÃO

O modelo matemático de secagem de Midilli é indicado para representar a cinética de secagem das folhas de couve-manteiga processadas na forma chips.

O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem, podendo descrito pela equação de Arrhenius, com energia de ativação de 45,09 kJ mol⁻¹ nas temperaturas de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental**, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transaction on Automatic Control**, v.19, p.716-723, 1974.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). **Moisture measurement: forages**: standard S358.2 DEC1988, R2008. In: ASABE. Standards, engineering practices, and data. St. Joseph: ASABE, 2010. p. 684-685.
- AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; FERNANDES, J. S. C.; PEDROSA, C. E.; VALADARES, N. R.; FERREIRA, M. A. M.; MARTINS, R. A. V. Divergência genética e importância de caracteres morfológicos em genótipos de couve. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 48-54, 2014.
- BERBERT, P. A.; QUEIROZ, D. M.; SILVA, J. S.; PINHEIRO FILHO, J. B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, n. 3, p. 167- 173, 1995.
- BEZERRA, C. V. B.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, n. 1, p. 750-755, 2015.
- BORGES, S. V.; MANCINI, M. C.; CORRÊA, J. L. G.; LEITE, J. Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 605-612, 2010.
- 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.
- BOTELHO, F. M.; HOSCHER, R. H.; HAUTH, M. R.; BOTELHO, S. C. C. Cinética de secagem de grãos de soja: Influência varietal. **Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 13-25, 2018.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological methods & research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.
- CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. S.; DETMANN, E. Secagem e armazenamento de sementes de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 65-74, 2008.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

- 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**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.
- COSTA, Z. R. T.; SILVA, L. P. F. R.; ALVES, V. R.; SILVA, H. A.; VIEIRA, A. F. Modelos matemáticos da cinética de secagem de banana (*Musa spp.*). In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, **Anais...** Maceió, 2018.
- CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 414p., 1975.
- FEIBER, L. T.; CAETANO, R. Estudo da Composição Centesimal e Teores de Cálcio em Polpas de Couve (*Brassica oleracea var. acephala*). **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 1, p. 141-145, 2012.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura agrotecnológica moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. p.421.
- 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*. **Evangelista**, v. 19, n. 2, p. 328-338, 2017.
- GOMES, F. P.; RESENDE, O.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, D. E. C.; ARAÚJO NETO, F. R. Drying kinetics of crushed mass of ‘jambu’: Effective diffusivity and activation energy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 7, p. 499-505, 2018.
- 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 verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014.
- GUNHAN, T. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, v. 46, n. 11-12, p. 1667-79, 2005.
- HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 6, p. 1167-1168, 1974.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**: Tabela 2856 – Produção e Valor da produção na horticultura, grupos e classes de atividade econômica e uso na agricultura orgânica. Sistema IBGE de Recuperação automática – SIDRA, 2006.
- JUNQUEIRA, M. H. ; SIQUEIRA, V. C. ; SILVA, F. P. ; MELO, R. M. ; MARTINS, E. A. S. . Modelagem estatística do processo de secagem de folhas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss). In: IV CONVIBRA Online Conference Agronomy, 2016. **Anais...** p. 135-150. São Paulo: Instituto Pantex de Pesquisa Ltd, 2016.
- LUENGO, R. F. A.; PARMAGNANI, R. M.; PARENTE, M. R.; LIMA, M. F. B. **Tabela de composição nutricional das hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 4p. (Documentos, 26)
- LEMONS, C. D. L.; FERREIRA, J. S.; ALENCAR, D. D. O.; ANDRÉ, A. M. M. C. N. Cinética de secagem do espinafre (*Tetragonia tetragonoides*). In: Congresso Nacional de Pesquisa e em Ensino em Ciências, 3, 2018, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: CONAPESC, 2018.

- LORENZ, O. A.; MAYNARD, D.N. Handbook for vegetable growers. 3a ed. New York: John Wiley-Interscience Publication, 1988. 456p.
- MACHADO, A. M.; SOUZA, M. C.; JUNQUEIRA, M. S.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinéticas de Secagem do abacaxi cv. Pérola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 428-437, 2012.
- MARQUELLI, W. A.; SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; FILHO, M. A. C. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2011. 771 p.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 301–306, 2007.
- MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L.; 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.
- MÁRTON, M., KRUMBEIN, A.; PLATZ, S.; SCHREINER, M.; ROHN, S. et al. Determination of bioactive, free isothiocyanates from a glucosinolate containing phytotherapeutic agente: A pilot study with in vitro models and human intervention. **Fitoterapia**, v. 85, n. 1, p. 25-34, 2013.
- 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.
- NASCIMENTO, A. A. **Avaliação e desenvolvimento de duas variedades de couve: Couve-manteiga e Couve tronchuda, em cultivo orgânico**. 2016. 33 p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2016.
- NASSER, M. D. **Gesso e composto orgânico no preparo de solo, enxofre em cobertura, na nutrição, produção e características físico-químicas da couve-de-folha**. 2018. 58 p. Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.
- NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: NEPA - UNICAMP, 2011. 161 p.
- OLIVEIRA, L. F.; NASCIMENTO, M. R. F.; BORGES, S. V.; RIBEIRO, P. C. N.; RUBACK, V. R. Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* F. *flavicarpa*) para produção de doce em calda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 254-258, 2002.
- OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 181-189, 2006.
- PESKE, S. T.; VILLELA, F. **Secagem de sementes**. In: PESKE, S.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas: UFPel, 2003, 415 p.
- QUEIROZ, D. M.; PEREIRA, J.A.M.; MELO, E. C. Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos. Viçosa: **Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem**, 1995. 59p.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

- PITTA, R. M.; PEREIRA, M. F. A.; JUSTINIANO, W.; MENDES, D. F. O. Efeito da adubação em couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) sobre o desenvolvimento, fertilidade e longevidade de *Brevicoryne brassicae*. **Científica**, v. 35, n. 1, p. 39-45, 2007.
- RIZVI, S. S. H. **Thermodynamic properties of foods in dehydration**. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. *Engineering properties of foods*. New York: Academic Press, p. 223-309, 1995.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ, C. L. Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 308-312, 2011.
- SANTOS, C. J. R. **Secagem de sementes de girassol via radiação infravermelho e convecção forçada de ar aquecido**. 2009. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade Tiradentes – UNIT, Aracaju, 2009.
- SANTOS, P. S.; SCHWANZ, F.; PORTO, A. L. G.; SILVA, F. T. C.; FURTADO, G. F. Influência de pré-tratamentos na cinética de secagem de banana da variedade terra (*Musa sapientum*, Linneo). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 4, n. 2, p. 218-234, 2010.
- SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **Annals of Statistics**, v. 6, n. 1, p. 461-464, 1978.
- SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; MOREIRA, M. E. R.; MATA, C.; DUARTE, M. L. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. **Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 4, p. 310-318, 2014.
- SILVA, L. A.; RESENDE, O.; VIRGOLINO, Z. Z.; BESSA, J. F. V.; MORAIS, W. A.; VIDAL, V. M. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 953-963, 2015.
- SILVA, R. B.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; ALVES, A. P. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 10, n. 2, p. 2069-2080, 2016.
- SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of ‘Cabacinha’ pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.
- SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.
- SOUSA, M. de B.; PEDROZA, J.P.; BELTRÃO, N.E. de M.; SEVERINO, L.S.; DANTAS, F.P. Cinética de secagem do farelo de mamona. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.8, n.2, p.139-146, 2006.
- SOUZA, D. G.; RESENDE, O.; MOURA, L. C.; FERREIRA JUNIOR, W. N.; ANDRADE, J. W. S. Drying kinetics of the sliced pulp of biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 2, p. 176-181, 2019.
- STEINER, F.; LEMOS, J. M.; SABEDOT, M. A.; ZOZ, T. Efeito do composto orgânico sobre a produção e acúmulo de nutrientes nas folhas de couve manteiga. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p.1886-1890, 2009.

VIEIRA, D. F. A. **Catálogo brasileiro de hortaliças – saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país**. Brasília: Sebrae e Embrapa hortaliças, 2010. 60p.

VILLELA, F. A.; PERES, W. B. **Coleta, secagem e beneficiamento de sementes**. In. FERREIRA, A.; BORGUETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 324 p.

WOLFNGER, R. D. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics**, v. 22, n. 1, p. 1079-1106, 1993.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.