



SAMUEL MARCOS NASCIMENTO VALÁCIO

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE
SECAGEM DAS FOLHAS DE ALFAVACA**

LAVRAS – MG

2022

SAMUEL MARCOS NASCIMENTO VALÁCIO

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS
DE ALFAVACA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Graduação em
Engenharia Agrícola, para a obtenção do título
de Bacharelado.

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade

Orientador

Mestre Filipe da Silva de Oliveira

Coorientador

LAVRAS – MG

2022

Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de
Processos Técnicos da Biblioteca Universitária da UFLA

SAMUEL MARCOS NASCIMENTO VALÁCIO

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE ALFAVACA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharelado.

APROVADO em 25 de Abril de 2022.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade – DEA/UFLA – Orientador

Me. Filipe da Silva de Oliveira – DEA/UFLA - Coorientador

Ma. Bárbara Lemes Outeiro Araújo – DEA/UFLA

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Faria - DEA/UFLA

LAVRAS – MG

2022

*Com gratidão, dedico este trabalho a Deus,
pois sem ele nada seria possível.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir estar presente no aqui e no agora, e assim viver essa experiência.

Aos meus pais, Aelson Sales Valácio e Lenice Maria do Nascimento Valácio por todo apoio, incentivo e confiança ao longo desses anos. Gratidão pelo amor, por todos os ensinamentos e por estarem presentes em todos os momentos da minha vida.

A minha família por acreditarem no meu potencial.

A minha namorada, Aline, pelo amor, companheirismo, por estar presente e me apoiando em todos os momentos bons e difíceis da minha vida. Gratidão por estar ao meu lado.

Ao Filipe da Silva de Oliveira e ao Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade por todo apoio e pela orientação na realização do trabalho.

A todos os professores que durante a minha vida acadêmica compartilharam seus conhecimentos da melhor forma possível.

Que os nossos esforços desafiem as impossibilidades. Lembrai-vos de que as grandes proezas da história foram conquistadas do que parecia impossível.

(Charles Chaplin)

RESUMO

As plantas medicinais da família Lamiaceae são muito utilizadas por suas características medicinais. Assim fez-se necessário o estudo das características de secagem com a variação de temperatura das folhas da planta Alfavaca, conhecida também por alfavaca. No presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo da cinética de secagem das folhas da alfavaca utilizando um secador mecânico de camada fixa de circulação de ar forçada nas temperaturas de 35, 45, 55 e 70 °C e também análise de cor para as respectivas temperaturas de secagem, ajustando-se os dados aos modelos semi-teóricos e empíricos existentes na literatura. Como resultado desse processo verificou-se que, de todos os modelos ajustados, o de Midilli foi o que melhor descreve as curvas de secagem para essa espécie de planta, obtendo um maior R^2 para todas as temperaturas estudadas, com valores entre 97,90% e 99,95%. Para a análise da cor os melhores resultados de aspecto quantitativo foram para as temperaturas do ar de 35 e 45 °C. Apresentando respectivamente um coeficiente *L de 36,51 e 38,85, o que representa um menor escurecimento das folhas comparado as demais temperaturas estudadas.

Palavras-chave: Modelagem matemática; Plantas medicinais; Colorimetria; Alfavaca.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Secador mecânico simples de camada fixa.	17
Figura 2: Espaço de cor CIE $L^* a^* b^*$	18
Figura 3: Planta Alfavaca Horto-UFLA.....	21
Figura 4: Folha fresca da Alfavaca do DEA - UFLA.....	22

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 35°C.	29
Gráfico 2- Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 45°C.	29
Gráfico 3 - Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 55°C.	30
Gráfico 4 - Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 70°C.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos. ...	24
Tabela 2 - Teores de Água em base seca (d.b.) para as temperaturas de 35, 45, 55 e 70°C das folhas de Alfavaca.	26
Tabela 3 - Parâmetros obtidos dos modelos ajustados aos dados de secagem das folhas de Alfavaca para as temperaturas do ar de secagem.	27
Tabela 4 - Parâmetros obtidos do modelo de Midilli, ajustado aos dados experimentais de secagem das folhas de Alfavaca, para as diferentes temperaturas do ar de secagem.	28
Tabela 5 - Resultados dos coeficientes da análise de cor para as folhas seca de Alfavaca variando-se a temperatura entre 35 e 70 °C.	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. HIPÓTESE.....	14
3. OBJETIVOS	14
4. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	14
4.1. <i>OCIMUM GRATISSIMUM</i> L.....	14
4.2. SECAGEM	15
4.3. ANÁLISE DE COR.....	17
4.4. MODELOS MATEMÁTICOS	19
5. JUSTIFICATIVA.....	20
6. MATERIAIS E MÉTODOS	20
6.1. LOCAL DE REALIZAÇÃO	20
6.2. COLETA E PROCESSAMENTO DAS FOLHAS	21
6.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA	22
6.4. SECAGEM	23
6.5. MODELAGEM MATEMÁTICA.....	24
6.6. ANÁLISE DE COR.....	25
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
8. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

Ocimum Gratissimum L. é conhecida popularmente como Alfavaca, é uma planta herbácea, anual ou perene, com caule bem ramificado atingindo até 1,90 m de altura, com folhas opostas, ovais e peciolada tendo cor verde-clara onde na extremidade das ramificações contem flores pequenas e brancas, pertencente à da família Lamiaceae. Além disso, ao redor do mundo ela também recebe o nome de vernaculares (Índia), sendo os mais usados Vriddhutulsi (sânscrito), Ram tulsi (hindi), Nimma tulasi (Canadá), effinrin-nla (parte do sul da Nigéria). Teve origem na Ásia e África (Lorenzi & Matos 2002, Martins & Avarenga 2008). De acordo com (Ueda-Nakamura et al. 2006, Matasyoh et al. 2007, Martins et al. 2008) “suas folhas são usadas na medicina popular contra infecção bacteriana de organismos de alta patogenicidade”.

Segundo Prabhu et al. (2009) a Alfavaca tem sido amplamente utilizada no sistema tradicional de medicina em muitos países. No Brasil, como por exemplo no Nordeste é usado para fins medicinais, condimentares e culinários, assim como em outras regiões. As flores e as folhas desta planta são ricas em óleos essenciais e por esse motivo é também usado na preparação de chás e infusão (RABELO et al., 2003).

Conforme EMBRAPA (2006), em uma pesquisa realizada, ressaltaram o seguinte ponto: que além dos equipamentos é necessária uma unidade de secagem e armazenamento adequada para o tipo de produção.

Diversos autores analisaram que a temperatura de secagem ocasiona variações do teor do óleo essencial e da composição deste óleo presente nas plantas medicinais (Barbosa et al., 2017; Gomes et al., 2017; Souza et al., 2017). Dessa forma:

O processo de secagem consiste na remoção de parte da água inicialmente contida no produto, por vaporização térmica até um nível máximo de teor de água em que não ocorram reações enzimáticas e o desenvolvimento de microrganismos (SOUZA, 2018).

Nesse sentido, observou-se a relevância de levar em questão a seguinte problemática: identificar qual é a temperatura ideal para a secagem da Alfavaca, a partir da modelagem matemática do processo forçado de dessorção das folhas da alfavaca, por meio da análise da secagem de quatro diferentes temperaturas e ajustando esses dados a

modelos semi-empíricos existentes na literatura, no intuito de se obter curvas de secagem que melhor descrevam esse processo, buscando ter uma maior compreensão a respeito dos parâmetros da secagem da alfavaca como: período de secagem e razão de umidade ao se variar a temperatura de secagem e, respectivamente, o aspecto visual da cor de uma forma quantitativa acarretado as folhas.

2. HIPÓTESE

Diante da problemática de estudo tem-se como hipótese que ao se estudar as curvas de razão de umidade versus o período de secagem, e com o auxílio da análise de cor, será possível determinar qual é a melhor temperatura do ar, dentre as pesquisas (35, 45, 55 e 70°C), para a secagem da alfavaca.

3. OBJETIVOS

Obter-se a modelagem matemática da cinética de secagem para as folhas da Alfavaca e determinar qual temperatura (35, 45, 55 e 70°C) proporciona secagem em menor tempo e melhor qualidade do produto.

Quantificar a cor final das folhas depois de secadas utilizando o sistema CIE (Comissão Internacional de Iluminantes);

4. REFERÊNCIAL TEÓRICO

4.1. *OCIMUM GRATISSIMUM* L.

Segundo Viera et al. (2000), “alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.) pertence ao gênero *Ocimum* e à família Lamiaceae. O gênero *Ocimum* contém aproximadamente 30 espécies nativas dos trópicos e subtropicais, com algumas espécies cultivadas em áreas temperadas”.

A *Ocimum gratissimum* var. *gratissimum* é uma planta medicinal pertencente à família Lamiaceae, conhecida popularmente como “Alfavacacravo”, “Alfavacão” ou simplesmente Alfavaca. Essa

planta é nativa da Ásia e África do Sul e encontra-se, amplamente, distribuída em regiões temperadas e tropicais (Souza, 2018).

A *Ocimum gratissimum* ou mais conhecida como Alfavaca é da mesma família do alecrim, a Lamiaceae e chega a medir até 1,9m de altura, suas características são em formato ovadas a ovado-lanceoladas, subacuminado a acuminado em cuneate ápice, e decorrente de base com margem serreada, pubescente e pontilhada de ambos os lados e a espécie pode se reproduzir por meio de estaca ou de sementes, tendo como cuidado o processo de irrigação três vezes por semana (CALDAS, 2011).

Segundo Pereira e Maia (2007), acredita-se que os escravos tiveram um importante papel na disseminação da planta, pois foram os responsáveis por introduzir diferentes espécies em muitas regiões do Brasil, com o objetivo de preservar a tradicional medicina africana. Pois a planta alfavaca chegou ao Brasil por meio dos escravos africanos e se adaptou rapidamente, visto que o país possui um clima semelhante ao africano (PATON, 1992).

A planta conhecida popularmente como alfavaca, é muito utilizada na medicina popular devido às suas propriedades antissépticas, através dos chás, com a função de tratar problemas estomacais, como calmante e como ante depressiva (NAKAMURA et al., 1999; SILVA et al., 2010; MATASYOH et al., 2007).

Para o preparo do chá usa-se de 4 a 5g da folha desidratada para cada xícara de chá. Dessa forma, segundo Marchese e Figueira (2005) “as plantas medicinais, utilizadas como matéria-prima para a indústria farmacêutica e comercialização na forma de chás devem ser armazenadas”. Assim, para essa finalidade o processo de desidratação da folha é o mais indicado para a conservação da qualidade do mesmo (CAVALCANTE NETO, 2017).

4.2. SECAGEM

Como todo processo de secagem, pode ocorrer perdas de propriedades nutritivas do produto, segundo Hertwig (1991) “os processos de secagem afetam sobremaneira o rendimento e a composição química das espécies, especialmente as aromáticas por possuírem substâncias muito voláteis”. No entanto certas vantagens atribuídas ao processo de secagem fazem valer esse procedimento, vantagens essas como:

Aumento na vida útil do produto; o valor alimentício do produto concentra-se devido à perda de água, tem-se uma maior facilidade em manuseio, transporte e comercialização do produto, uma vez que as qualidades do material permanecem inalteradas por longos períodos, além de se tornar mais leve, tem-se redução nas perdas pós-colheita (CELESTINO, 2010).

Além disso, a secagem das plantas medicinais possui os seguintes objetivos:

A secagem das plantas aromáticas e medicinais visam minimizar a perda de princípios ativos e retardar a sua deterioração em decorrência da redução da atividade enzimática, permitindo a conservação das plantas por um período maior para a sua posterior comercialização e uso (VON HERTWIG, 1991).

Dessa forma, pode-se definir que:

A secagem é uma operação no qual consiste na remoção de água ou qualquer outro líquido de um material. Assim, existem vários tipos de secagem, como secagem natural, podendo ser a sombra ou ao sol. Este método de secagem natural é simples e incorre em baixos custos de investimento para o produtor. Este método é vantajoso por envolver a ação germicida dos raios solares e não causar poluição. No entanto, é um processo lento e depende inteiramente das condições climáticas (SILVA, 2008).

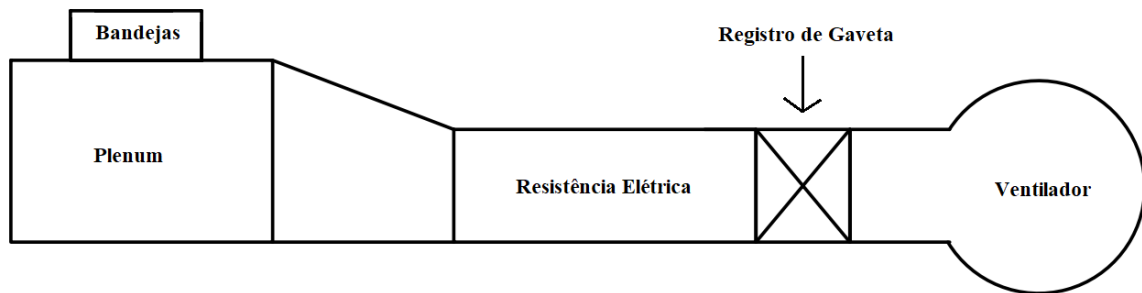
Visando ter uma melhor qualidade do produto secado, em especial plantas medicinais, de acordo com Corrêa et al. (2004) secagem à sombra mista (sol e sombra) e secador solar proporcionaram maior rendimento de óleo essencial em comparação à secagem em estufa a 35°C.

No entanto, visando atingir a demanda do mercado, tem-se que:

Outra forma de se retirar água do material é por meio de um método forçado ou melhor dizendo secagem artificial, estes métodos de secagem artificial são necessários para reduzir rapidamente a concentração de água do material em questão e garantir uma boa preservação da colheita (SILVA, 2008).

Assim, a secagem forçada pode ser feita por diferentes métodos, como: secagem em estufas; mecânico de camada fixa; secagem por radiação infravermelha; secagem em forno de micro-ondas; secagem em dessecadores. Como visto, a secagem de plantas medicinais tem o foco de minimizar as perdas dos princípios ativos e retardar a sua deterioração em decorrência da redução da atividade enzimática no produto, a secagem forçada que melhor se adequa a esse critério é o secador mecânico de camada fixa, onde o ar de secagem é aquecido e passa através da camada do material por um sistema de ventilação forçada como ilustrado na figura 1.

Figura 1: Secador mecânico simples de camada fixa.



Fonte: Autor 2022.

4.3. ANÁLISE DE COR

Segundo Byrne e Hilbert (1997 citado por Ferreira e Spricigo) a palavra cor é comumente relacionada a três sentidos diferentes. A química a emprega como termo genérico ligado a corantes, pigmentos e materiais similares. A física a utiliza para referir-se a determinados fenômenos no campo da ótica. Fisiologistas e psicólogos interessam-se em entender a natureza do processo visual e a usam para denotar sensações da consciência de um observador humano.

Cor pode ser definida como a propriedade dos corpos em absorver e refletir luz, e tem como atributos principais o matiz, a luminosidade e a saturação. É o aspecto gerado pelas percepções do órgão visual em radiação eletromagnética visível de comprimento de onda entre ~380-400 a 740-750 nm, determinado basicamente pela fonte de luz e a superfície refletora. A percepção humana sobre as cores as tornam de caráter altamente subjetivo e pessoal, fazendo com que a

sensação da cor seja única após complexas operações de recebimento registrado pela retina e processamento de estímulos recebidos pelo cérebro (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001)

Dessa forma buscou-se caracterizar a cor de maneira quantitativa para unificar a percepção da humanidade. Assim, o sistema CIE (Comissão Internacional de Iluminantes) caracteriza a percepção de cor em três vertentes, luminosidade (L^*), tonalidade (h^*) e saturação (C) (GONÇALEZ et al., 2001), sistema este desenvolvido em 1913.

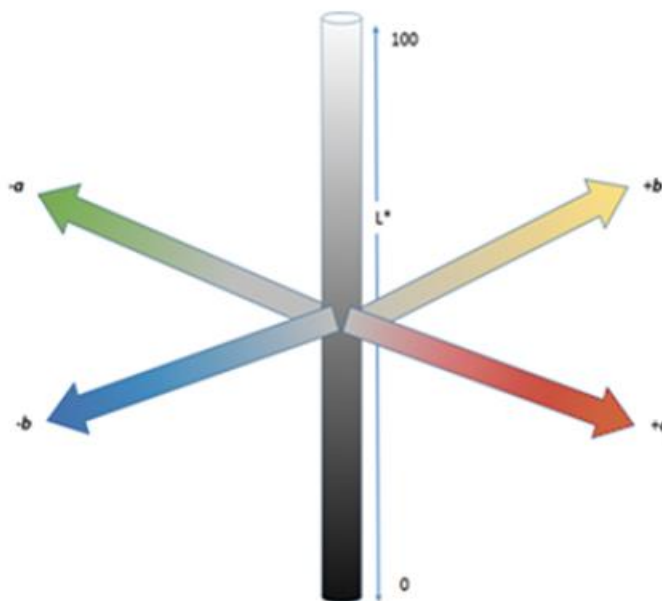
Existem várias vertentes do sistema CIE, no entanto a utilizada neste trabalho é CIE $L^* a^* b^*$, que para, conforme Abbott (1999) e Pathare et al. (2013) “fornece uma diferenciação de cores mais precisa em relação à percepção humana”, onde cada prefixo ($L^* a^* b^*$) representa uma vertente no espaço CIE, como mostra na figura (2), em que:

L^* - Quanto mais o valor se aproxima de 0 mais preto e quanto mais se aproxima de 100 mais branco;

a^* - Quanto mais negativo mais verde e quanto mais positivo mais vermelho;

b^* - Quanto mais negativo mais azul e quanto mais positivo mais amarelo.

Figura 2: Espaço de cor CIE $L^* a^* b^*$.



Fonte: Ferreira e Spricigo (2017).

4.4. MODELOS MATEMÁTICOS

Segundo Junior e Correa (1999) os sistemas de secagem, suas dimensões, otimização e determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser estudados através de uma simulação matemática. Essas simulações representam devidamente a perda de umidade no período de secagem, além disso, simulam também o avanço de outros parâmetros por outros modelos, como: mecânicos ou teóricos. Simulando assim temperaturas, taxas de umidades locais, pressões parciais ou totais. (BOERI, 2012).

Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (CAMICIA, RAFAELA GREICI DA MOTTA, et al, 2015).

Dessa forma, na literatura existem vários modelos empíricos de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos de secagem apresentam uma relação direta entre o teor de água e o tempo de secagem; omitem os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não têm significado físico; conseqüentemente, não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante o fenômeno, embora descrevam as curvas de secagem para determinadas condições experimentais (MARTINAZZO, ANA P. et al, 2007);

Ainda, tem-se os modelos semi-teóricos, que concorrem para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de uso. Entre eles os modelos de Henderson, Dois Termos e Pabis, de Lewis, de Page e de Page Modificado, têm sido amplamente utilizados (MARTINAZZO, ANA P. et al, 2007).

Atualmente, pesquisas relacionadas ao estudo da cinética de secagem em camada delgada, são realizadas com diversos produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos, plantas medicinais, aromáticas e condimentares, com importância econômica. Observa-se, conforme o produto e as condições do processo de secagem, que diferentes modelos se ajustam a cada situação específica.

Segundo Sousa et al. (2011), “o modelo que melhor descreveu a cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) para as temperaturas de 30; 40; 50; 60 e 70°C, para descrever as curvas de secagem foi o de Midilli”.

Como resultado, verificou-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados empíricos do processo de sorção do abacaxi foi o Modelo de GAB Modificado, com coeficiente de determinação de 99,2%, enquanto que para a casca do abacaxi foi o Modelo de Halsey Modificado, com coeficiente de determinação de 98,6% (TEIXEIRA et al., 2012).

5. JUSTIFICATIVA

De acordo com Luz et al., (2009) “É necessário conhecer as características da planta e as propriedades de suas moléculas de interesse, pois a redução dos compostos voláteis durante a secagem depende da volatilidade e da estrutura química dos constituintes da planta, e através disso, determinar se a planta deve ser utilizada fresca ou seca; e, se a opção for pela secagem, que tipo e condições de secagem são mais apropriadas para a espécie”.

O tema pesquisado é de suma importância, visto que há uma escassez de estudos voltados para a influência da temperatura na secagem das folhas da Alfavaca.

Além disso, a crescente demanda para o melhor processamento destes produtos torna essencial o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem e armazenamento, para que a biomassa produzida pela planta e suas propriedades químicas possam ser aproveitadas de forma integral e efetiva (MARTINS et al., 2015; TABALDI et al., 2012).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. LOCAL DE REALIZAÇÃO

O trabalho foi desenvolvido no galpão de secagem de produtos agrícolas localizado anexo ao bloco três no departamento de Engenharia Agrícola (DEA) na Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras - MG (21° 14' 45" S; 44°

59' 59" O, a 920 metros de altitude), em colaboração com o Laboratório de processamento de produtos agrícola, DEA, UFLA, Lavras-MG.

6.2. COLETA E PROCESSAMENTO DAS FOLHAS

Para a realização do experimento foram utilizadas folhas das plantas de Alfavaca, o material botânico foi coletado no mês de Janeiro de 2022 entre as 8 e 9 horas da manhã no horto da Universidade Federal de Lavras (UFLA), figura (3), no município de Lavras, na região Sudeste de Minas Gerais, Para uma maior conservação, as folhas foram colhidas com seus caules e encaminhadas ao laboratório processamento de produtos agrícola, DEA, UFLA, de para utilização imediata.

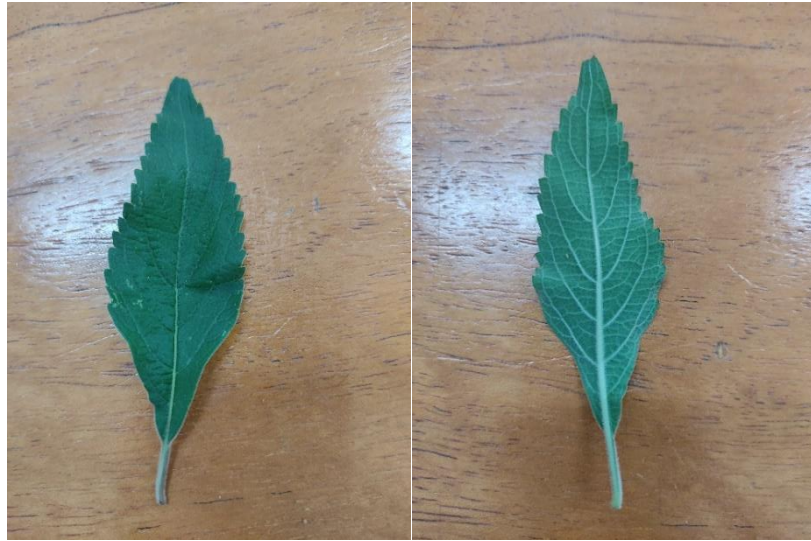
Figura 3: Planta Alfavaca Horto-UFLA.



Fonte: Autor 2022.

Antecedendo-se cada ensaio de secagem, realizou-se o processamento das folhas, fazendo-se o desfolhamento do material vegetal, retirando qualquer material estranho presente, partes danificadas e doentes, como ilustra na figura (4). Em seguida todo material foi homogeneizado.

Figura 4: Folha fresca da Alfavaca do DEA - UFLA.



Fonte: Autor 2022.

6.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA

Segundo a metodologia descrita pela Ase Standards (2000), para forrageiras e similares (plantas ou folhas) a determinação do teor de água foi realizada antes da secagem.

Dessa forma, foi realizado imediatamente após a coleta e o processamento, a determinação do teor de água das folhas da alfavaca no Laboratório de processamento de produtos agrícolas – DEA/UFLA. A determinação do teor de água em base seca (d.b.) foi segundo o Instituto Adolfo Lutz (1985), para tal, realizou-se um ensaio de secagem em duplicata para cada temperatura de secagem, com cerca de 25g de amostra fresca, mantendo o material em um recipiente devidamente identificados na estufa à $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por um período de 24 horas. Os valores do teor inicial de água em base seca de cada amostra foram obtidos por meio da Equação 1.

$$TA(d.b.) = \frac{m_i - m_f}{m_f} \quad (1)$$

Em que:

TA (d.b.) - teor inicial de água em base seca;

mi- massa inicial da planta medicinal (g);

mf- massa final da planta medicinal (g).

6.4. SECAGEM

Os ensaios de secagem foram realizados no galpão de secagem de produtos agrícolas localizado anexo ao bloco três no departamento de Engenharia Agrícola (DEA) na Universidade Federal de Lavras, utilizando-se um secador de camada fixa e fluxo de ar ascendente, com três bandejas na câmara de secagem. Este secador possui o sistema de aquecimento do ar por resistências elétricas e movimentação do ar feita por um mini exaustor centrifugo (190W). Onde o controle da temperatura é feito por um sistema automático e a velocidade do ar de secagem é regulada manualmente por uma válvula de gaveta. A aferição da velocidade do ar de secagem foi feita por meio de um Termo-Higro-Anemômetro Luxímetro Digital, modelo THAL-300 - INSTRUTHERM, com sensor de pás rotativas com faixa de leitura de 0,1 a 30,0ms⁻¹ e sensibilidade de 0,1ms⁻¹.

Antecedendo-se cada ensaio de secagem, realizou-se a regulagem da temperatura de secagem através do painel de temperatura do secador com sensibilidade de 0,1°C e também a pesagem em balança analítica de precisão. Cada repetição continha cerca de 30g de folhas de alfavaca.

Na sequência, as amostras foram submetidas aos processos de secagem contínua, com temperaturas do ar de secagem de 35, 45, 55 e 70°C e velocidade do ar de secagem de 0,3ms⁻¹.

Durante a secagem foram realizadas pesagens periódicas, em intervalos de 5 minutos nos 30 minutos iniciais e após esse tempo com intervalos de 10 minutos, para o acompanhamento a redução do teor de água das amostras. No decorrer do processo, dados das condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram registrados por meio de três dataloggers modelo itlog 80 - INSTRUTEMP.

O processo de secagem foi finalizado quando o produto atingiu massa final correspondendo a uma massa constante em no mínimo 3 repetições.

Após o término da secagem, as folhas secas foram acondicionadas em embalagens de polietileno identificados e armazenados à temperatura constante em uma BOD até a análise de cor.

6.5. MODELAGEM MATEMÁTICA

Por meio do programa computacional STATISTICA 5, fez-se o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais das curvas de secagem, no software foi utilizada a análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton. Foram estimados os valores dos parâmetros dos modelos, em função da variável independente tempo de secagem (T) e Razão de umidade (RU). Assim, através do programa STATISTICA 5, foi possível obter os parâmetros a, k, b, k0, c, k1, n, d, R e R² dos modelos matemáticos ilustrados na tabela [1].

Tabela 1 - Modelos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de produtos.

Modelos	Equação
Newton	$RU = \exp(-k t)$ (2)
Page	$RU = \exp(-k t^n)$ (3)
Midilli	$RU = a \exp(-k t^n) + b t$ (4)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-k t) + c$ (5)
Henderson e Pabis Mod.	$RU = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$ (6)
Dois Termos	$RU = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$ (7)
Thompson	$RU = \exp((-a(a^2 + 4 b t)^{0.5}) / 2 b)$ (8)
Verma	$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k t)$ (9)
Wang & Sing	$RU = 1 + a t + b t^2$ (10)
Valcam	$RU = a + b t + c t^{1.5} + d t^2$ (11)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k a t)$ (12)
Aproximação da Difusão	$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k b t)$ (13)

Em que,

RU - razão de umidade do produto, adimensional;

t - tempo de secagem, h;

k, k0, k1 - coeficientes de secagem, h⁻¹;

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

Através do erro médio relativo (P) equação (14), o erro médio estimado (SE) equação (15), o teste do qui-quadrado (χ^2) equação (16) e a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), foram comparados os dados experimentais com os valores estimados por cada modelo matemático nessa pesquisa.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \bar{Y}|}{Y} \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{GLR}}, \quad (15)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \bar{Y})^2}{GLR} \quad (16)$$

Onde,

n: número de observações experimentais;

Y: valor observado experimentalmente;

\bar{Y} : valor calculado pelo modelo;

GLR: graus de liberdade do modelo.

6.6. ANÁLISE DE COR

Para a análise de cor das amostras de folhas secas de alfavaca nas temperaturas de 35, 45, 55 e 70°C, foram feitos através do método de CIE L^*a^*b , utilizando o aparelho colorímetro modelo CR-400 – MINOLTA, para aferição dos dados a^* , b^* e L^* .

O processo de análise de cor foi finalizado quando obteve um número suficiente de dados de cada temperatura, quantidade está de seis repetições.

Para a análise de cor, foram realizadas análises de variâncias, de desvio padrão e testes de comparações múltiplas de médias pelo teste de scott-knott a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR®5.6.

Para um melhor discernimento da cor foram calculados o índice de Cromaticidade (C) e tonalidade (h*) a partir dos dados obtidos para as variáveis a*, b* e L*, para tal foi utilizado a fórmula (17) e (18) de McGuire (1992), para respectivamente C e h*.

$$h_{ab}^* = \text{actan} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (17)$$

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (18)$$

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do método de estufa, obteve-se a tabela 2, que nos mostra os teores de água para as temperaturas de 35, 45, 55 e 70°C obtidos antes da secagem das folhas de Alfavaca.

Tabela 2 - Teores de Água em base seca (d.b.) para as temperaturas de 35, 45, 55 e 70°C das folhas de Alfavaca.

Temperaturas (°C)	Repetição	Folhas Frescas (g)	Após 24h (g)	Ma (g)	TA (d.b.)
35	R1	25,02	6,14	18,88	3,48
	R2	25,05	6,00	19,02	3,58
45	R1	25,02	6,10	18,92	3,48
	R2	25,01	6,13	18,88	3,59
55	R1	25,05	6,24	18,82	3,52
	R2	25,00	6,35	18,64	3,58
70	R1	25,02	6,14	18,88	3,48
	R2	25,05	6,00	19,02	3,58

Para a análise de representatividade da cinética de secagem dos modelos matemáticos demonstrados na tabela 2, os dados experimentais foram comparados com os valores estimados por cada modelo, como demonstrado na tabela 3, ainda se verificando a porcentagem de erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE) e a magnitude do coeficiente de determinação (R²) (MOREIRA, KÁTIA SOARES, et al. 2020).

Tabela 3 - Parâmetros obtidos dos modelos ajustados aos dados de secagem das folhas de Alfavaca para as temperaturas do ar de secagem.

	a	k	b	k0	c	K1	n	d	R ²	P (%)
35°C										
Newton		0,1053							98,86	40,17
Page		0,0889					1,0708		99,51	33,40
Midilli	1,0123	0,1275	-0,0082				0,7937		99,94	6,85
Henderson e Pabis	1,1305	0,0737			-0,1689				99,77	7,00
Henderson e Pabis Mod.	0,6510	0,1058	0,2081	0,1058	0,1452	0,1058			98,86	39,83
Dois Termos	0,8345		0,1699	0,1058		0,1058			98,86	39,83
Thompson	0,1067		0,0982						82,29	121,82
Verma	0,1000	0,1053							98,69	40,17
Wang & Sing	-0,0788		0,0016						98,69	21,23
Valcam	0,9940		-0,1353		0,0303			-0,0023	99,93	8,26
Exponencial de Dois Termos	1,0374	0,1053							98,86	40,29
Aproximação da Difusão	-1,2888	0,0515	1,3712						99,49	19,50
45°C										
Newton		0,3524							99,32	5,35
Page		0,4027					0,8946		99,74	9,42
Midilli	1,0196	0,4308	-0,0054				0,7895		99,95	2,25
Henderson e Pabis	0,9530	0,3333			-0,0009				99,62	5,70
Henderson e Pabis Mod.	0,3175	0,3343	0,3175	0,3343	0,3175	0,3343			99,62	5,91
Dois Termos	0,4763		0,4763	0,3343		0,3343			99,62	5,91
Thompson	0,1476		0,0535						86,12	55,79
Verma	0,1000	0,3524							99,32	5,35
Wang & Sing	-0,2410		0,0148						94,63	27,68
Valcam	0,9818		-0,4962		0,2100			-0,0264	99,85	4,30
Exponencial de Dois Termos	0,1130	2,7634							99,84	7,70
Aproximação da Difusão	-0,3096	0,3524	1,0000						99,32	5,35
55°C										
Newton		0,7867							98,29	7,71
Page		0,7191					1,2673		99,90	0,45
Midilli	1,0417	0,7693	-0,0024				1,1666		99,96	0,39
Henderson e Pabis	1,1448	0,7817			-0,0498				99,88	1,95
Henderson e Pabis Mod.	0,3734	0,8908	0,3734	0,8908	0,3734	0,8908			99,65	4,26
Dois Termos	0,5601		0,5601	0,8908		0,8908			99,65	4,26
Thompson	0,0190		13,3772						76,98	40,75
Verma	0,1000	0,7867							98,29	7,71
Wang & Sing	-0,5787		0,0855						99,48	4,80
Valcam	1,0966		-1,0833		0,5309			-0,0616	99,92	1,39
Exponencial de Dois Termos	1,8410	1,1413							99,89	0,96
Aproximação da Difusão	0,5006	0,7867	1,0000						98,29	7,71
70°C										
Newton		1,4944							91,35	6,28
Page		1,9514					1,5840		96,30	1,68
Midilli	0,9067	1,7233	-0,0412				1,9200		97,90	1,15
Henderson e Pabis	2,5786	0,3850			-1,5920				97,30	3,15

Henderson e Pabis Mod.	0,3530	1,6009	0,3530	1,6009	0,3530	1,6009	91,97	5,72
Dois Termos	0,5295		0,5295	1,6009		1,6009	91,97	5,72
Thompson	0,7750		0,8816				51,92	17,86
Verma	0,1000	1,4944					91,35	6,28
Wang & Sing	-1,0322		0,1900				97,35	2,63
Valcam	0,9444		0,1064		-2,2232		1,3072	97,83
Exponencial de Dois Termos	1,9234	2,3403					95,25	3,54
Aproximação da Difusão	0,8585	1,4944	1,0000				91,35	6,28

Nesse sentido, pode-se perceber através dos dados obtidos que o modelo que melhor representa os dados da cinética de secagem é o de Midilli com o R^2 entre as faixas de temperatura analisadas de 99,95% e um menor P de 0,39%.

Desta forma, na Tabela 4 são apresentados os parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P), erros médios estimados (SE) e teste de qui-quadrado (X^2), ajustados aos modelos de Midilli.

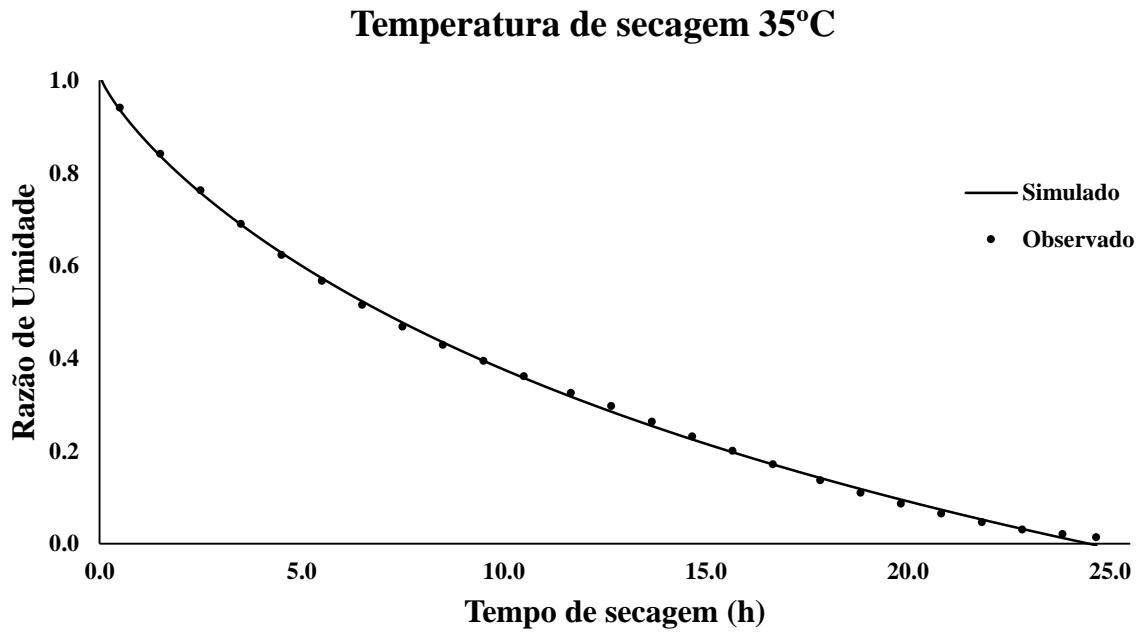
Tabela 4 - Parâmetros obtidos do modelo de Midilli, ajustado aos dados experimentais de secagem das folhas de Alfavaca, para as diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temperatura (°C)	a	k	b	n	R^2	P (%)
Midilli						
35	1,0123	0,1275	-0,0082	0,7937	99,9405	6,8522
45	1,0196	0,4308	-0,0054	0,7895	99,9459	2,2572
55	1,0417	0,7693	-0,0024	1,1666	99,9598	0,3953
70	0,9067	1,7233	-0,0412	1,9200	97,8960	1,1528

De acordo com os autores Goneli et al. (2014) e Mghazli et al. (2017) “com o aumento da temperatura do ar de secagem em seus experimentos, ambos concluíram que ocorreu um incremento na constante “k”, ao se elevar a temperatura do ar de secagem, conforme observado na tabela 4. Assim, nota-se que o mesmo ocorreu para a secagem da Alfavaca. Isso se dá, pois, “o coeficiente “k” está relacionado com a difusividade efetiva no processo de secagem” (MADAMBA, *et al.* 1996).

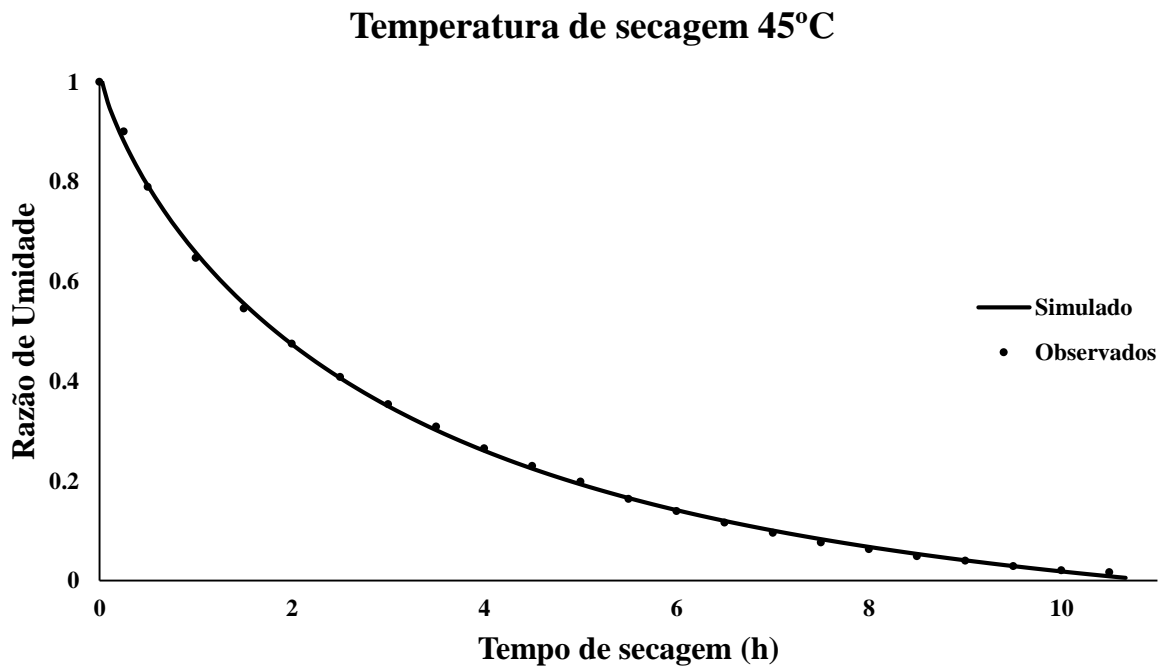
Em função da tabela 4 apresentada, onde observa-se os resultados obtidos para os modelos de Midilli, para cada temperatura, foi possível obter uma curva característica que melhor se ajustou a uma curva padrão de secagem, das respectivas temperaturas da secagem das folhas da Alfavaca como visto nos gráficos 1, 2, 3 e 4.

Gráfico 1- Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 35°C.



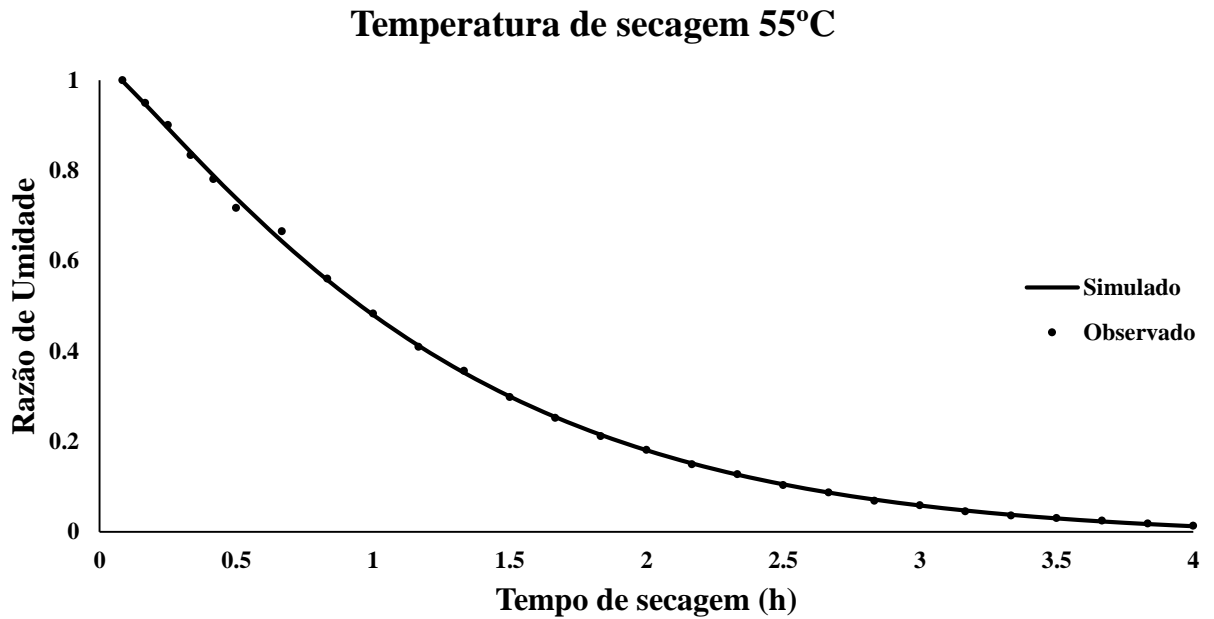
Fonte: Autor 2022.

Gráfico 2- Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 45°C.



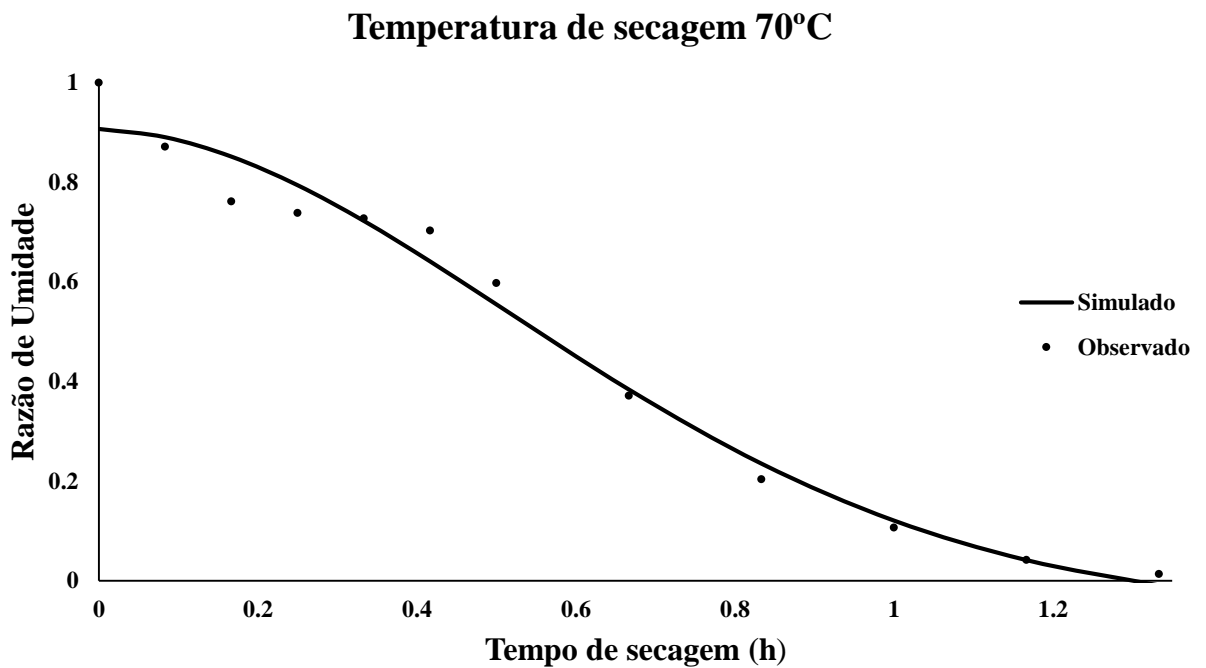
Fonte: Autor 2022.

Gráfico 3 - Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 55°C.



Fonte: Autor 2022.

Gráfico 4 -Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli 70°C.



Fonte: Autor 2022.

O gráfico 4, não se ajustou bem a uma forma padrão da curva de secagem, erro proveniente de três pontos na curva que demonstraram uma inconformidade de secagem, ocasionado pelo fato de nesse período o secador não ter mantido a temperatura de 70°C.

Na atualidade para atender a demanda de mercado, também há a necessidade de se estudar o aspecto qualitativo das folhas, dessa forma, a tabela 5 ilustra a alteração de cor das folhas seca da alfavaca mediante a variação da temperatura de secagem.

Tabela 5 - Resultados dos coeficientes da análise de cor para as folhas seca de Alfavaca variando-se a temperatura entre 35 e 70 °C.

	Temperatura de Secagem (°C)			
	35	45	55	70
a*	-1.47 ^a	-4.15 ^b	-0.25 ^c	1.39 ^d
b*	10.22 ^a	11.86 ^a	8.01 ^b	4.06 ^c
L*	36.51 ^a	38.85 ^b	31.59 ^c	26.46 ^c
h*	-1.63 ^a	-1.23 ^a	-1.04 ^a	-1.22 ^b
C	10.38 ^a	12.57 ^b	8.09 ^c	4.32 ^d

*Letras diferem-se entre si na horizontal pelo método de Scott-Knott à 5% de significância.

O Método CIE L*a*b* desenvolvido em 1976 fornece uma diferenciação de cores mais precisa em relação à percepção humana (ABBOTT, 1999; PATHARE; Opara; Al-Said, 2013), definindo em três eixos perpendiculares – L* eixo principal (preto = 0 ao branco = 100) e o eixo a* e b* distintos respectivamente como pigmentos amarelo e azul, vermelho e verde, onde suas escalas variam de 0 a 60 se unidade de medida, podendo se caracterizar pelas coordenadas + a*, -a*, +b* e -b* (Ferreira, M. D., & SPRICIGO, P. C. 2017).

Desta forma para os valores obtidos de a* observou-se significância entre as temperaturas, tendo diferentes pigmentos de verde entre 35 e 55°C e se diferenciando ainda mais a de 70°C com pigmentos mais voltadas para o vermelho. No entanto, variável b* as temperaturas de 35 e 45°C não tiveram um nível de significância entre si, demonstrando uma maior pigmentação de amarelo que as demais temperaturas. Para os valores de L* pode se observar que houve um maior escurecimento nas amostras de 55

e 70°C e no mesmo não havendo diferença significativa entre eles, nos mostrando que a partir de 55°C o escurecimento decorrente da secagem é o mesmo para as temperaturas estudadas.

8. CONCLUSÃO

O modelo matemático que melhor descreve a cinética de secagem da folha da Alfavaca foi o modelo de Midilli. Assim, obtendo-se uma curva característica para diferentes temperaturas na secagem da Alfavaca.

Para uma secagem, com o objetivo de obter um produto com cores mais vivas, dando um aspecto de melhor qualidade, recomenda-se a partir desse estudo uma temperatura entre 35 e 45°C, no entanto, se o objetivo for um menor tempo de secagem, recomenda-se optar pela temperatura de 70°C.

Por fim, como proposta de estudo, para uma melhor escolha da temperatura é interessante realizar o estudo do custo do processo para cada secagem, se torando assim o fator de custo outra variável importante na decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J. A. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, v. 15, p. 207–225, 1999.

American Society of Agricultural Engineers, ASAE S358.2 DEC99; Standards Engineering Practices Data, Moisture Measurement – Forages, 2000.

BARBOSA, F. D. F., BARBOSA, L. C., MELO, E. C., BOTELHO, F. M., & SANTOS, R. H. (2006). Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Lippia alba* (Mill) NE Brown. *Química Nova*, 29(6), 1221-1225.

BYRNE, A.; D. R. HILBERT. Colors and reflectances. In: Readings on color. Volume 1: *The philosophy of color*. MIT Press, 1997.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395p.

CAVALCANTE NETO, A. A. (2017). Desidratação de cuxá em leito de espuma: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto em pó.

CELESTINO, SONIA MARIA COSTA. Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina, Embrapa, 2010, 51 p.

COSTA, L.C.B.; CORRÊA, R.M.; CARDOSO, J.C.W.; PINTO, J.E.B.P.; BERTOLUCCI, S.K.V.; FERRI, P.H. Secagem e fragmentação da matéria seca no rendimento e composição do óleo essencial de capim-limão. *Horticultura Brasileira*, v.23, n.4, p.956-959, out-dez 2005.

CRUZ, A. C. (2020). Estimativa da densidade de plantação de cana de açúcar utilizando o espaço de cor cie lab em imagens de alta resolução espacial providas de Vants.

DI DOMENICO, C. N. B., & CONRAD, T. M. (2015). Simulação de processos de secagem através dos modelos matemáticos exponencial e de page. *Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI*, 11(20), 134-146.

FERREIRA, M. D., & SPRICIGO, P. C. (2017). Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. *Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)*.

GONELI, A. L. D. et al. (2014) Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa agropecuária tropical*, 44(1), 56-64.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. 2008. p. 98-99.

LUZ JMQ; EHLERT PAD; INNECCO R. 2009. Horário de colheita e tempo de secagem da alfavaca-cravo. *Horticultura Brasileira* 27: 539-542.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. (1996) The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of food engineering*, 29(1), 75-97.

MGHAZLI, S. et al. (2017) Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. *Renewable Energy*, 108, 303-310.

MATIAS, E. F., KATIUCIA SANTOS, K., ALMEIDA, T. S., COSTA, J. G., & COUTINHO, H. D. (2010). Atividade antibacteriana in vitro de *Croton campestris* A., *Ocimum gratissimum* L. e *Cordia verbenacea* DC. *Revista Brasileira de Biociências*, 8(3).

MARTINAZZO, A. P., CORRÊA, P. C., RESENDE, O., & MELO, E. D. C. (2007). Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11, 301-306.

MCGUIRE, R. G.; Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, v. 27, n. 12), p. 1254-1255, 1992.

MOREIRA, K. S., DE ANDRADE, E. T., DE ALMEIDA RIOS, P., DE OLIVEIRA, F. D. S., & SÁLVIO, L. G. A. (2020). Cinética de Secagem e Equilíbrio Higroscópico de Folhas de Alecrim-de-tabuleiro. *Research, Society and Development*, 9(8).

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Technol.* v. 6, p. 36–60, 2013.

PARK, K. J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *Journal of Food Engineering*, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.

PRABHU, K. S., LOBO, R., SHIRWAIKAR, A. A., & SHIRWAIKAR, A. (2009). *Ocimum gratissimum*: A review of its chemical, pharmacological and ethnomedicinal properties. *The open Complementary medicine journal*, 1(1).

RABELO M, SOUZA EP, SOARES P.M.G., et al. Antinociceptive properties of the essential oil of *Ocimum gratissimum* L. (Labiatae) in mice. *Braz J Med Biol Res* 2003; 36: 521-4.

RESENDE, O.; ARCANJO, RV; SIQUEIRA, VC; RODRIGUES, S.; KESTER, AN; LIMA, PP de Influência do tipo de pavimento na secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e chão batido. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.9, p.171-178, 2007.

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 6, n. 1, p. 69-76, 2003.

SILVA, JS Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda fácil, 2008.

SOARES, I. A. L. (2021). Obtenção de extratos de folhas de mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.): estudo experimental e otimização do processo.

SOUZA, C. M. A. D., QUEIROZ, D. M. D., & LACERDA FILHO, A. F. D. (2002). Simulação do processo de secagem de sementes de milho em camada fixa. *Scientia Agricola*, 59(4), 653-660.

SOUZA, R. A. D. (2018). Efeito da aplicação de diferentes relações de intermitência na secagem de folhas de *Ocimum gratissimum* L.

VIEIRA, R. F.; SIMON, J. E. Chemical characterization of basil (*Ocimum* spp.) found in the markets and used in traditional medicine in Brazil. *Economic Botany*, v. 54, n. 2, p. 207-216, 2000.