



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

GERMANO RODRIGUES FURTADO DOS SANTOS

**OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DE ALFAVACA (*Ocimum gratissimum* L.) VISANDO
REDUÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM E O MÁXIMO RENDIMENTO DE ÓLEO
ESSENCIAL**

ALEGRE – ES

2021

GERMANO RODRIGUES FURTADO DOS SANTOS

**OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DE ALFAVACA (*Ocimum gratissimum* L.) VISANDO
REDUÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM E O MÁXIMO RENDIMENTO DE ÓLEO
ESSENCIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Luís César Silva
Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva

ALEGRE – ES
OUTUBRO – 2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

Santos, Germano Rodrigues Furtado dos, 1991-
S237o OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DE ALFAVACA (*Ocimum gratissimum* L.) VISANDO REDUÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM E O MÁXIMO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL / Germano Rodrigues Furtado dos Santos. - 2021. 63 f.

Orientador: Luís César da Silva.

Coorientador: Sérgio Henriques Saraiva.

Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Secagem. 2. Secagem intermitente. 3. Alfavaca. 4. *Ocimum gratissimum*. 5. Óleo essencial. 6. Plantas medicinais. I. Silva, Luís César da. II. Saraiva, Sérgio Henriques. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

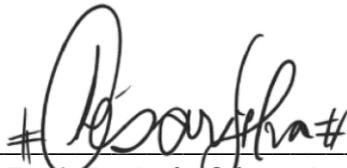
CDU: 664

GERMANO RODRIGUES FURTADO DOS SANTOS

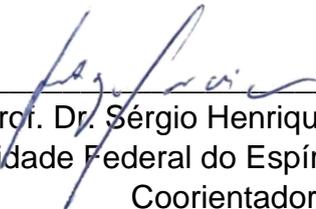
**“ OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DE ALFAVACA (*Ocimum gratissimum* L.)
VISANDO REDUÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM E O MÁXIMO RENDIMENTO DE
ÓLEO ESSENCIAL”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

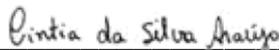
Aprovada em 26 de outubro de 2021.



Prof. Dr. Luís César da Silva
Universidade Federal de Viçosa - UFV
Orientador



Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Coorientador



Pós Doutoranda Drª. Cintia da Silva Araújo
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinadora Interna



Pesquisadora Drª. Maira Christina Marques Fonseca
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG
Examinadora Externa

AGRADECIMENTOS

A Deus, o Pai, Criador de tudo, por ter me dado forças e permitido chegar até aqui.

Aos familiares. Minha querida avó Pedrina (*in memoriam*) que já descansa nos braços do Pai. Obrigado por ser meu porto-seguro durante toda a vida. Mãe, pelo apoio e preocupação. Tios, Beraldo e Júlio pelo incentivo e me receberem, sempre que precisei, com muito carinho em sua casa.

Aos meus amigos. Maiara e Ricardo, por escutar, sempre incentivar e ajudar sempre que possível. Aline, minha parceira de atividades físicas, por estar comigo em diversos momentos, sempre com palavras de ânimo e positividade. Vini, pelo incentivo e força. Aprendo muito com vocês.

Aos queridos amigos de curso. Ionara e Anamares, desde o início nesta trajetória. Carol e Bárbara, por todo o incentivo, conversas e muita ajuda. Vocês foram muito importantes neste ciclo.

Ao meu Orientador, Prof. Luís, pela sabedoria, compreensão, humildade e solicitude. Toda a minha admiração e gratidão!

Ao meu Coorientador, Prof. Sérgio, por me atender sempre que precisei, por tanto conhecimento compartilhado, pela paciência, e pela humanidade. Sou seu fã!

À minha doce companheira de experimento na UFV, Carol Albuquerque. Obrigado por me receber tão bem, sem você teria sido muito mais difícil.

À querida Maira da Epamig, pessoa brilhante, sempre muito solícita.

À querida Soninha do laboratório de genética, fundamental na segunda fase dos meus experimentos. Você ilumina todos a sua volta.

Aos técnicos de laboratório. Letícia, pelo apoio e caronas entre Jerônimo e Alegre. Ao Maurício, pelo suporte no laboratório.

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA), pela oportunidade de desenvolver o estudo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

A todos que de perto ou de longe, direta ou indiretamente, fizeram parte desta etapa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	6
2.1 Geral	6
2.2 Específicos	6
3. REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Plantas Medicinais e Fitoterapia no Brasil	7
3.3 Óleos essenciais.....	12
3.4 Secagem de Plantas medicinais	15
3.5 Secagem Intermitente.....	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 Matéria-prima.....	18
4.1.1 Colheita do material vegetal.....	18
4.1.2 Determinação do teor de água.....	18
4.2. Delineamento experimental e análises estatísticas dos dados.....	19
4.2.2. Ajustes dos modelos matemáticos	22
4.2.4 Rendimento do óleo essencial	24
4.3 Desejabilidade	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1 Teor inicial de água.....	26
5.2 Cinética de secagem.....	26
5.3 Tempo de secagem	34
1.1 Rendimento do óleo essencial	38
5.5 Otimização das variáveis temperatura do ar de secagem, tempo de descanso e tempo de inserção pela função desejabilidade.....	43
5. CONCLUSÃO.....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

RESUMO

SANTOS, Germano Rodrigues Furtado. **Rendimento do óleo essencial de folhas de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L) secas sob diferentes temperaturas e períodos de intermitência.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof. Dr. Luís César da Silva. Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva.

A alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.) possui ampla utilização na medicina popular devido aos seus efeitos anti-sépticos, e no tratamento de doenças digestivas e respiratórias. Devido ao potencial terapêutico, foi incluída na Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS). Plantas medicinais utilizadas como matéria-prima para a indústria farmacêutica, ou comercialização sob a forma de chás, devem ser armazenadas até o processamento e uso. Nesse contexto, a secagem é a alternativa adequada para a preservação da qualidade pós-colheita desses produtos. No entanto, este processo pode levar a degradação de componentes termos-sensíveis, como o óleo essencial, influenciando na qualidade do produto. Uma alternativa para minimizar esse risco é o uso de secagem intermitente, em que o período de secagem é interrompido possibilitando aumento da difusividade efetiva e impactando positivamente o processo. Sendo assim, o presente estudo objetivou otimizar o processo de secagem de modo a minimizar o tempo de secagem e maximizar o rendimento de óleo de *Ocimum gratissimum* L. O Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foi utilizado para determinação das condições dos tratamentos, estabelecendo os níveis das variáveis tempo de secagem, tempo de intermitência e tempo para inserção de intermitência. O modelo matemático que melhor descreveu a cinética de secagem foi o de Midilli. A relação entre os valores do coeficiente de difusividade efetiva e a temperatura do ar de secagem foi descrita pela equação de Arrhenius. Após, foram obtidos os valores de rendimento de óleo essencial para cada tratamento. Então, foi empregada a função desejabilidade para definir as condições ótimas do processo a fim de minimizar o tempo do processo e maximizar o rendimento do óleo essencial. Constatou-se que o ponto ótimo ocorre na temperatura do ar de secagem igual a 58,4 °C, tempo de descanso igual a 16,11 min e tempode inserção igual a 14,9 min. Nessa condição, o valor estimado para o tempo de secagem é de 88,86 min e para o rendimento é de 0,48 %.

Palavras-chave: secagem, secagem intermitente, alfavaca, *ocimum gratissimum*, óleo essencial, plantas medicinais.

ABSTRACT

Ocimum gratissimum, known as Alfavaca, is widely used in folk medicine due to its antiseptic effects, and in the treatment of digestive and respiratory diseases. Due to its therapeutic potential, it was included in the National List of Medicinal Plants of Interest in the Brazilian health system. Medicinal plants used as raw material for the pharmaceutical industry, or commercialization in the form of teas, must be stored until processing and use. In this context, drying is a suitable alternative for preserving the post-harvest quality of these products. However, this process has the inconvenience of the possibility of destruction or volatilization of thermo-sensitive components, such as essential oil, influencing the quality of the product. An alternative to minimize this risk is the use of intermittent drying, in which the drying period is interrupted, enabling an increase in effective diffusivity, and positively impacting the process. Therefore, this work aimed to optimize the drying process to minimize the drying time and maximize the yield of *Ocimum gratissimum* L. oil. A central rotational composite design was used to determine the conditions of the treatments, establishing the levels of the variables drying time, intermittence time, and time for intermittence insertion. The mathematical model that best described the drying kinetics was the Midilli model, with the best fit. The relationship between the effective diffusivity coefficient values and the drying air temperature was described by the Arrhenius equation. Afterward, the essential oil yield values for each treatment were obtained. Then, the desirability function was used to define the optimal process conditions to minimize the processing time and maximize the essential oil yield. It was found that the optimum point occurs at drying air temperature at 58.4 °C, rest time equal to 16.11 min, and insertion time equal to 14.92 min. In this condition, the estimated value for drying time is 88.86 min and for yield is 0.4833.

Palavras-chave: secagem, secagem intermitente, alfavaca, *ocimum gratissimum*, óleo essencial, plantas medicinais.

1. INTRODUÇÃO

Ocimum gratissimum L. (Labiatae), conhecida popularmente como “alfavaca”, é uma erva aromática, amplamente distribuída em regiões tropicais como a América do Sul, sul e sudeste Asiático e África. No Brasil é encontrada em abundância na região nordeste e nas demais regiões do País (KPOVIESSI et al., 2014).

A planta trata-se de um arbusto com até um metro de altura e com folhas denteadas, miúdas, opostas, inteiras, pecioladas e de cor verde. As flores são pequenas, roxo-pálidas, dispostas em numerosas inflorescências eretas, geralmente em grupo de três e se aglomeram no ápice (CRUZ; BEZERRA, 2017).

A ação terapêutica da alfavaca é atribuída à composição de seu óleo essencial. Os óleos essenciais são substâncias extraídas de plantas com propriedades medicinais, condimentares e aromáticas, fatos que os fazem matérias-primas de interesse das indústrias de medicamentos, alimentos, perfumaria, cosméticas e higiene (CRUZ; BEZERRA, 2017).

De acordo com Pereira e Maia (2014), podem ser encontrados diversos compostos ativos no óleo essencial da alfavaca, sendo os principais: eugenol (composto majoritário, podendo chegar a 98% do óleo), 1,8-cineol, timol e trans-cariofileno.

O óleo essencial de *O. gratissimum* exibe atividades biológicas, conforme seus constituintes, incluindo propriedades antibacterianas (NGASSOUM et al., 2003), antifúngicas (LEMOS et al., 2005) antioxidantes (SAEIO; CHAIYANA; OKONOGI, 2011), anticâncidas (NAKAMURA et al., 2004), antinociceptivas (PAULA-FREIRE et al., 2013) e cicatrizante de feridas (ORAFIDJYA et al., 2003). Nos alimentos, desempenha função de conservante, devido a ação contra fungos micotoxigênicos e bactérias (NGUEFACK et al., 2004). Assim, para garantir a eficácia desses atributos, as etapas de produção e processamento pós-colheita devem priorizar o máximo de rendimento e concentração desse composto no produto final.

Dentre as operações do processamento pós-colheita, a secagem é a operação com maior impacto no rendimento, concentração e conservação dos óleos essenciais, portanto, é a mais indicada para a preservação da qualidade no processamento de plantas medicinais, condimentares e aromáticas (PMAC's) (ROCHA, 2011; MOSCON, 2015; GONELI et al., 2014).

O processo de secagem é aplicado com a finalidade de remover parte da água contida no produto, por vaporização térmica a um nível que iniba reações enzimáticas e crescimento microbiano, visando à preservação da qualidade no período pós- colheita (MUJUMDAR & DEVAHASTIN, 2000; HAMROUNI-SELLAM et al., 2013; CARVALHO, COSTA CARNELOSSI, 2010; SOUZA, 2016).

Tradicionalmente, a secagem de plantas medicinais é realizada pela exposição do material vegetal às condições do ar ambiente ou à radiação solar (CHAKRABORTY & DEY, 2016; POÓS & VARJU, 2017). No entanto, esses processos são lentos e podem acarretar depreciação da qualidade em razão da contaminação por insetos e micro-organismos e a degradação de compostos pela ação da radiação solar (CÔRREA JUNIOR & SCHEFFER, 2009; KARIMA et al., 2016; PANDEY & SAVITA, 2017). Desse modo, esses métodos têm sido substituídos pela secagem convectiva com ar aquecido e movimentado artificialmente, também denominada secagem artificial (CHAKRABORTY & DEY, 2016; PANDEY & SAVITA, 2017).

O tempo para condução da secagem artificial está relacionado a fatores como as propriedades do material vegetal, propriedades psicométricas e vazão do ar de secagem, e configuração e forma de operação do secador empregado. Estudos apontam que maiores temperaturas e vazão do ar de secagem levam a menores tempos de secagem (ELANGO VAN & NATARAJAN, 2021; KARAMI, LORESTANI, TAHVILIAN, 2021). No entanto, há de ater-se às propriedades das plantas que, a depender das espécies, apresentam estruturas e constituições celulares que estão sujeitas a danos térmicos, bem como a perda e/ou degradação de compostos de interesse (VALLINO et al., 2021; YANG et al., 2021; ZUIDERVEEN et al., 2021). Além disso, a temperatura do ar na secagem convectiva influencia a evaporação de componentes voláteis presentes nas plantas medicinais e nos óleos essenciais (CARVALHO, COSTA E CARNELOSSI, 2010).

Diante disso, para a garantia de produção de um material vegetal seco com a qualidade preservada, é recomendável não expor o material a temperaturas elevadas. Em geral, temperaturas de 40 a 60 °C são recomendadas para secagem de folhas de plantas medicinais, aromáticas e condimentares (PMAC's), pois observa-se menores perdas de princípios ativos (MELO, RADÜNZ E MELO, 2004). Contudo, o uso de menores temperaturas aumenta o tempo de secagem e os consumos de energia térmica e elétrica, tornando o processo mais oneroso.

Uma alternativa promissora na solução desse problema que vem sendo analisada é a secagem intermitente. Estudos experimentais com alecrim-pimenta (*Lippia origanoides*) e frutos de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) (Sperotto et al., 2021), arroz (*Oryza sativa* L.) (Pereira et al., 2020) e mangas (*Mangifera indica*, L.) (Amado, Silva e Mauro, 2021) já demonstram o potencial benéfico do uso dessa metodologia na secagem desses produtos.

A secagem intermitente consiste em intercalar períodos de secagem e de descanso, e isto pode ser realizado por meio do interrompimento do fornecimento de energia térmica e/ou pela variação da vazão ou temperatura do ar de secagem (TAKOUGNADI et al., 2017; KUMAR, KARIM e JOARDDER, 2014). Durante o descanso, a água concentrada na região central do produto migra para a superfície, facilitando assim a remoção quando há exposição na condição de secagem (KUMAR et al., 2014). Esse processo, contribui na manutenção dos padrões de qualidade dos produtos como cor, textura e composição química (CHOU et al., 2000; HOLOWATY et al., 2012), além de reduzir o tempo de secagem e gastos com energia (DE SOUZA) et al., 2020; KOWALSKI e PAWLOWSKI, 2011; PUTRANTO et al., 2011).

Até o momento, pesquisas que avaliem a influência da intermitência na cinética de secagem e qualidade das PMAC's são incipientes. Desse modo, este trabalho foi conduzido com o objetivo de estabelecer uma metodologia aplicada a secagem de *Ocimum gratissimum*, empregando a intermitência, para se obter o máximo de rendimento de óleo essencial, extraído de plantas secas sob o menor tempo possível de operação.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o processo de secagem de folhas de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.), em secador convectivo empregando diferentes níveis de temperatura do ar de secagem, duração do período de intermitência e tempo para inserir a intermitência, por meio da modelagem das curvas de secagem e mensuração do rendimento da extração.

2.2 Específicos

Construir curvas de secagem para as diferentes temperaturas e ajustar modelos matemáticos;

Avaliar o efeito da temperatura, do período de descanso e do tempo para inserção do descanso, no tempo total do processo de secagem e no rendimento de óleo essencial;

Propor a otimização do processo de secagem com o intuito de minimizar o tempo de operação e maximizar o rendimento na extração do óleo essencial de folhas de alfavaca.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Plantas Medicinais e Fitoterapia no Brasil

As plantas medicinais são utilizadas desde o início da civilização humana e representam uma das principais estratégias para o tratamento de diversas patologias (BADKE, 2011). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), 25% dos medicamentos prescritos são provenientes direta ou indiretamente de plantas medicinais, visto que existem muitas formulações que agregam tecnologias modernas aos conhecimentos tradicionais (BRASIL, 2012).

O compartilhamento de experiências e a observação da utilização pelos animais ao longo da história, contribuiu para que o uso das plantas se tornasse cada vez mais popular (OLIVEIRA; SIMÕES; SASSI, 2006). Além disso, a facilidade de obtenção, e a possibilidade de menores efeitos colaterais favoreceram essa difusão (WACHTEL GALOR e BENZIE, 2011).

Conceição (2011) define como planta medicinal, toda planta ou parte dela, que serve de algum modo para tratamentos de saúde, sendo este efeito curativo, e sua eficácia comprovada cientificamente. Já a terapêutica com origem no conhecimento popular, que utiliza medicamentos em que os compostos ativos são as próprias plantas ou os derivados vegetais denomina-se Fitoterapia (DE PASQUALE, 1984).

Diante da eficácia dessas plantas, da possibilidade de descoberta de novos ativos, e dada a imensa biodiversidade do planeta, pesquisadores e as indústrias farmacêuticas têm investido em explorar a fitoterapia, sendo essa prática disseminada mundialmente na atualidade (LORENZI e MATOS, 2008).

Um dos marcos históricos importantes sobre a utilização de plantas medicinais no mundo foi a Declaração de Alma Ata em 1978, em que foi reconhecido o uso de plantas medicinais e de fitoterápicos com finalidade profilática, curativa e paliativa. Desde então a OMS passou a reconhecer as plantas medicinais e a fitoterapia (IBIAPINA et al., 2014).

O Brasil é o país que concentra mais de 20% das espécies vegetais, constituindo na maior biodiversidade do planeta, com cerca de 55.000 espécies catalogadas, e um vasto conhecimento cultural associado ao uso dessas plantas. Porém, diante desse potencial, considera-se que na atualidade há poucos estudos relacionados à síntese de novos medicamentos a partir dos ativos de origem vegetal diante da alta disponibilidade (CALIXTO, 2000; VEIGA-JUNIOR, 2008).

Em 2006, o Ministério da Saúde (MS) publicou a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC), cuja implementação atendia a demandas de natureza política, técnica, econômica, social e cultural, tendo como base estimular o conhecimento, bem como apoiar, incorporar e implementar experiências que já vinham sendo desenvolvidas na rede pública de muitos municípios e estados, tais como, acupuntura, medicina antroposófica e fitoterapia, entre outras (BRASIL, 2006a). Nesse mesmo ano foi aprovada a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos por meio do Decreto nº 5813/2006 com ênfase às práticas populares e tradicionais de uso de plantas medicinais, fitoterápicos e remédios caseiros, a fim de promover o uso racional dos mesmos, além do uso sustentável da biodiversidade, o desenvolvimento da cadeia produtiva e da indústria nacional (BRASIL, 2006b).

Posteriormente, em 2008, foi implantando o Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos com a criação do Comitê Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos por meio da Portaria Interministerial Nº 2960/2008 que abriu caminhos para a prática de pesquisas nessa área, implementando a inserção de plantas medicinais, fitoterápicos e serviços relacionados à fitoterapia no SUS (BRASIL, 2008).

Em fevereiro de 2009, o MS divulgou, com o intuito de direcionar a pesquisa clínica e o ensino, a Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS). Nessa lista constam as plantas medicinais que apresentam potencial para gerar produtos de interesse ao SUS, com necessidade de maiores investigações, sendo atualmente 71 espécies, incluindo a alfavaca (*Ocimum gratissimum*) que foi a espécie utilizada neste estudo (RENISUS, 2014).

Tendo em vista esses avanços nas políticas públicas com criação de programas específicos, fica claro o empenho dos órgãos do governo na implementação de medicamentos fitoterápicos e plantas medicinais no arsenal terapêutico do SUS, o que acarreta o aumento da demanda por estes produtos. Diante disso, é imprescindível o desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos processos de produção e pós-produção visando garantir a qualidade, eficácia e segurança das plantas com potencial terapêutico.

3.2 *Ocimum gratissimum*: caracterização e potencial de uso

A *Ocimum gratissimum* var. *gratissimum* pertence à família Lamiaceae, e possui diversos nomes populares no Brasil, como “Alfavaca – cravo”, “Alfavacão” ou

simplesmente “Alfavaca”. Tem sua origem atribuída a países da Ásia e África do Sul, e atualmente pode ser encontrada em todas as regiões do Brasil, se desenvolvendo melhor em áreas mais quentes. (HARLEY et al., 2015). Acredita-se, que essa espécie tenha chegado ao Brasil trazida por meio dos escravos africanos (PATON, 1992).

Segundo Siqueira et al. (2012), a alfavaca caracteriza-se como uma planta herbácea, anual ou perene, com caule ramificado, e folhas opostas, ovais, pecioladas e com coloração verde-clara. As flores presentes nas extremidades das ramificações são pequenas e brancas e os frutos-semente apresentam quatro aquênios. Harley et al. (2015) a definem como planta arbustiva, aromática, considerando que a mesma pode atingir de 0,40 a 1 m de altura.



Figura 1. *Ocimum gratissimum* L.

Fonte: <<https://hortodidatico.ufsc.br/alfavaca-cravo/>>

O gênero *Ocimum* expressa a propriedade quanto a riqueza em óleos essenciais (MARTINS, 2006). Segundo Martins et al. (2009), o aumento da quantidade de óleos essenciais em plantas da espécie *O. gratissimum*, pode ser potencializado pelo cultivo ao sol, o que leva a maior densidade de tricomas glandulares acompanhada de maior espessura das folhas.

A variedade de *O. gratissimum* encontrada no Brasil, distingue-se das demais pela alta concentração do constituinte eugenol no óleo essencial (VIEIRA et al., 2001). O eugenol, 4-alil-2-metoxifenol, é um fenil-propeno, encontrado nos óleos essenciais de cravo, canela, noz-moscada e plantas do gênero *Ocimum*. Esse constituinte se apresenta como um líquido amarelo claro, solúvel em solventes orgânicos e pouco solúvel em água (JIROVETS et al., 2006).

De acordo com a literatura, possui atividade antioxidante (OGATA et al., 2007); neuroprotetora (KABUTO et al., 2007); bactericida (BURT, 2004); sedativo e anestésico para peixes (CUNHA et al., 2006).

Além do eugenol, outros constituintes ativos podem ser encontrados na composição do óleo essencial da variedade encontrada no Brasil, tais como: 1,8-cineol, timol, p-cimeno, trans-cariofileno, γ -terpineno, α -bisaboleno (BORGES et al., 2012; FRANCO et al., 2007; LEAL et al., 2006).

A utilização de *O. Gratissimum* é ampla, sendo empregada, portanto, no preparo de chás carminativos, sudoríficos e diuréticos, e no tratamento de doenças como leishmanioses, infecções do trato respiratório, desordem gastrointestinal, febre, tosse, conjuntivite, dor de cabeça e até doenças de pele. (SARTORATTO ET AL., 2004; LORENZI & MATOS, 2008; ILORI ET AL., 1996). Além de possuir propriedades antioxidantes e antimicrobianas (PRAKASH et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016)

Devido a essas propriedades terapêuticas, em 2009, a *O. gratissimum* foi listada na Relação de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS) (BRASIL, 2009). Desde então, tem-se verificado um avanço em pesquisas científicas que atestam e corroboram com os relatos populares de que esta planta possui eficácia para o tratamento de diversas enfermidades.

Shaw et al. (2017) demonstrou atividade anti-hipertensiva do extrato de *O. gratissimum*, por meio da redução dos níveis da enzima conversora de angiotensina (ACE) no plasma e pulmão de camundongos.

Madhu e Harindran (2014) constataram que o tratamento com extrato de *O. gratissimum* foi capaz de atenuar significativamente a inflamação articular de ratos com artrose.

Ogundipe et al. (2016) observaram melhora na lesão renal de ratos com nefropatia induzida pelo antibiótico gentamicina. Desta forma, os autores concluíram que extrato aquoso de folhas de *O. gratissimum* apresentam o potencial terapêutico nessas condições.

Venuprasad et al. (2014), em estudo sobre os efeitos antioxidantes e ansiolíticos de *O. gratissimum*, verificaram por testes in vitro, que esta planta possui alta capacidade de eliminação de radicais livres. Também observaram efeitos protetores contra H₂O₂/AAPH em macromoléculas induzidas como DNA, proteína e

lipídeos. Os autores constataram, ainda, efeitos ansiolíticos, analisados por estudo comportamental em camundongos.

Oliveira et al. (2016) observaram atividade antifúngica do óleo essencial de *O. gratissimum* sobre cepas de *Cândida*, inibindo o crescimento. Este estudo indica o potencial desta espécie para o desenvolvimento e elaboração de um novo fármaco para o tratamento de doenças fúngicas.

Boijink et al. (2016) concluíram que o óleo essencial de *O. gratissimum* é um ingrediente seguro e eficiente para ser usado como produtos anti-helmínticos e anestésicos naturais para piscicultura tropical.

Além do potencial medicinal, alguns trabalhos encontrados na literatura descrevem a ação inseticida desta espécie, sendo eficaz para controle de pragas. Podendo esta, ser uma alternativa mais viável ao uso de inseticidas sintéticos, uma vez que o uso inadequado destes pesticidas pode resultar no desenvolvimento de espécies resistentes e causar danos ao ecossistema, bem como trazer efeitos tóxicos aos seres humanos e animais (NGUEMTCHOUIN ET AL. 2013; OGENDO ET AL. 2008; OKIGBO ET AL. 2010).

Na área de alimentos, o uso da alfavaca também é extenso pois além de conferir sabor e aroma nas preparações culinárias, o óleo essencial inibi o crescimento de micro-organismos patogênicos, podendo ser útil para o aumento da vida de prateleira dos produtos, o que é relevante, haja vista a possibilidade de substituição de compostos químicos sintéticos por substâncias naturais (Moreira et al., 2005). Outro fator importante para a busca por conservantes naturais é que cada vez mais, há microrganismos patogênicos com resistência aos antibióticos existentes, revelando a necessidade do emprego de substâncias com origem natural (SARTORATTO et al., 2004).

Diante das evidências terapêuticas elucidadas por trabalhos científicos, a espécie *Ocimum gratissimum*, secretora de óleo essencial, se apresenta como um recurso potencial para o desenvolvimento de medicamentos fitoterápicos. Conseqüentemente, estudos de novas metodologias de secagem e manejo pós-colheita que garantam a melhor qualidade destes produtos para o objetivo final são indispensáveis. Com base nestes fatos, justifica-se a escolha dessa espécie para o desenvolvimento deste trabalho.

3.3 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias voláteis e odoríferas, produtos do metabolismo secundário de plantas aromáticas (BAKKALI et al., 2008). Esses compostos são produzidos em resposta a estímulos ambientais em que essas plantas encontram inseridas, como forma de defesa (VOGT, 2010). Além disso, devido à sua riqueza em compostos antioxidantes, neutralizam os radicais livres e inibem a peroxidação lipídica. Ademais, devido ao aroma característico, contribuem para atrair agentes polinizadores e/ou inibir a ação de alguns herbívoros (SILVA et al., 2012).

A composição química dos óleos essenciais varia conforme o gênero, família, espécie ou parte da planta utilizada para extração (GOBBO-NETO e LOPES, 2007). Porém, outros determinantes, como as interações planta-inseto, planta-microorganismo, planta-planta, idade, e até mesmo abióticos como luminosidade, temperatura, pluviosidade, nutrição e horário da colheita exercem influência na constituição dos mesmos, por serem capazes de redirecionar a rota metabólica favorecendo a biossíntese de diversos compostos de acordo com a necessidade. Vale ressaltar, que estes atuam de forma integrada, exercendo influência conjunta no metabolismo secundário, e não isoladamente (MORAIS, 2009).

Os óleos essenciais, ricos em compostos antioxidantes e antimicrobianos, apresentam diversas propriedades biológicas, sendo utilizados como remédios naturais para o tratamento de enfermidades. Pesquisas relatam a atividade antibacteriana (TAO et al., 2021; FALLEH et al., 2021), antifúngica (ZHAO et al., 2021; HONG et al., 2021) e antioxidante (GAIROLA et al., 2021; MOHAMMADI, F, 2021) dos mesmos.

Assim sendo, os óleos essenciais podem ser destinados às pesquisas para elaboração de medicamentos desde que a eficácia terapêutica seja comprovada cientificamente com registro no órgão responsável. A título de exemplo, pode-se citar o óleo extraído das folhas da Erva-baleeira, *Cordia verbenacea* DC (Boraginaceae), que possui ação anti-inflamatória (ACHEFLAN, 2014), sendo este utilizado na fabricação do medicamento Acheflan[®], primeiro fitoterápico desenvolvido totalmente no Brasil.

Entretanto, o uso dos óleos essenciais não está restrito apenas a área medicinal. Devido ao aroma forte e agradável, esses compostos vegetais são muito

utilizados na perfumaria, cosmética e produtos de limpeza, além da indústria alimentícia, podendo ser empregados como aromas, fragrâncias, fixadores de fragrâncias, em composições farmacêuticas e comercializados na sua forma bruta ou beneficiada, fornecendo substâncias purificadas como o limoneno, citral, citronelal, eugenol, mentol e safrol (SILVA-SANTOS et al., 2006). Além disso, a ação inseticida dos mesmos, é elucidada em vários trabalhos na literatura, conforme os citados a seguir.

Gomes et al (2021) avaliando a eficácia de larvicida de mosquito à base de óleo de laranja contra cepas de *Aedes aegypti*, observaram alta atividade contra as cepas resistentes a deltametrina e temefós, sugerindo o potencial para substituição dos inseticidas sintéticos.

Ebrahimifar et al. (2021) verificaram os efeitos repelentes do óleo essencial de *Ferulago angulata* (Schlecht.) contra o besouro castanho (*Tribolium castaneum* (Herbst)) e o Gorgulho dos cereais (*Rhizopertha dominica* (Fabricius)).

Quanto a obtenção dos óleos essenciais, existem vários métodos utilizados atualmente, sendo eles: hidrodestilação, extração por arraste a vapor, extração com solventes orgânicos, prensagem a frio e extração com fluído supercrítico (SIMÕES & SPITZER, 2003).

O método de hidrodestilação, consiste na imersão da matéria-prima em água destilada que posteriormente é aquecida. A partir do momento em que há ebulição, o fluxo de vapor carrega os compostos voláteis presente, inclusive o óleo essencial. Ocorrendo, na sequência, a condensação, e então, se forma uma mistura de fases heterogênea (água e óleo) por diferença de densidades (BORSATO et al., 2008).

Já o método de extração por arraste a vapor, embora seja semelhante à hidrodestilação, não há contato direto da amostra com a água. Sendo a mesma colocada sobre uma placa perfurada, em que o fluxo de vapor atravessa, arrastando os compostos voláteis. Por fim, o vapor dirige-se ao condensador, seguindo para o compartimento onde ocorre a separação de fases entre água e o óleo (BORSATO et al., 2008).

A extração por solvente, ocorre por meio do contato de um solvente orgânico e apolar com o produto vegetal. Decorrido o tempo necessário para que haja a transferência dos constituintes solúveis da amostra, realiza-se a separação das fases

sólida e líquida. Posteriormente, o solvente é evaporado, obtendo-se o óleo essencial (WENNERSTEN, 1992; BIASI & DESCHAMPS, 2009).

O método de prensagem a frio baseia - se na aplicação de uma força mecânica no material por uma prensa hidráulica, rompendo as glândulas de óleo. Após, o óleo essencial pode ser separado do restante do material por centrifugação (KUBECZKA, 2010).

A técnica de extração com fluidos supercríticos consiste no uso de um solvente, geralmente um gás, no qual sua pressão e temperatura são levadas ao estado supercrítico pela aplicação de calor e pressão. Quanto às vantagens, permite o processamento dos materiais a baixas temperaturas, garantindo a integridade de compostos termos-sensíveis, além da recuperação do solvente após o processo de extração. Porém, o alto custo dos equipamentos é a principal desvantagem (MAUL et al., 1996).

De acordo com Souza (2018), a escolha do método dependerá de fatores, como: localização do óleo essencial na planta, finalidade de utilização e custo benefício do processo, porém, o método de destilação a vapor e hidrodestilação são as técnicas mais utilizadas na obtenção de óleos essenciais em escala comercial e laboratorial.

Na escolha obtenção dos óleos essenciais, deve ser garantido que os compostos possuirão as características químicas e físicas necessárias para fabricação de um determinado produto. Para isso, as operações de cultivo, colheita e pós-colheita de plantas produtoras de óleos essenciais, devem ser realizadas cuidadosamente objetivando a maximização do rendimento e redução de perdas de princípios ativos. Garantindo, dessa forma, a integridade do material (SOUZA, 2018).

Neste sentido, uma estratégia fundamental para a manutenção da qualidade de matérias-primas para a obtenção de óleos essenciais é a secagem. Por meio deste processo, e possível reduzir a quantidade de água presente no material, o que gera benefícios no controle de proliferação de micro-organismos e reações enzimáticas ocasionadas no período de armazenamento (HAMROUNI-SELLAM et al., 2013).

3.4 Secagem de Plantas medicinais

O processo de secagem consiste em uma operação unitária em que a água de um determinado material é retirada, ocasionando redução da massa do mesmo (MCCABE, et al., 1991).

Esta operação objetiva a preparação para um armazenamento seguro, sendo possível prolongar os prazos de armazenamento, disponibilizar o material em qualquer época do ano, e reduzir significativamente o volume dos materiais para suprir a demanda da produção industrial. Vale destacar que além da ampla utilização no processamento pós-colheita de plantas medicinais, esses benefícios também se aplicam à indústria de alimentos (LORENZI & MATOS, 2008; MARTINS, F. P. et al., 2020; GONELI et al., 2014; MATTANA, 2015).

Considerando o alto teor de água presente nas plantas recém-colhidas, entre 60 a 80%, o que favorece o crescimento de micro-organismos e a ocorrência de reações enzimáticas com degradação de compostos, é necessário secar as plantas até que se obtenha um teor final de água em torno de 0,11 b.s., atendendo a demanda de armazenamento seguro, no que se refere a preservação da qualidade (CÔRREA JUNIOR e SCHEFFER, 2009; GONELI, 2014; PIMENTEL et al., 2008; RODRIGUES et al., 2011; POÓS e VARJU, 2017).

A secagem artificial convectiva se apresenta amplamente difundida e empregada na secagem de alimentos e plantas medicinais (NASCIMENTO et al., 2015). É possível notar de acordo com a literatura, que no emprego desta operação o tempo necessário para remoção da água do produto é diminuído conforme se aumenta a temperatura e vazão do ar de secagem (MARTINAZZO et al., 2010; EVIN, 2012; PRATES et al., 2012; REIS et al., 2012; GONELI et al., 2014; RADÜNZ et al., 2014).

Embora altas temperaturas apresentem benefícios quanto a redução do tempo de secagem, os tecidos e compostos vegetais das espécies medicinais são vulneráveis a temperaturas elevadas, podendo sofrer alterações nas propriedades químicas e físicas, comprometendo a qualidade do produto. Além disso, o rendimento do óleo a ser obtido pode ser afetado, e pode ocorrer perda de constituintes termossensíveis (ESTURK, 2012; GASPARIM et al., 2016; ESTURK, 2012; CHAKRABORTY & DEY, 2016; GASPARIM et al., 2016; PANDEY & SAVITA, 2017).

Santana et al. (2014) observaram menor rendimento de óleo essencial das folhas de *O. gratissimum* secas por secagem convectiva a 60 °C, em relação à secagem à temperatura ambiente (média de 30 °C).

Argyropoulos e Müller (2014) pesquisando as alterações da composição do óleo essencial de Erva-cidreira (*Melissa officinalis* L.) secas, observaram diminuição do rendimento de óleo à medida que se aumentou a temperatura. Sendo que a 30°C, houve perda de 16%, que aumentou para 23% quando a temperatura foi fixada em 45°C. Já em temperaturas superiores a 60°C, as perdas ultrapassaram 65%.

Governici (2019) avaliou a influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos no rendimento do óleo essencial de pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolius Raddi*), por meio de secagens a 50, 60 e 70°C e concluiu que o maior rendimento de óleo essencial foi obtido a partir de frutos secos a 50 °C e triturados antes da extração.

Contudo, Melo et al. (2004), em uma ampla revisão de literatura sobre a influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais, observou que temperaturas do ar de secagem entre 50 e 60 °C mostram-se viáveis para secagem de grande número de plantas medicinais estudadas, independentemente do método de secagem empregado; contrapondo, portanto, o paradigma de que plantas medicinais devem ser secas com temperatura máxima igual 40 °C.

Os estudos mencionados relatam que o processo de secagem causa perdas significativas no conteúdo e composição dos óleos essenciais. Sendo assim, é necessário que se desenvolvam pesquisas com novas metodologias de secagem para plantas produtoras de óleos essenciais, capazes de reduzir as perdas e alterações.

3.5 Secagem Intermitente

A secagem intermitente corresponde a um método em que o fornecimento de calor é interrompido em intervalos regulares de tempo a fim de acelerar o processo (CHUA et al., 2003; KOWALSKI e PAWLOWSKI, 2011; KUMAR et al., 2014).

Sendo assim, quando aplicada, no período de descanso ocorre a reidratação das camadas superficiais do material, aumentando a quantidade de água removida por unidade de tempo em relação à secagem contínua. Isso agiliza o processo, pois, a taxa de secagem, após a remoção da água superficial, é determinada pela velocidade de transporte da água do interior para a superfície do material (BAUDET et al.,1999).

Outro benefício relevante da secagem intermitente é o impedimento do superaquecimento dos tecidos celulares, o que preserva a qualidade dos produtos, por amenizar a perda por volatilização de compostos termo sensíveis, além de modificações químicas e físicas. Mesmo com a utilização de temperaturas elevadas de ar, a temperatura da massa do produto não aumenta excessivamente, deste modo, os riscos de danos térmicos são reduzidos. Diante dessas propriedades, esse processo apresenta-se como mais eficiente que os demais (BAUDET et al.,1999; VILLELA e PESKE, 1997).

Sperotto et al. (2021) avaliaram a influência da aplicação de diferentes razões de intermitência no rendimento e na qualidade do óleo essencial das folhas de alecrim-pimenta (*Lippia origanoides*) e de frutos de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius Raddi*) e na cor das folhas de ambas e concluíram que a secagem com a razão de intermitência 10:20 a 70 °C proporcionou os maiores rendimentos e a melhor qualidade do óleo essencial de folhas secas de *Lippia origanoides*, preservando o Timol e não resultando em degradação dos atributos de cor. Para os frutos da aroeira-vermelha, uma razão de intermitência de 10:20 a 50 ° C maximizou o rendimento do óleo essencial e resultou em uma maior concentração do composto α -Felandrene.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de secagem foram realizados nas dependências do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e as análises laboratoriais nos laboratórios de Operações Unitárias, Química (LQ1) e Central Analítica localizados no Campus Alegre da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES.

A execução dos trabalhos se deu em três fases: 1 - colheita e preparo da matéria-prima; 2 - coleta de dados da secagem; 3 - extração e determinação do rendimento.

4.1 Matéria-prima

Foram utilizadas amostras de folhas da espécie *Ocimum gratissimum* L., (exsicata: PAMG 57974), provenientes de cultivo orgânico em área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais (20° 46' 13,5" S; 42° 52' 23,3" O).

4.1.1 Colheita do material vegetal

As colheitas foram realizadas nos meses de novembro e dezembro de 2020, entre 8 e 9 horas da manhã. Para uma maior conservação, as folhas foram colhidas com seus caules e encaminhadas ao Laboratório de Pós-colheita de Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares, do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, onde foram embaladas em sacos de polietileno de coloração preta e armazenadas em câmara climatizada tipo B.O.D., a 5 °C, até as etapas seguintes do experimento.

4.1.2 Determinação do teor de água

A determinação do teor de água das folhas frescas foi realizada imediatamente após cada colheita e seguiu metodologia descrita pela Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 2016). Desse modo, amostras frescas com cerca de 10 g foram colocadas em estufa com circulação forçada do ar, a temperatura de 105±2 °C, até que atingisse massa constante. Os ensaios foram realizados em triplicata. Os valores do teor inicial de água de cada amostra foram calculados por meio da razão percentual entre a diferença das massas inicial e final das amostras em relação à massa inicial.

4.2. Delineamento experimental e análises estatísticas dos dados

Nos ensaios de secagem foram empregados três secadores experimentais de leito fixo (Figura 2), em que o sistema de aquecimento do ar é composto por resistores com potência total de 7.500 W. O sistema de movimentação de ar nesses secadores é equipado com ventiladores axiais com potência de 48 W.

As amostras de folhas empregadas nos ensaios eram acondicionadas em telas metálicas e colocadas nas câmaras com formato cilíndrico.



Figura 2 – Secadores utilizados no experimento.

Fonte: Autor, 2020.

A cada ensaio de secagem, foi realizada previamente a desfolha do material vegetal, com descarte das partes danificadas, doentes e materiais estranhos. Em seguida, o material foi homogeneizado e aproximadamente 350 g de folhas de *O. gratissimum* foram pesadas em balança analítica de precisão para então serem acondicionadas em telas metálicas e colocadas nas câmaras com formato cilíndrico no secador.



Figura 3 – Folhas de *Ocimum gratissimum* em processo de seleção

Fonte: Autor, 2020.

Os ensaios de secagem ocorreram segundo o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) considerando três fatores: temperatura do ar de secagem, tempo de descanso e tempo de secagem antes da inserção da intermitência. Os limites inferior e superior para a temperatura foram 40 e 80 °C; respectivamente, enquanto

para o tempo de descanso 5 e 30 minutos, respectivamente; e para o tempo de inserção do descanso de 10 e 20 minutos após o início da secagem, respectivamente.

Durante o tempo de descanso as amostras removidas do secador eram acondicionadas em caixas por um determinado período expresso em minutos. Nesse período de tempo o sistema de aquecimento e de movimentação de ar continuaram a operar normalmente.

Considerando esses três fatores, foi definida a necessidade de 15 tratamentos, assim caracterizados: oito pontos fatoriais, seis pontos axiais e um ponto central (Tabela 1). O valor adotado de α foi 1,68, conforme recomendações de Teófilo e Ferreira (2006) para um DCCR com três fatores. Para o tratamento 9, ponto central, foram feitas 5 repetições, enquanto os demais apenas uma, assim, totalizando 19 ensaios.

Tabela 1. Valores das variáveis fixas codificadas (x_1 , x_2 e x_3) e não codificadas (Temperatura, Tempo de descanso e Tempo de inserção) para o Delineamento Composto Central Rotacional.

Tratamentos	x_1	Temperatura do ar de secagem	x_2	Tempo de descanso (min)	x_3	Tempo para inserção do descanso (min)
1	-1	(°C)	-1	10	-1	12
2	-1	48	-1	10	1	18
3	-1	48	1	25	-1	12
4	-1	48	1	25	1	18
5	1	48	-1	10	-1	12
6	1	72	-1	10	1	18
7	1	72	1	25	-1	12
8	1	72	1	25	1	18
9	0	60	0	17,5	0	15
10	-1,68	40	0	17,5	0	15
11	1,68	80	0	17,5	0	15
12	0	60	-1,68	5	0	15
13	0	60	1,68	30	0	15
14	0	60	0	17,5	-1,68	10
15	0	60	0	17,5	1,68	20

No estudo de otimização do processo, considerando os três fatores acima ressaltados, tomou-se como objetivo o estabelecimento de um cenário resultante da minimização do tempo de secagem e da maximização do rendimento na extração do óleo essencial.

Durante a secagem foram realizadas pesagens periódicas, em intervalos de 10 minutos, para acompanhar a redução do teor de água das amostras e a temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram registrados empregando um termo-higrômetro digital. As condições ótimas do estudo devem ser tais que minimizem as variáveis tempo de secagem e maximize o rendimento do óleo essencial.

O processo de secagem foi finalizado quando o produto atingiu massa final que correspondesse a um teor de água de aproximadamente 11% (b.s). O cálculo da

massa final foi realizado por meio da Equação 1.

$$mf = mi \cdot \frac{(1-xi)}{(1-xf)} \quad \text{Equação 1}$$

Em que

mf: massa final da planta medicinal, g;

mi: massa inicial da planta medicinal, g;

xi: teor inicial de água, b.s.;

xf: teor final de água final, b.s.

Após o término da secagem, as folhas secas foram acondicionadas em embalagens de polietileno (PEBD 30 x 40 x 0,10) e estas envoltas em sacos de papel Kraft, identificados e armazenados à temperatura ambiente até a extração do óleo essencial.

4.2.2. Ajustes dos modelos matemáticos

Os modelos matemáticos empregados para descrever as curvas de secagem dos ensaios estão listados na Tabela 2. Para efeito de comparação dos ajustes entre os modelos foram empregados o coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S).

Tabela 2. Modelos matemáticos para descrever a modelagem do processo de secagem da Alfavaca (*Ocimum gratissimum* L)

Designação	Modelo
Lewis (LEWIS, 1921)	$RU = e^{-kt}$
Page (PAGE, 1949)	$RU = e^{-kt^n}$
Henderson e Pabis (HENDERSON E PABIS, 1961)	$RU = a e^{-kt}$
Midilli (MIDILLI et al., 2002)	$RU = a e^{-kt^n} + bt$

em que:

RU: razão de umidade (adimensional);

t: tempo de secagem (min);

k: constante de secagem (min^{-1});

a, n, b: constante dos modelos (adimensional).

A razão de umidade (*RU*) é descrita conforme a Equação 2 a seguir, para as diferentes temperaturas do processo de secagem.

$$RU = \frac{U_t - U_e}{U_0 - U_e} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

U_t: teor de água no período de tempo *t*, base seca;

U_e: teor de água quando se atinge o equilíbrio, base seca;

U₀: teor de água no tempo inicial *t₀*, base seca.

4.2.3 Extração do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L.

As extrações do óleo essencial das amostras de folhas secas de *O. gratissimum* L. foram realizadas segundo o método da hidrodestilação, utilizando aparelho Clevenger, adaptado ao balão volumétrico de fundo redondo com capacidade de 2 L (Figura 4).



Figura 4 – Aparelhos de destilação do tipo Clevenger.

Fonte: Autor, 2021.

Em cada operação em cada balão foi adicionado 50 gramas de folhas secas e então o balão teve 2/3 do seu volume completo com água destilada. O tempo de extração foi de 180 min, contados a partir do momento da ebulição. Este tempo foi estabelecido por meio de testes preliminares.

Após o término da extração, o óleo foi recolhido com auxílio de uma pipeta Pasteur juntamente com hidrolato (mistura da água condensada durante o processo de extração mais o óleo) e foi centrifugado para separação das fases (água e óleo) por diferença de massa específica, possibilitando a pipetagem do óleo essencial puro.

No fim do processo, o óleo essencial obtido foi recolhido para vials previamente pesados que foram armazenados em freezer (-20 °C) para posterior análise constituinte.

4.2.4 Rendimento do óleo essencial

Os frascos contendo os óleos essenciais foram pesados em balança analítica e os resultados da quantificação do óleo essencial expressos em porcentagem de óleo em relação à matéria seca do produto (% m.s.), de acordo com a Equação 3.

$$R_{ext} = \frac{M_{\text{óleo}} \cdot 100}{M_{\text{folhas}}} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

R_{ext} : *Rendimento na extração de óleo essencial, %*

$M_{\text{óleo}}$: *massa do óleo essencial extraído das folhas, g e*

M_{folhas} : *massa das folhas de alfavaca seca, g.*

4.3 Desejabilidade

A técnica de desejabilidade, proposta por Derringer e Suich (1980), foi utilizada para avaliar simultaneamente as variáveis resposta e encontrar os valores operacionais ótimos das variáveis independentes do experimento.

Inicialmente, foram especificados valores numéricos limites que determinam a importância da função para encontrar o valor médio desejado. Desta forma, cada

variável resposta, y_i , foi convertida em uma função desejabilidade individual, d_i , que varia em uma faixa de $0 \leq d_i \leq 1$.

Para a maximização da variável resposta rendimento na extração do óleo foi utilizada a Equação 4 e para minimização da variável tempo de secagem, a Equação 5.

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y} < L_i \\ \left(\frac{y_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{r_i} & L_i \leq \hat{y} \leq T_i \\ 1 & \hat{y} > T_i \end{cases} \quad \text{Equação 4}$$

$$d_i = \begin{cases} 1 & \hat{y} < T_i \\ \left(\frac{U_i - y_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i} & T_i \leq \hat{y} \leq U_i \\ 0 & \hat{y} > U_i \end{cases} \quad \text{Equação 5}$$

em que L_i é o valor mínimo admissível, U_i é o valor máximo admissível e T_i é o valor alvo(ótimo). Estes valores foram definidos após a obtenção dos resultados experimentais.

O cálculo do valor da desejabilidade global, D , (Equação 6) foi realizado com base em cada valor de desejabilidade individual para as duas variáveis respostas. A condição ótima foi a que apresentou maior desejabilidade global.

$$D = \sqrt{d_1 \cdot d_2} \quad \text{Equação 6}$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teor inicial de água

O teor de água inicial das amostras de folhas de *O. gratissimum* utilizadas na secagem variou de 71,8 a 72,7 %. Trabalhos que utilizaram esta mesma espécie apresentaram valores de teor inicial de água pouco superiores ao deste estudo. Borges et al. (2012), 78,26%, e um outro estudo observou variação de 79,13 a 82,13% (SOUZA, 2020).

5.2 Cinética de secagem

Para cada tratamento foram obtidas as curvas de secagem das folhas de *Ocimum gratissimum* de acordo com os níveis de temperatura do ar de secagem, tempo de descanso e tempo para inserção do descanso, em cada tratamento do DCCR, respectivamente. Então, a partir dos resultados experimentais de razão de umidade (R.U), obtidos por meio da Eq. 3, foram ajustados os modelos de Lewis, Henderson & Pabis, Page e Midilli.

Na Figura 5 são apresentadas as curvas simuladas pelos modelos para a secagem da alfavaca (*Ocimum gratissimum*) em diferentes condições (DCCR), tal como os modelos ajustados.

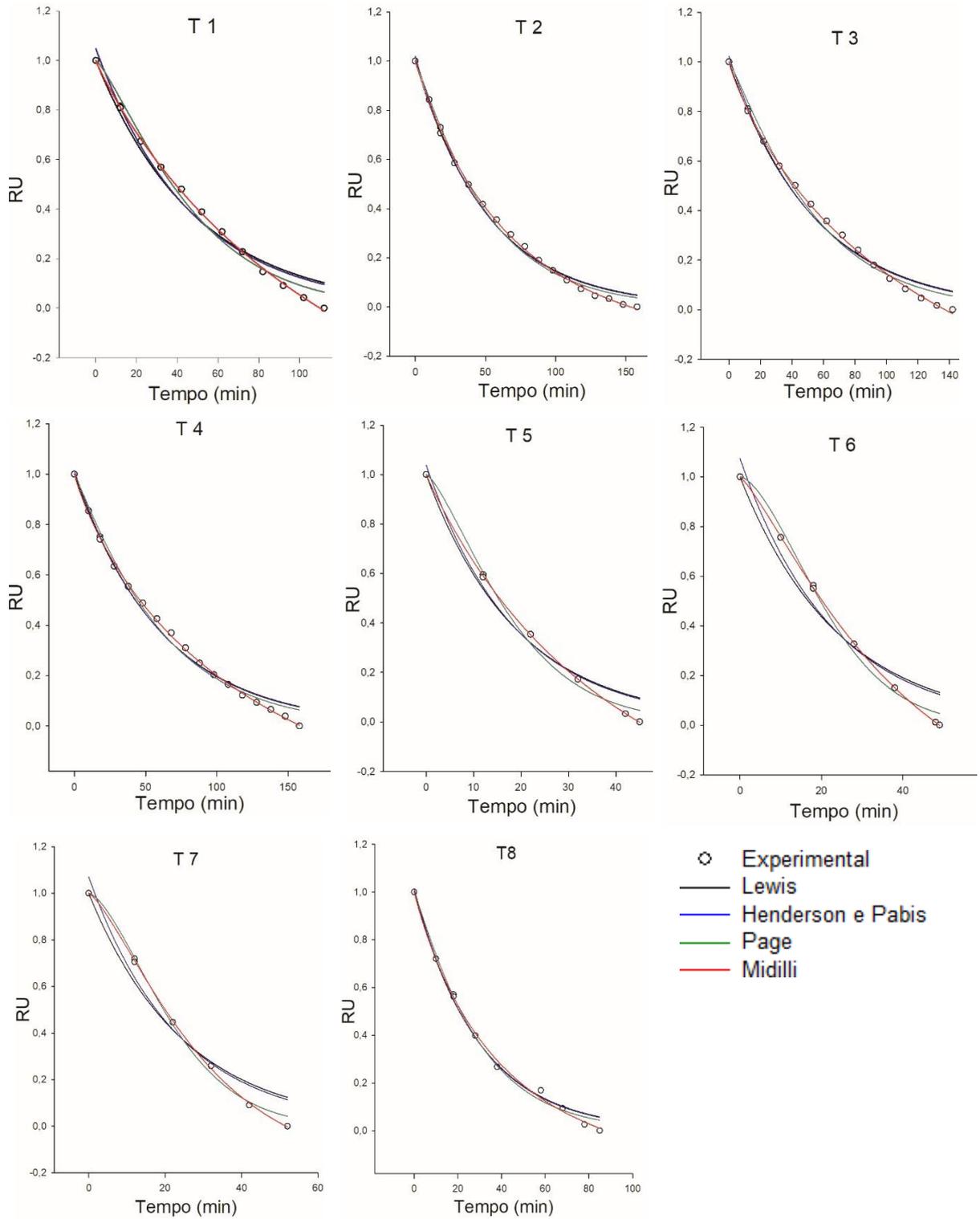


Figura 5 - Curvas de secagem de *Ocimum gratissimum* L. em secador convectivo em diferentes condições para cada tratamento (DCCR). T=Tratamento. (continua 1/3)

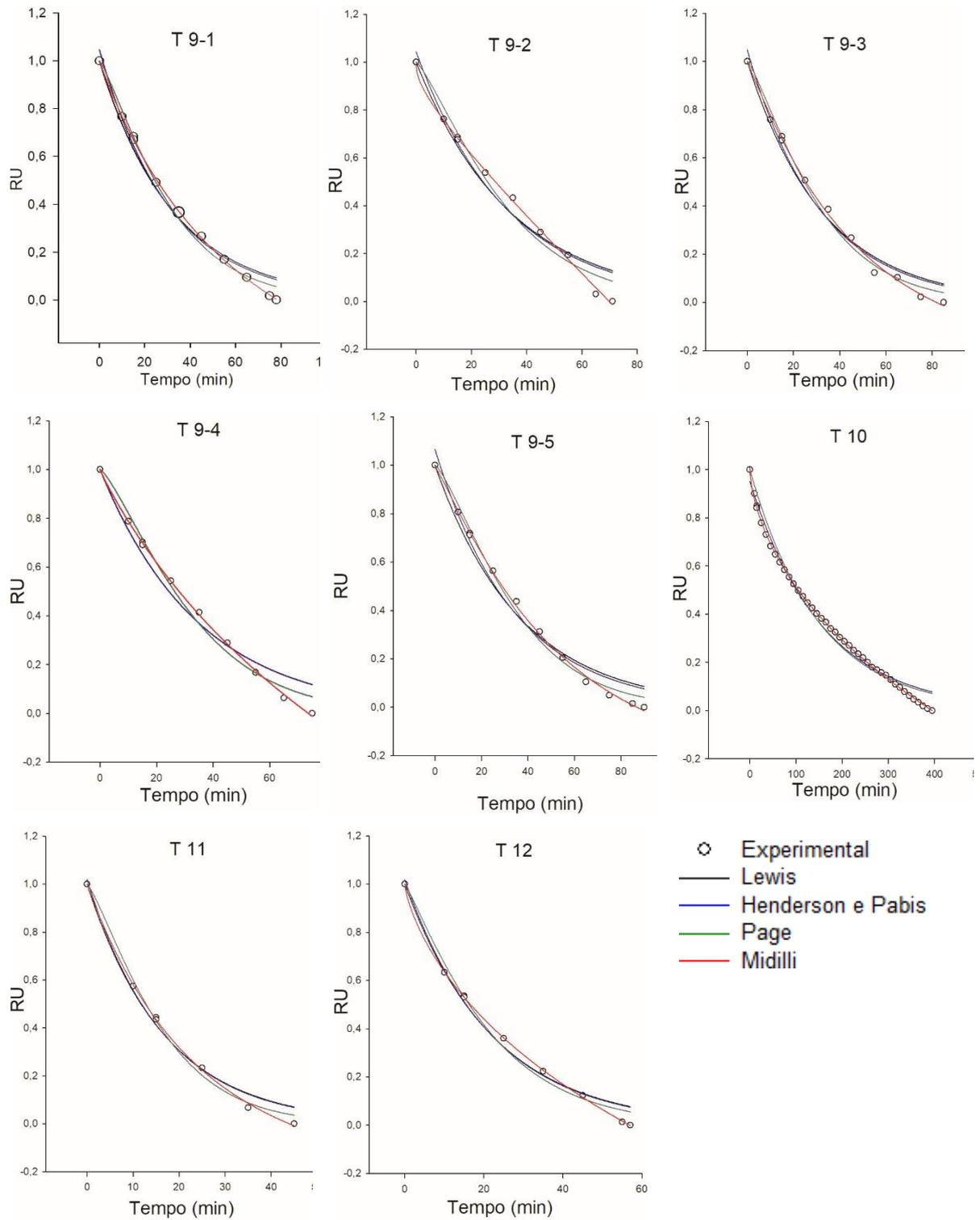


Figura 5 - Curvas de secagem de *Ocimum gratissimum* L. em secador convectivo em diferentes condições para cada tratamento (DCCR). T=Tratamento. (continua 2/3)

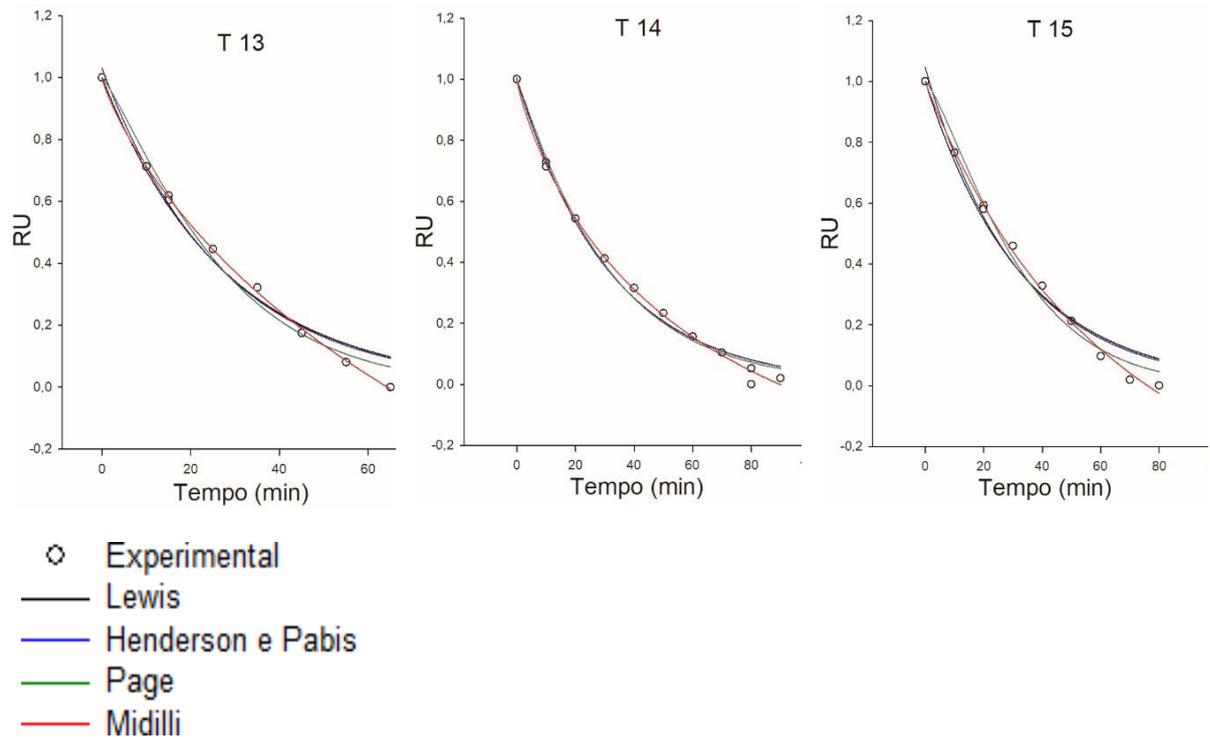


Figura 5 - Curvas de secagem de *Ocimum gratissimum* em secador convectivo em diferentes condições para cada tratamento (DCCR). T=Tratamento. (continuação 3/3)

Na figura 5 é observado que as curvas ajustadas pelo modelo de Midilli foram as que mais se aproximaram dos dados experimentais em todos os tratamentos.

A Tabela 3 apresenta as equações ajustadas e os indicadores estatísticos. O modelo é considerado melhor quanto maior for o coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e quanto menor for o erro padrão da regressão (S).

Tabela 3 - Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (S) na secagem da alfavaca. (Continua 1/4)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	R^2_{adj}	S
1	Lewis	$RU = e^{-0,2028 t}$	0,9739	0,0528
	Page	$RU = e^{-0,007528 t^{1,2491}}$	0,9879	0,0360
	H&P	$RU = 1,0471 e^{-0,2132 t}$	0,9753	0,0514
	Midilli	$RU = 0,9992 e^{-0,01704 t^{0,9394}} - 0,002214 t$	0,9993	0,0083
2	Lewis	$RU = e^{-0,0191458 t}$	0,9928	0,0265
	Page	$RU = e^{-0,0133796 t^{1,08757}}$	0,9948	0,0225
	H&P	$RU = 1,02034 e^{-0,01957 t}$	0,9929	0,0263
	Midilli	$RU = 1,00325 e^{-0,020783 t^{0,9460}} - 0,000580 t$	0,9991	0,0095
3	Lewis	$RU = e^{-0,0182672 t}$	0,9842	0,0397
	Page	$RU = e^{-0,0104364 t^{1,13525}}$	0,9885	0,0339
	H&P	$RU = 1,02212 e^{-0,0186979 t}$	0,9839	0,0402
	Midilli	$RU = 0,999012 e^{-0,02216 t^{0,8758}} - 0,001399 t$	0,9992	0,0088
4	Lewis	$RU = e^{-0,0162092 t}$	0,9894	0,0314
	Page	$RU = e^{-0,0111873 t^{1,0877}}$	0,9914	0,0284
	H&P	$RU = 1,01446 e^{-0,0164698 t}$	0,9891	0,0319
	Midilli	$RU = 1,00225 e^{-0,022015 t^{0,86297}} - 0,00108 t$	0,9993	0,0079
5	Lewis	$RU = e^{-0,0517603 t}$	0,9703	0,0621
	Page	$RU = e^{-0,0168341 t^{1,36638}}$	0,9915	0,0333
	H&P	$RU = 1,03859 e^{-0,0535916 t}$	0,9671	0,0654
	Midilli	$RU = 0,999946 e^{-0,038188 t^{0,9828}} - 0,004472 t$	0,9998	0,0046

Tabela 3 - Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (S) na secagem da alfavaca. (continua 2/4)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	R^2_{adj}	S
6	Lewis	$RU = e^{-0,0413742 t}$	0,9353	0,9353
	Page	$RU = e^{-0,007528 t^{1,2491}}$	0,9911	0,0340
	H&P	$RU = 1,07429e^{-0,0442398 t}$	0,9337	0,0929
	Midilli	$RU = 0,999369e^{-0,01222 t^{1,2660}} - 0,003792 t$	0,9998	0,0051
7	Lewis	$RU = e^{-0,0401328t}$	0,9458	0,0854
	Page	$RU = e^{-0,00688062t^{1,55017}}$	0,9948	0,0265
	H&P	$RU = 1,07047e^{-0,0430175 t}$	0,9446	0,0864
	Midilli	$RU = 1,00015e^{-0,01060 t^{1,35217}} - 0,002155 t$	0,9991	0,0110
8	Lewis	$RU = e^{-0,0335847t}$	0,9925	0,0287
	Page	$RU = e^{-0,0245399t^{1,0917}}$	0,9940	0,0255
	H&P	$RU = 1,0155e^{-0,0341707 t}$	0,9919	0,0297
	Midilli	$RU = 1,00177e^{-0,037621 t^{0,92755}} - 0,001045 t$	0,9963	0,0202
9-1	Lewis	$RU = e^{-0,0306111t}$	0,9787	0,0489
	Page	$RU = e^{-0,0136515t^{1,22877}}$	0,9916	0,0307
	H&P	$RU = 1,04772e^{-0,0322165 t}$	0,9800	0,0475
	Midilli	$RU = 1,00108 e^{-0,025204 t^{0,97472}} - 0,00217 t$	0,9994	0,0084
9-2	Lewis	$RU = e^{-0,0289419t}$	0,9576	0,0680
	Page	$RU = e^{-0,011689t^{1,25587}}$	0,9717	0,0556
	H&P	$RU = 1,04337e^{-0,0303912t}$	0,9559	0,0694
	Midilli	$RU = 1,0001 e^{-0,0605204t^{0,39394}} - 0,0103616t$	0,9976	0,0162

Tabela 3 - Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (S) na secagem da alfavaca. (continua 3/4)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	R^2_{adj}	S
9-3	Lewis	$RU = e^{-0,0303565t}$	0,9774	0,0508
	Page	$RU = e^{-0,0130281t^{1,23959}}$	0,9909	0,0322
	H&P	$RU = 1,04727e^{-0,0319421 t}$	0,9784	0,0497
	Midilli	$RU = 0,99519e^{-0,01989t^{1,06362}} - 0,0014142 t$	0,9959	0,0217
9-4	Lewis	$RU = e^{-0,0284615t}$	0,9657	0,0618
	Page	$RU = e^{-0,0100399t^{1,29439}}$	0,9859	0,0396
	H&P	$RU = 1,05493e^{-0,0302773 t}$	0,9670	0,0606
	Midilli	$RU = 0,9991e^{-0,0219359 t^{0,931425}} - 0,004071 t$	0,9992	0,0097
9-5	Lewis	$RU = e^{-0,0272856t}$	0,9703	0,0596
	Page	$RU = e^{-0,00873566t^{1,31125}}$	0,9919	0,0311
	H&P	$RU = 1,06584e^{-0,0292286 t}$	0,9737	0,0561
	Midilli	$RU = 0,99499e^{-0,0140912t^{1,11863}} - 0,001429 t$	0,9984	0,0140
10	Lewis	$RU = e^{-0,006713t}$	0,9819	0,0368
	Page	$RU = e^{-0,00906355t^{0,9418950}}$	0,9828	0,0359
	H&P	$RU = 0,950579e^{-0,00635146t}$	0,9857	0,0327
	Midilli	$RU = 1,0084e^{-0,0311123t^{0,62153}} - 0,0007116 t$	0,9996	0,0055
11	Lewis	$RU = e^{-0,0591497t}$	0,9850	0,0416
	Page	$RU = e^{-0,0286792t^{1,24923}}$	0,9938	0,0267
	H&P	$RU = 1,0201e^{-0,0602819 t}$	0,9828	0,0445
	Midilli	$RU = 0,9993e^{-0,0498282t^{0,999571}} - 0,002560 t$	0,9982	0,0144

Tabela 3 - Modelos ajustados, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (S) na secagem da alfavaca. (continuação 4/4)

Tratamento	Modelo	Equação ajustada	R^2_{adj}	S
12	Lewis	$RU = e^{-0,0357875t}$	0,9841	0,0415
	Page	$RU = e^{-0,0288996t^{1,13881}}$	0,9873	0,0370
	H&P	$RU = 1,01751e^{-0,0457429 t}$	0,9824	0,0437
	Midilli	$RU = 0,999915e^{-0,0725297t^{0,721}} - 0,00462 t$	0,9997	0,0055
13	Lewis	$RU = e^{-0,0272856t}$	0,9789	0,0475
	Page	$RU = e^{-0,00873566t^{1,31125}}$	0,9870	0,9870
	H&P	$RU = 1,03036e^{-0,03702 t}$	0,9870	0,9870
	Midilli	$RU = 0,99958e^{-0,0414636t^{0,82876}} - 0,004210 t$	0,9989	0,0109
14	Lewis	$RU = e^{-0,0315363t}$	0,9901	0,0324
	Page	$RU = e^{-0,0263115t^{1,05005}}$	0,9900	0,0326
	H&P	$RU = 1,00316e^{-0,0316433 t}$	0,9737	0,0561
	Midilli	$RU = 0,99987e^{-0,0447614t^{0,83509}} - 0,001650 t$	0,9969	0,0183
15	Lewis	$RU = e^{-0,0303551t}$	0,9694	0,0584
	Page	$RU = e^{-0,0107454t^{1,29107}}$	0,9864	0,0390
	H&P	$RU = 1,04469e^{-0,0317427 t}$	0,9689	0,0589
	Midilli	$RU = 0,99706e^{-0,0227488t^{0,98925}} - 0,002513 t$	0,9965	0,0199

Analisando os coeficientes de determinação na tabela 3, observa-se que os modelos de Lewis e H&P apresentaram os menos valores do R_{adj}^2 chegando a 0,9353 e 0,9337, no tratamento 1 (DCCR), respectivamente, enquanto, o modelo de Midilli explicou, para todos os tratamentos, mais de 99 % da variação no processo de secagem, com os maiores coeficientes de determinação ajustado ($R_{adj}^2 > 0,99$), e os menores valores para o erro padrão da regressão ($S < 0,02$), em todas as condições. Portanto, para o presente estudo, dentre os modelos testados, o de Midilli foi o que melhor descreveu a cinética de secagem de *Ocimum gratissimum*.

Estudos conduzidos por Souza et al. (2015), Gasparin (2016) e Borges et al. (2019), ao avaliarem a cinética secagem de folhas de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), folhas de hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) e folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf), respectivamente, também optaram pelo modelo de Midilli para descrever a cinética de secagem desses produtos.

Para a otimização do processo de secagem, é importante que se analise o comportamento do produto e para isso são realizadas simulações com modelos matemáticos que exemplificam de forma satisfatória a perda da água do produto em função do tempo (GONELI et al., 2014).

5.3 Tempo de secagem

Para estimar o tempo de secagem da alfavaca para os tratamentos, considerou-se o tempo no qual a razão de umidade atingiu o valor de equilíbrio, ou seja, razão de umidade igual a zero. Uma vez escolhido o modelo de Midilli, tem-se uma equação não linear.

$$a e^{-kt^n} + bt = 0 \quad \text{Equação 8}$$

Para a solução dessa equação foi utilizado o método de Newton com 8 casas decimais. Somando o resultado aos tempos das intermitências de cada tratamento, foram obtidos os tempos totais de cada tratamento (t_s), apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Tempos de secagem das folhas de alfavaca nas diferentes condições de cada tratamento.

Tratamento	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo de descanso (min)	Tempo de inserção (min)	Tempo de secagem (min)
1	48	10	12	120,07
2	48	10	18	160,60
3	48	25	12	162,16
4	48	25	18	183,98
5	72	10	12	54,89
6	72	10	18	58,95
7	72	25	12	76,64
8	72	25	18	97,80
9.1	60	18	15	96,48
9.2	60	18	15	87,91
9.3	60	18	15	99,79
9.4	60	18	15	91,68
9.5	60	18	15	104,92
10	40	18	15	412,68
11	80	18	15	61,96
12	60	5	15	61,87
13	60	30	15	94,27
14	60	18	10	113,80
15	60	18	20	94,06

Pode ser observado na Tabela 4, quando se considera o tempo total de secagem (tempo de secagem efetiva + tempo de descanso), o tratamento de maior temperatura (80°C) acarretou em um tempo maior que dois dos tratamentos a 72°C. Isso ocorreu porque esses dois tratamentos tiveram um de tempo de descanso menor que o tratamento a 80°C.

Isto, se deve principalmente ao fato de que a elevação da temperatura aumenta a difusividade efetiva no processo de secagem, ou seja, a velocidade com que o vapor de água é transferido no interior dos capilares das folhas, além de reduzir a umidade relativa do ar, fazendo com que este eleve sua capacidade de receber o vapor d'água, o que permite que a água migre para o ar ambiente a uma taxa maior, conseqüentemente, reduza o tempo de secagem.

Tarafdar et al. (2021) também observaram aumento da difusividade da umidade efetiva e do coeficiente de transferência de massa com o aumento da temperatura, na

secagem de Moringa oleífera.

A relação entre os valores do coeficiente de difusividade efetiva e a temperatura do ar de secagem é satisfatoriamente descrita pela equação de Arrhenius. Portanto, espera-se que o tempo de secagem diminua exponencialmente com a temperatura de secagem. Assim, optou-se por ajustar um modelo de decaimento exponencial para levar em conta o efeito da temperatura somado com contribuições lineares das variáveis tempo de inserção do descanso e tempo para inserção do descanso, conforme equação:

$$\hat{t}_s = y_0 + a \cdot e^{-b T_{sec}} + c t_d + d t_{id} \quad \text{Equação 9}$$

- \hat{t}_{sec} : Estimativa do tempo de secagem, min;
- x_1 : Temperatura do ar de secagem, °C;
- x_2 : Tempo de descanso, min;
- x_3 : Tempo para inserção do descanso, min;

O parâmetro d foi não significativo ($p > 0,05$), indicando que essa variável não possui efeito significativo sobre o tempo de secagem. Após a eliminação desse parâmetro, chegou-se ao seguinte modelo para o tempo de secagem, o qual apresentou um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9712:

$$\hat{t}_{sec} = 76,9173 + 10,9929 \cdot e^{-2,0291 t_{sec}} + 13,2217 t_d$$

A partir da equação ajustada, conclui-se que o tempo total de secagem diminui com o aumento da temperatura e aumenta com o aumento do tempo de descanso. Contudo, como as estimativas fora da região circular mostrada na Figura 6, a seguir, estariam fora da região experimental avaliada pelo DCCR, tais estimativas seriam extrapolações.

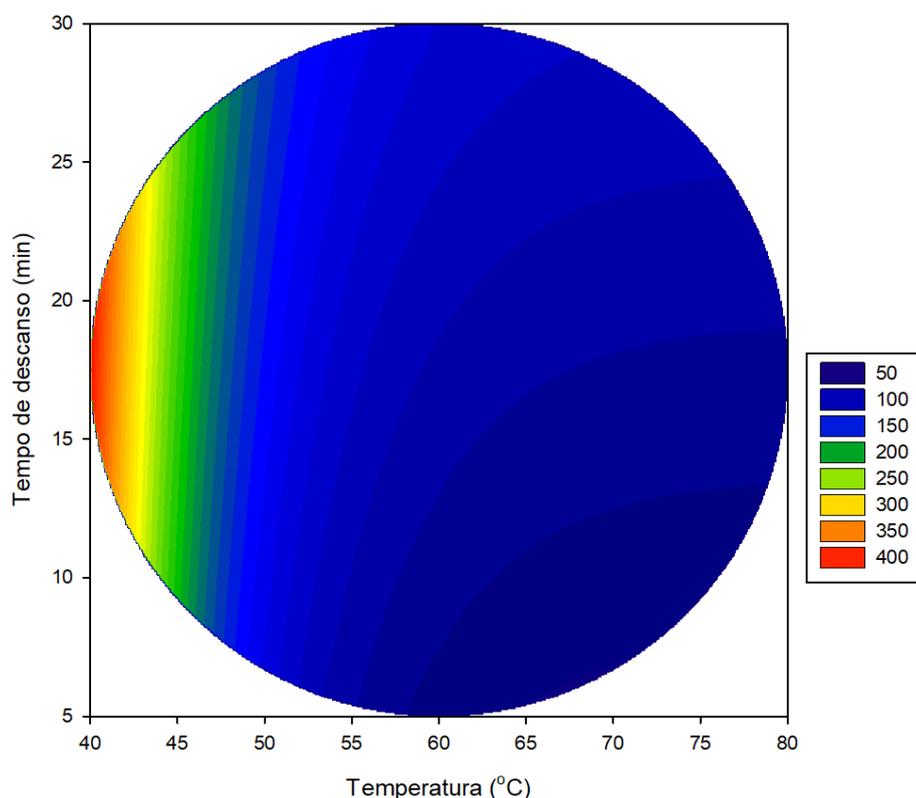


Figura 6 – Gráfico de gradiente do tempo de secagem em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de descanso.

A Figura 6 descreve a variável tempo em função da temperatura e do tempo de descanso. Podem ser observadas regiões com coloração vermelha, onde se tem maiores valores de tempo de secagem, em temperaturas mais baixas, à medida que se aproxima de 40 °C, combinadas com tempos de descanso na faixa de 15 a 20 min. Aumentando-se a temperatura até cerca de 50 oC, nota-se um rápido decréscimo do tempo de secagem sendo que até essa faixa o tempo de descanso tem pouco efeito sobre o tempo total de secagem. Aumentando-se a temperatura além dessa faixa, a taxa de redução no tempo de secagem não é mais tão intensa quanto na faixa anterior e o efeito do tempo de descanso sobre o tempo total de secagem fica cada vez mais importante.

De acordo com Tavares e seus colaboradores (2019), a redução do tempo médio de secagem é importante ao considerar um processo em escala industrial, uma vez que, quanto menor o tempo de secagem, menor o gasto energético e, conseqüentemente, o custo de produção. Logo, essa redução pode refletir positivamente no valor final do produto que será ofertado ao consumidor.

Entretanto, embora o aumento de temperatura reduza o tempo de secagem, sabe-se que tanto uma condição térmica elevada quanto a exposição excessiva ao

calor podem degradar componentes termos-sensíveis e voláteis, influenciando diretamente no rendimento dos óleos. Desta forma, investigou-se o rendimento de óleo essencial em cada tratamento, almejando estabelecer, de fato, a melhor condição otimizada de secagem de folhas de alfavaca.

Dentro da região experimental, o valor mínimo previsto para o tempo de secagem foi 59,36 min, o qual, ocorreu na temperatura de 68 °C e tempo de descanso igual a 6,05 min. Já o tempo de secagem máximo foi estimado em 410,48 min, o qual, ocorreu na 17,5 min.

1.1 Rendimento do óleo essencial

Na tabela 5, podem ser observados os valores referentes ao rendimento de óleo essencial em função da temperatura do ar de secagem, tempo de descanso e tempo de inserção.

Tabela 5 – Rendimento de óleo essencial proveniente das folhas de alfavaca nas diferentes condições de cada tratamento

Tratamento	Temperatura do ar de secagem (°C)	Tempo de descanso (min)	Tempo de inserção (min)	Rendimento de óleo essencial (%)
1	48	10	12	0,2744
2	48	10	18	0,197
3	48	25	12	0,1708
4	48	25	18	0,1886
5	72	10	12	0,1316
6	72	10	18	0,1264
7	72	25	12	0,1086
8	72	25	18	0,1024
9.1	60	18	15	0,4508
9.2	60	18	15	0,5002
9.3	60	18	15	0,4252
9.4	60	18	15	0,5322
9.5	60	18	15	0,4764
10	40	18	15	0,3366
11	80	18	15	0,0642
12	60	5	15	0,2298
13	60	30	15	0,1906
14	60	18	10	0,005
15	60	18	20	0,1206

Os fatores Tempo de secagem, Tempo de inserção e Rendimento de óleo essencial, descritos na Tabela 5, apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre a variável rendimento de óleo. Dessa forma, o modelo ajustado descrito na Equação 10, a seguir, é adequado para explicar o comportamento dessa variável, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9478.

$$\hat{R} = 0,477 - 0,0602 x_1 - 0,0931 x_1^2 - 0,0168 x_2 - 0,0902 x_2^2 - 0,1427 x_3^2 \quad \text{Equação 10}$$

Analisando a tabela 5, pode se verificar que os maiores valores de rendimento de óleo essencial foram encontrados nos tratamentos referentes ao ponto central do DCCR. À medida que se elevou a temperatura estes valores reduziram, como pode ser observado nos tratamentos 5, 6, 7 e 8, com temperatura do ar de secagem a 72°C e no tratamento 11, a 80 °C. Isto, se devo ao fato que óleos essenciais são substâncias sensíveis ao calor, portanto o aumento da temperatura do ar de secagem pode volatilizar estes compostos, resultando em menor rendimento extrativo (EBADI et al., 2015; AHMED et al., 2018).

Wang e colaboradores (2021), relataram que amostras de cardamomo negro secas a 55 °C resultaram em maior teor de óleo, já os tratamentos com temperaturas mais altas, 85 ° C e 100 ° C, resultaram em baixo rendimento de óleo.

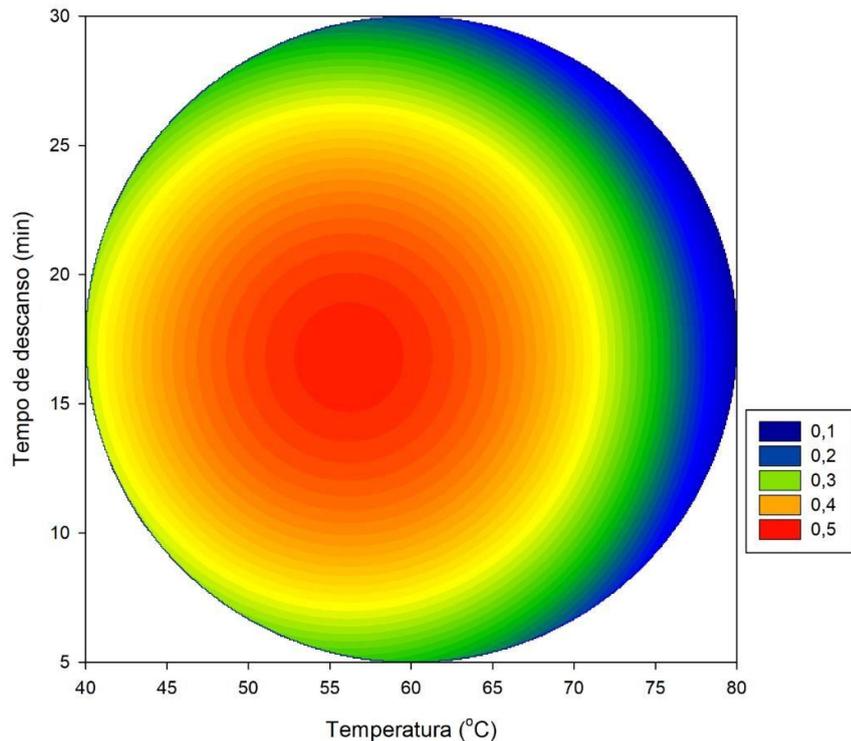


Figura 7 - Rendimento versus temperatura e tempo de descanso para tempo de inserção igual a 15 min.

Como pode ser visto na Figura 7, tanto a temperatura quanto o tempo de descanso, influenciaram o rendimento do óleo essencial, sendo que a temperatura interferiu de modo mais intenso. Valores medianos de temperatura, na região de 45 a 65 °C, associados a valores de tempo de descanso em cerca de 15 a 20 min, apresentaram melhores resultados.

Souza e colaboradores (2020) também verificaram redução no rendimento do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* com o aumento da temperatura em ensaios de secagem com emprego de intermitências, obtendo rendimentos na faixa de 1,2 a 1,6 % a 50°C, e de 0,2 a 0,6 % a 70 °C. Outro estudo, para esta mesma espécie, investigou a influência de quatro temperaturas do ar de secagem (30, 40, 50 e 60 °C) e não foi relatada diferença significativa no rendimento do óleo essencial extraído das folhas secas nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C. No entanto, uma redução de 48% no teor de óleo essencial foi relatado a 60 °C, o que indica perda de componentes voláteis após a secagem nesta temperatura (Santana et al., 2014).

Ademais, na Figura 7, pode ser observado que os tempos de descanso afetaram o rendimento de modo que ainda em temperaturas medianas já é possível observar queda nos valores da variável resposta. Por outro lado, os maiores valores de

rendimento de extração de óleo, podem ser vistos nas áreas centrais, com tempo de descanso estimado de 15 a 20 min, havendo decréscimo à medida que se distancia dessas regiões.

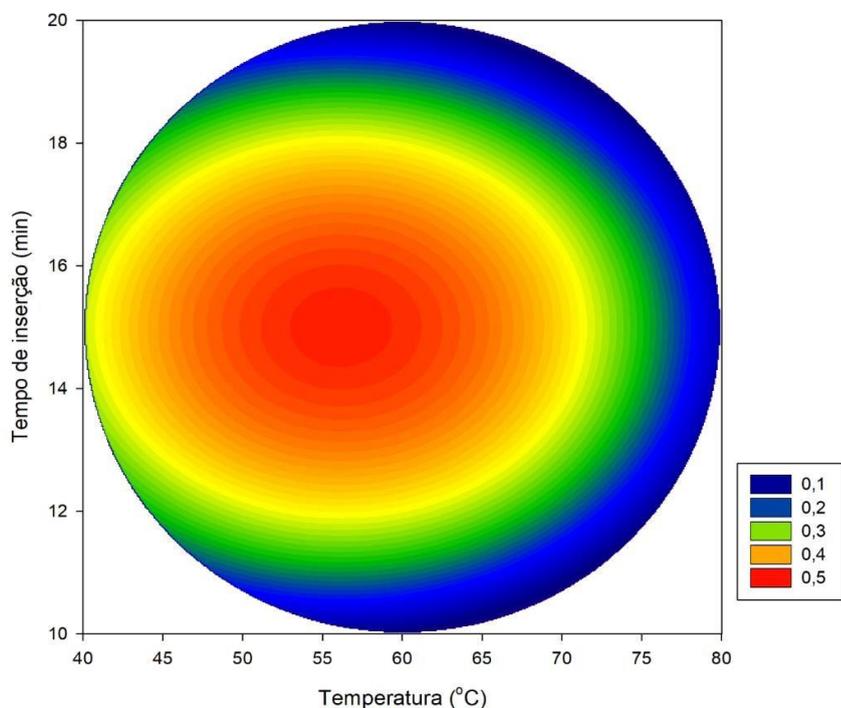


Figura 8 – Rendimento de extração do óleo essencial em função da temperatura do ar de secagem e tempo de descanso ao fixar o tempo de inserção em 17,5 min.

Na Figura 8, verifica-se que o tempo de inserção de descanso teve influência considerável nos valores da variável resposta, assim como a temperatura. Porém, em temperaturas próximas dos limites inferiores, o rendimento não foi tão reduzido como ocorreu no tempo de inserção, que apresentou regiões azuis próximas nas regiões extremas, isto é, com menores valores de rendimento de óleo.

Posto isto, os melhores resultados para esta variável resposta, se deram na região central do gráfico, em vermelho, com tempo de inserção na faixa 14 a 16 min, associado a temperaturas entre 50 a 65 °C.

Em estudo que avaliou a influência do emprego de intermitência no processo de secagem de *Ocimum gratissimum* a 50, 60 e 70 ° C, e empregando três relações de intermitência, foi verificado maiores rendimentos de extração de óleo essencial em secagem contínua a 50 °C e com ciclos de intermitência de 10/20 min a 60 °C (SOUZA et al. 2020).

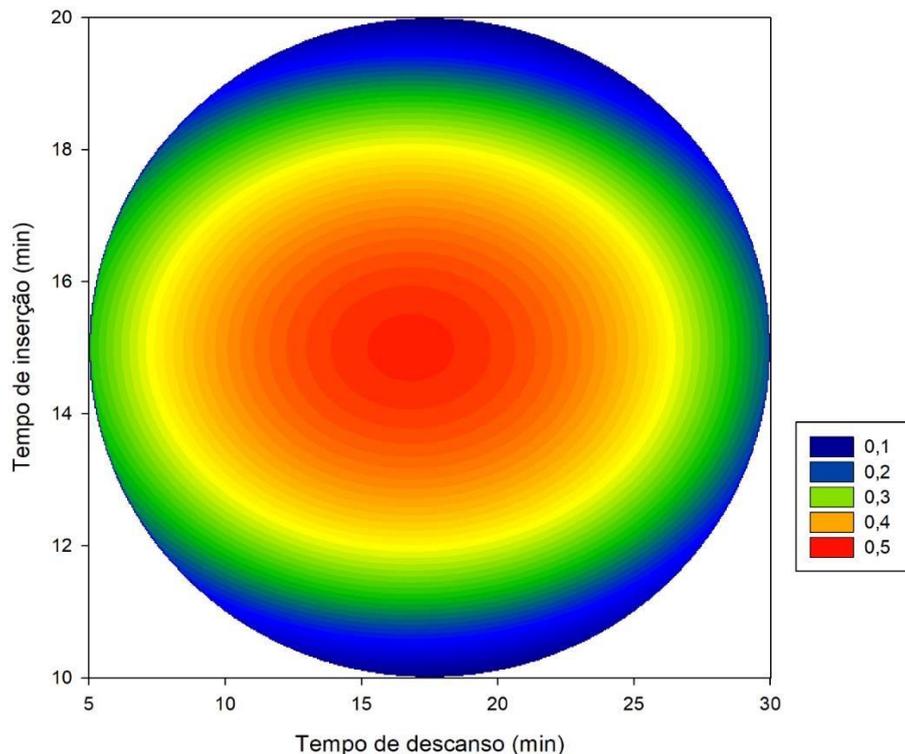


Figura 9 – Rendimento de extração do óleo essencial em função do tempo de descanso e tempo de inserção ao fixar a temperatura do ar de secagem em 60°C.

A figura 9 compara os efeitos das variáveis tempo de inserção e tempo de descanso e pode se notar o efeito relevante de ambas o sobre rendimento de óleo. No entanto, observa-se que o tempo de inserção apresentou efeito mais intenso nas regiões próximas aos limites inferior e superior, coloração azul próximos a 10 e 20 min, o que indica queda expressiva no rendimento de óleo. Já para o tempo de descanso, os maiores valores de rendimento também se encontraram na área central entre pouco menos de 15 a 20 min.

De modo preciso, dentro da região experimental, o valor mínimo previsto para o rendimento foi 0,0315%, o qual ocorreu na temperatura de 66,03 °C, tempo de descanso igual a 19,6 min e tempo de inserção igual a 19,84 min. Já o rendimento máximo foi estimado em 0,4874%, o qual ocorreu na temperatura de 55,87 °C, tempo de descanso igual a 16,90 min e tempo de inserção igual a 14,9 min.

5.5 Otimização das variáveis temperatura do ar de secagem, tempo de descanso e tempo de inserção pela função desejabilidade

Após estimados os valores de desejabilidade individual, as Equações 5 e 6, foram utilizadas para maximização e minimização das variáveis resposta, respectivamente.

Para a variável resposta tempo de secagem, que se deseja minimizar, o valor alvo (T) considerado foi o valor mínimo estimado pelos modelos ajustados dentro da região experimental avaliada. O limite superior admissível (U) foi o valor máximo estimado dentro dos mesmos intervalos.

Para a variável resposta rendimento de óleo, que se desejam maximizar, o valor alvo (T) considerado foi o valor máximo estimado pelos modelos ajustados dentro da região experimental avaliada. O limite inferior admissível (L) foi o valor mínimo estimado dentro do mesmo intervalo.

As figuras 10, 11 e 12, relacionam as variáveis permitindo a visualização das regiões ótimas, ou seja, o conjunto de respostas mais satisfatório.

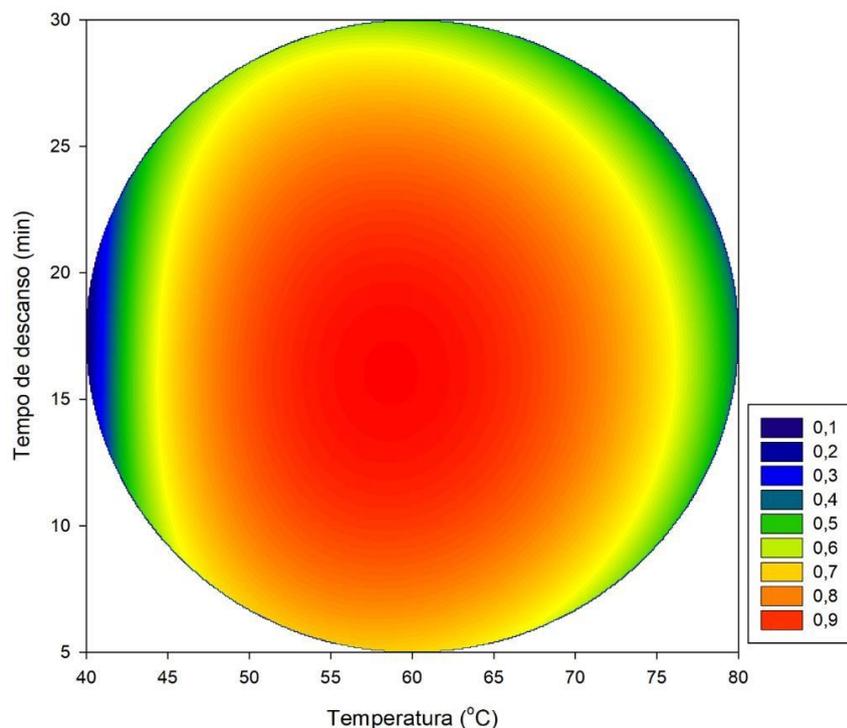


Figura 10 - Desejabilidade versus temperatura e tempo de descanso para tempo de inserção igual a 14,92 min.

De acordo com a Figura 10, para a variável temperatura do ar de secagem, os menores valores de desejabilidade se deram próximos a 40 °C, região azul, o que sinaliza que temperaturas abaixo de 50 °C, não seriam adequadas no processo. Porém, temperaturas altas também levam a diminuição da desejabilidade. Desse modo, o intervalo de temperatura de 50 a 70 °C foi o que apresentou maiores valores de desejabilidade.

O tempo de descanso exerceu menor influência na desejabilidade, quando se relaciona à temperatura. Verifica-se que valores elevados desta variável diminuem a desejabilidade (regiões verdes). Porém, nos valores próximos a 5 min, também há diminuição da desejabilidade, só que de forma amena (regiões amarelas). Portanto, o intervalo aproximado de 10 a 25 min, consiste no mais favorável para aumento da desejabilidade.

Apesar do efeito ter sido menor, é possível observar o comportamento bastante semelhante, recomendando, portanto, valores intermediários de tempo de descanso combinados a valores intermediários de temperatura.

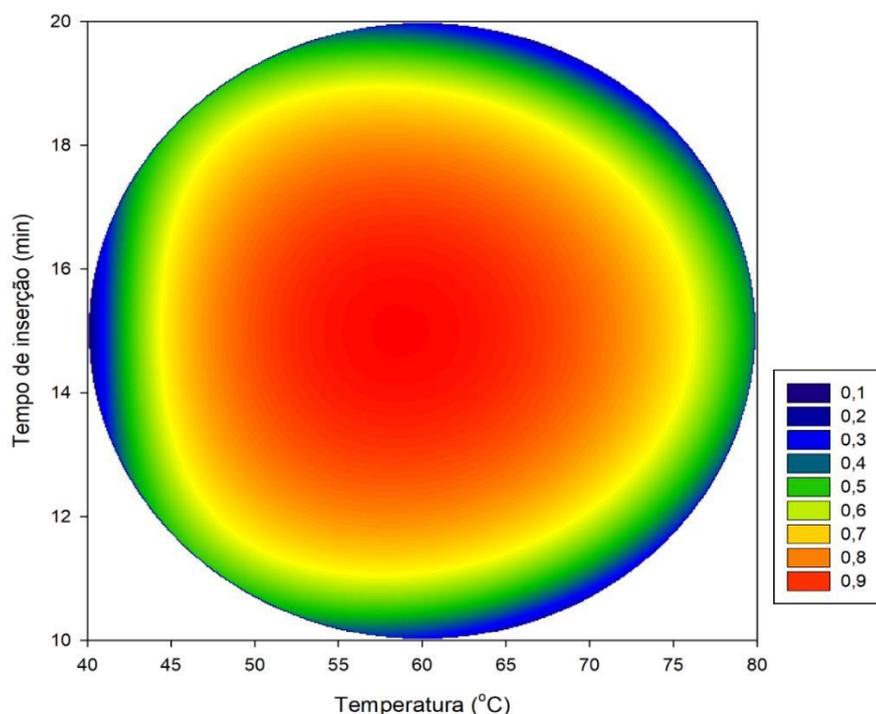


Figura 11 – Desejabilidade versus temperatura e tempo de inserção para tempo de descanso igual a 16,11 min.

Na figura 11, pode ser observado que a desejabilidade é reduzida consideravelmente em valores de temperatura próximos a 40 °C, região azul do gráfico. Também há uma redução, porém menor, quando se eleva a partir de 65 °C, região verde. Já a variável tempo de inserção tanto as regiões próximas aos limites inferiores, quanto os superiores, reduziram a desejabilidade.

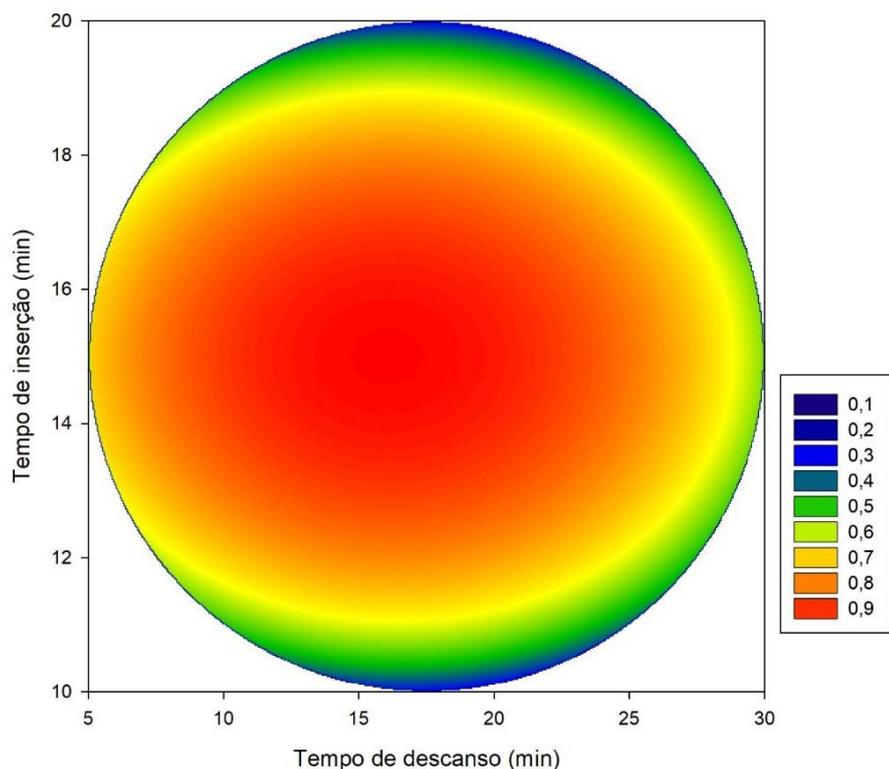


Figura 12 – Desejabilidade versus tempo de descanso e tempo de inserção para temperatura igual a 58,4 °C.

De acordo com a figura 12, a variável tempo de inserção, apresenta maior influência sobre a desejabilidade, se comparada ao tempo de descanso. É possível observar regiões azuis nos extremos superior e inferior. Enquanto o tempo de descanso, à medida que se aproxima dos limites inferiores e superiores, pode se notar regiões de coloração verde e amarela, que sinaliza uma redução mais suave da desejabilidade.

Desse modo, recomenda-se para a variável tempo de inserção valores no intervalo aproximado de 12 a 18 min, associados a valores próximos de 10 a 25 min para o tempo de descanso, para se obter valores mais altos de desejabilidade.

De acordo com os valores limites escolhidos, foi definida a condição de maior desejabilidade, com valor de 0,9528, a qual ocorreu na temperatura de 58,4 °C, tempo de descanso igual a 16,11 min e tempo de inserção igual a 14,92 min. Sendo este o conjunto de respostas mais satisfatório, onde se estabelece um ponto ótimo do processamento, dentro da região estudada. Nessa condição, o valor estimado para o tempo de secagem foi de 88,86 min e para o rendimento de extração do óleo essencial foi de 0,4833 %.

Cagliari (2017) utilizou a função desejabilidade para avaliar a secagem de folhas de oliveira em temperaturas distintas buscando um menor tempo de secagem, e concluiu que o cenário ótimo de secagem se deu com a temperatura do ar em 54,4°C, valor próximo ao encontrado neste estudo.

Portanto, a aplicação da função desejabilidade permitiu se obter a correta estimativa do ponto ótimo de operação para as variáveis: temperatura do ar de secagem, tempo de descanso, e tempo de inserção.

Além disso, o Delineamento Composto Central Rotacional e a metodologia de superfície de resposta, se mostraram ferramentas úteis, pois permitiram a verificação das influências das variáveis do processo de secagem de *Ocimum gratissimum* L. de forma sistemática e a determinação da melhor condição operacional.

Com o emprego da função desejabilidade, foi possível obter os pontos ótimos de cada variável no processo de secagem. Sendo a temperatura do ar de secagem, 58,4 °C, o tempo de descanso igual a 16,11 min e o tempo de inserção do descanso igual a 14,92 min. Nessa conjuntura, o valor estimado para o tempo de secagem é de 88,86 min e o rendimento de extração do óleo essencial é de 0,4833.

5. CONCLUSÃO

O modelo mais adequado para descrever o processo de secagem de *Ocimum gratissimum*, em todos os tratamentos, foi o de Midilli.

O tempo de secagem foi influenciado significativamente pelas variáveis temperatura do ar de secagem e tempo de inserção, não havendo influência significativa da variável tempo para inserção do descanso. Assim sendo, é viável trabalhar com períodos de descanso associados a temperaturas apropriadas para encurtar o tempo gasto no processo de secagem.

O rendimento de óleo essencial foi influenciado significativamente pelas variáveis temperatura do ar de secagem, tempo de descanso e tempo de inserção do descanso. Portanto, diante do potencial destas variáveis, considera-se viável o emprego da intermitência, bem como os ajustes da temperatura e do tempo para inserção do descanso, para o maior rendimento no processo extrativo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHEFLAN: *Cordia verbenacea* DC. Responsável técnico Dr. Wilson R. Farias. São Paulo: Aché Laboratórios Farmacêuticos S. A., 2014. Bula de remédio.

AHMED, A.; AYOUB, K.; CHAIMA, A. J.; HANAA, L.; ABDELAZIZ, C. Effect of drying methods on yield, chemical composition and bioactivities of essential oil obtained from Moroccan *Mentha pulegium* L. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 16, p. 638-643, 2018.

AMADO L.R., SILVA K.D.S., MAURO M.A. Drying of mangoes (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) at changeable temperature conditions—Effects on energy consumption and quality of the dehydrated fruit. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. e13615, 2021.

ARGYROPOULOS, D.; MÜLLER, J. Changes of essential oil content and composition during convective drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 118-124, 2014.

BADKE, M.R.; BUDÓ, M.L.D.; RESSEL, L.B.; DA SILVA, F.M. Plantas medicinais: o saber sustentado na prática do cotidiano popular. **Esc Anna Nery**, v.15, n. 1, p.132-139, 2011.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils—a review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BAUDET, L.M.L.; VILLELA, F.A.; CAVARIANI, C. Princípios de secagem. **Seed News**, Pelotas-RS, n.10, p.20-27, 1999.

BIASSI, L. A.; DESCHAMPS, C. Plantas Aromáticas do cultivo à produção de óleo essencial, Curitiba: Layer Studio Gráfico e Editora Ltda, 2009.

BOIJINK, C. L.; QUEIROZ, C. A.; CHAGAS, E. C.; CHAVES, F. C. M.; INOUE, L. A. K. A. Anesthetic and anthelmintic effects of clove basil (*Ocimum gratissimum*) essential oil for tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture**, v. 457, p. 24-28, 2016.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; CARDOSO, M. G.; ALVES, J. A.; LUCENA, E. M. P. Determinação de óleos essenciais de Alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.) e tomilho (*Thymus vulgaris* L.). **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 14, n. 4, p. 656-665, 2012.

BORGES, F. F., ROCHA, R. P., SANTI, A., SMANIOTTO, T. A. S., ABREU, A. B. G. efeito da secagem sobre o rendimento de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). **Global Science and Technology**, v.12, n. 3, p. 1-19, 2019.

BORSATO, A. V.; DONI-FILHO, L.; CÔCCO, L. C.; PAGLIA, E. C. Rendimento e composição química do óleo essencial da camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert] extraído por arraste de vapor d'água, em escala comercial. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 129-136, 2008.

BRASIL, 2008. Portaria Interministerial nº 2.960, de 9 de dezembro de 2008. **Aprova o Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos e cria o Comitê**

Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos. Diário Oficial da União; Brasília, 9 de dezembro de 2008.

BRASIL, 2012. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Práticas integrativas e complementares: plantas medicinais e fitoterapia na Atenção Básica/Ministério da Saúde.** Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. – Brasília : Ministério da Saúde, 2012.

BRASIL, 2014. Portal da Saúde. **Plantas de interesse ao SUS (RENISUS)** Disponível em: < <http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2020/maio/07/renisus.pdf>>. Acesso em 10 maio, 2021.

Brasil, 2021. Ministério da Saúde (MS). Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Política nacional de práticas integrativas e complementares no SUS: PNPIC-SUS 2006.** [acessado 2021 Jun 10]. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/npic.pdf>

BRASIL. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Farmacopeia Brasileira. 5ª Ed. Brasília, 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portal da Saúde: Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos. 2009 a. Disponível em:< https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_programa_nacional_plantas_medicinais_fitoterapicos.pdf> Acesso em: fev. 2021

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, p. 223-253, 2004.

CALIXTO, J.B. Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phytoterapeutic agents). **Braz J Med Biol Res**, v. 33, p. 179-189, 2000.

CARVALHO, L. M.; COSTA, J. A. M.; CARNELOSSI, M. A. G. **Qualidade em plantas medicinais.** Embrapa Tabuleiros Costeiros, **2010.**

CARVALHO, L. M.; COSTA, J. A. M.; CARNELOSSI, M. A. G. **Qualidade em plantas medicinais.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 54., 2010.

CARVALHO, V. A. F. Secador de plantas medicinais com uso de biogás. 2013. 73 f. Monografia. Especialização em energias renováveis com ênfase em biogás, Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu-PR, 2013.

CHAKRABORTY, R.; DEY, T. Drying Protocols for Traditional Medicinal Herbs: A Critical Review. **International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences**, v. 4, n. 4, p. 312-319, 2016.

CHOU, S. K.; CHUA, K. J.; MUNJUMDAR, A. S.; HAWLADER, M. N. A.; HO, J.C. On the Intermittent Drying of an Agricultural Product. **Institution of Chemical Engineers**, v. 78, n. 4, p. 193-203, 2000.

CHUA, K.J., MUJUMDAR, A.S., CHOU, S.K.. Intermittent drying of bioproducts - An overview. **Bioresour. Technol.**, v. 90, p. 285–295., 2003.

CONCEIÇÃO, G.M.; RUGGIER, A.C.; ARAUJO, M.F.V.; CONCEIÇÃO, T.T.M.M.; CONCEIÇÃO, M.A.M.M. Plantas do cerrado: comercialização, uso e indicação

terapêutica fornecida pelos raizeiros e vendedores, Teresina, Piauí. **Scientia Plena**, v.7, n.12, 2011.

CORRÊA JUNIOR, C.; SCHEFFER, M. C. Boas práticas agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. Curitiba: EMATERPR, 2009.

CRUZ, M. J. F.; BEZERRA, S. B. B. Obtenção do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L para desenvolvimento de cosmético de limpeza facial. **Diálogos Acadêmicos**, Fortaleza, v. 6, n. 2, 2017.

CUNHA, MA et al. Anesthesia os silver catfish with eugenol: time of induction, cortisol response and sensory analisys of fillet. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2017-2114, 2010.

DE PASQUALE, A. Pharmacognosy: oldest modern science. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 11, p. 1-6, 1984.

DE SOUZA R.A., MELO, E.C., DE AVILA, M.B.R., GONZAGA, D.A., SPEROTTO, N.C.Z, CARNEIRO, A. P. S. Intermittent drying of clove basil leaves: Process optimization and essential oil yield][Secagem intermitente de folhas de manjerição cravo: Otimização do processo e rendimento de óleo essencial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 209-215, 2020

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, p. 214-219, 1980.

EBADI, M. T.; AZIZI, M.; SEFIDKON, F.; AHMADI, N. Influence of different drying methods on drying period, essential oil content and composition of *Lippia citriodora* Kunth. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 2, p. 182- 187, 2015.

EBRAHIMIFAR J., JAMSHIDNIA A., SADEGHI R. EBADOLLAHI A. Repellency of *Ferulago angulata* (Schlecht.) Boiss essential oil on two major stored-product insect pests without effect on wheat germination. **International Journal of Tropical Insect Science**, Tehran, Iran, v. 41, p. 217 – 223, march 2021.

Elangovan E., Natarajan S. Experimental study on drying kinetics of ivy gourd using solar dryer. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 13714, 2021.

ESTURK, O. Intermittent and continuous microwave-convective air-drying characteristics of sage (*Salvia officinalis*) leaves. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 5, p. 1664-1673, 2012.

EVIN, D. Thin layer drying of *Gundelia tournefortii* L. **Food and Bioproducts processing**, v.90, n.2, p.323-332, 2012.

F.C., SOUSA, J.J.A., MARTINSA, P.T., ROCHA, J.P., GOMES, T., PESSOA, J.N., MARTINS. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. **Rev. bras. plantas med**, v. 17, 2015.

FALLEH, H., JEMAA, M.B., NEVES M.A., ISODA H., NAKAJIMA M., KSOURI R. Formulation, physicochemical characterization, and anti- *E. coli* activity of food-grade

nanoemulsions incorporating clove, cinnamon, and lavender essential oils. **Food Chemistry**, Borj Cédria, Tunisia, v. 359, n. 129963, 2021. No prelo.

FRANCO, A. L. P.; OLIVEIRA, T. B.; FERRI, P. H.; BARA, M. T. F. PAULA, J. R. Avaliação da composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Aloysia gratissima* (Gillies & Hook) Tronc. (Alfazema), *Ocimum gratissimum* L. (Alfavaca-cravo) e *Curcuma longa* L. (Açafrão). **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 4, n. 2, p. 208-220, 2007.

GAIROLA, K., GURURANI, S., KUMAR R., PRAKASH O., AGRAWAL S., DUBEY S.K. Trends in **Phytochemical Research**, Pantnagar, India, v. 5, p. 44 – 52, Winter 2021.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2016.

GOBBO-NETO, L; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374, 2007.

GOMES, B., OGELIO H., BRANT F., PEREIRA-PINTO C.J., WORKMAN M.J., COSTA M., K LIMA J.B.P., MARTINS A.J., RAMALHO-ORTIGAO M., DURVASULA R., HURWITZ I., DAVID M.R. High larvicidal efficacy of yeast-encapsulated orange oil against *Aedes aegypti* strains from Brazil. **Parasites and Vectors**, Rio de Janeiro v. 14, n. 272, 2021. No prelo.

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, supl. 1, p. 434- 443, 2014.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. do C.; VILHASANTI, H. da C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014b.

GOVERNICI, J. L. **Influência da temperatura do ar de secagem e da fragmentação dos frutos no rendimento de óleo essencial de pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi)**. 2019. 29 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Departamento de Engenharia Agrícola, Univerisdade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2019.

HAMROUNI-SELLAMI, I.; RAHALI, F. Z.; REBEY, I. B.; BOURGOU, S.; LIMAM, F.; MARZOUK, B. Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) plants as affected by different drying methods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 3, p. 806-817, 2013.

HAMROUNI-SELLAMI, I.; RAHALI, F. Z.; REBEY, I. B.; BOURGOU, S.; LIMAM, F.; MARZOUK, B. Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) plants as affected by different drying methods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 3, p. 806-817, 2013.

HARLEY, R. et al. 2015. Lamiaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v.66, n.4, p.1085-1113. 2015.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, n. 6, p. 169-174, 1961.

HOLOWATY, S. A.; RAMALLO, L. A.; SCHMALKO, M. E. Intermittent drying simulation in a deep bed dryer of yerba mate. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 110-114, 2012.

HONG, Z., TALIB K.M., MUJTABA K.G., DABIN H., YAHYA F., CONGYING Z., FUKAI W. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Sichuan, China., v. 8, n. 39, 2021. No prelo.

IBIAPINA, W.V.; LEITÃO, B.P.; BATISTA, M.M.; PINTO, D. S. Inserção da Fitoterapia na atenção primária aos usuários do SUS. **Rev. Ciência Saúde**, v. 12, p.58-68, 2014.

ILORI, M.O. et al. Antidiarrhoeal activities of *Ocimum gratissimum* (Lamiaceae). **Journal Of Diarrhoeal Diseases Research**, v.14, p.283-5, 1996.

JIROVETZ, L et al. Chemical composition and antioxidant properties of clove leaf essential oil. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 54, p. 6303-6307, 2006

KABUTO, H et al. Eugenol [2-methoxy-4-(2-propenyl)phenol] prevents 6-hydroxydopamine-induced dopamine depression and lipid peroxidation inductivity in mouse striatum. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, v. 30, p. 423-427, 2007.

KARAMI H., LORESTANI, A. N., TAHVILIAN R. Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy consumption, and percentage of thyme oil extracted in a hybrid solar-electric dryer. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 13588,

KARIMA, N.; JASUR, S.; SHAXNOZA, S. Storage biologically active substances by convection drying food and medicinal plants. **Journal of Food Processing and Technology**, v. 7, n. 7, p. 599, 2016.

KOWALSKI, S. J.; PAWŁOWSKI, A. Energy consumption and quality aspect by intermittent drying. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 50, n. 4, p. 384-390, 2011.

KPOVIESSI, B.G.H. K.; KPOVIESSI, S.D. S.; LADEKAN, E. Y.; GBAGUIRDI, F.; FRÉDÉRICH, M.; MOUDACHIROU, M.; QUETIN-LECLERQC, J.; ACCROMBESSI, G. C.; BERO, J., In vitro antitrypanosomal and antiplasmodial activities of crude extracts and essential oils of *Ocimum gratissimum* Linn from Benin and influence of vegetative stage, **J. Ethnopharmacol.**, v.155, p.1417–1423, 2014.

KUBECZKA, K. H. History and sources of essential oil research. In: BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. **Handbook of essential oils: Science, Technology and applications**. P. 3-38, 2010.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, p. 48–57, 2014.

LEAL, P. F.; CHAVES, F. C. M.; MING, L. C.; PETENATE, A. J.; MEIRELES, M. A. Global yields, chemical compositions and antioxidant activities of clove basil (*Ocimum*

gratissimum L.) extracts obtained by supercritical fluid extraction. **Journal of food process engineering**, v. 29, n. 5, p. 547-559, 2006.

LEMOS, J. DE A.; PASSOS, X. S.; FERNANDES, O. de F. L., DE PAULA, J. R., FERRI, P. H., SOUZA, L. K. H., LEMOS, A. de A., SILVA, M. R. R. Antifungal activity from *Ocimum gratissimum* L. towards *Cryptococcus neoformans*, **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v. 100, p.55-58, 2005.

LEWIS, L. W. The rate of drying of solid materials. **Industrial Engineering Chemistry**, v. 13, n. 1, p. 427, 1921.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: Nativas e exóticas**. 2 ed., Instituto Plantarum, Nova Odessa-SP, p. 544, 2008.

MADHU, K. D; HARINDRAN, J. Antiarthritic potential of *Ocimum gratissimum* L. in collagen induced arthritic Sprague-Dawle rats. **Biomedicine & Aging Pathology**, v. 4, n. 3, p. 191-196, 2014.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; CORRÊA, P. C.; SANTOS, R. H. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. **Revista brasileira de plantas medicinais**, p. 488-498, 2010.

MARTINS, F.P; NETO, J. C. B.; SILVA, A J O; SIQUEIRA, A. M. O. **The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC**, v. 06, n. 04, 2020.

MARTINS, J. R.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; SILVA, A. P. O.; ALVES, E. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. Santa Maria: **Ciência Rural**, v.39, n.1, p.82-87, 2009.

MATTANA, R.S.; MAIA E ALMEIDA, C.I.; OLIVEIRA, P.F.C.; LIMA, L.P., HABER, L.L., MING, L.C.; MARQUES, M.O.M. Efeitos de diferentes tempos de extração no teor e composição química do óleo essencial de folhas de pariparoba [*Pothomorphe umbellata* (L.) Miq.]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 1, p. 150-156, 2015.

MAUL, A. A.; WASICKY, R.; BACCHI, E. M. Extração por fluido supercrítico. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 5, n. 2, p. 185-200, 1996.

MCCABE, W. SMITH, J.; HARRIOT, P. Unit operations of chemical engineering. 5a ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1991. 1130 p.

MELO, E. C.; RADÜNZ, L. L.; MELO, R. C. A. Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais – Revisão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 307-315, 2004.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z.A. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MOHAMMADI, F. Effect of different levels of clove (*Syzygium aromaticum* L.) essential oil on growth performance and oxidative/nitrosative stress biomarkers in broilers under heat stress. **Tropical Animal Health and Production**, Kermanshah, Iran, v. 53 , n. 84, 2021. No prelo.

MORAIS, L.A.S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira* 27: S4050- S4063. **Hortic. bras.**, v. 27, n. 2, 2009.

MOREIRA, M.R. et al. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. **LWT- Food Science and Technology**, v.38, p.565-70, 2005.

MOSCON, E. S. **Cinética da secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade das sementes de quinoa**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MUJUMDAR, A. S.; DEVAHASTIN, S. Fundamental principles of drying. In: DEVAHASTIN, S. Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying. **Montreal: Exergex Corporation**, 2000. p. 1-22.

NAKAMURA, C.V.; ISHIDA, K.; FACCIN, L.C.; FILHO, B.P.; CORTEZ, D.A.; ROZENTAL, S; DE SOUZA, UEDA-NAKAMURA, T., In vitro activity of essential oil from *Ocimum gratissimum* L. against four *Candida* species, **Res. Microbiol.** v. 155, p. 579-586, 2004.

NGASSOUM, M. B.; ESSIA-NGANG, J. J.; TATSADJIEU, L. N.; JIROVETZ, L.; BUCHBAUER, G.; ADJOUJDI, O., Antimicrobial study of essential oils of *Ocimum gratissimum* leaves and *Zanthoxylum xanthoxyloides* fruits from Cameroon, **Fitoterapia**, v.74, p. 284–287, 2003.

NGUEFACK, J.; LETH, V.; AMVAM ZOLLO, P. H.; MATHUR, S. B., Evaluation of five essential oils from aromatic plants of Cameroon for controlling food spoilage and mycotoxin producing fungi, **Int. J. Food Microbiol.** v. 94, p 329-334, 2004.

NGUEMTCHOUIN, M. G. M.; NGASSOUM, M. B.; CHALIER, P.; KAMGA, R.; NGAMO, L. S. T.; CRETIN, M. O. *gratissimum* essential oil and modified montmorillonite clay, a means of controlling insect pests in stored products. **Journal of Stored Products Research**, n. 52, 57-62, 2013.

OGATA, M., HOSHI, M., URANO, S., & ENDO, T. Antioxidant activity of eugenol and related monomeric and dimeric compounds. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, v. 48, p. 1467-1469, 2000.

OGUNDIPE, D. J.; AKOMOLAFE, R. O.; SANUSI, A. A.; IMAFIDON, C. E.; OLUKIRAN, O. S.; OLADELE, A. A. Effects of two weeks administration of *Ocimum gratissimum* leaf on feeding pattern and markers of renal function in rats treated with gentamicin. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 219-231, 2016.

OKIGBO, R. N.; OKEKE, J. J.; MADU, N. C. Larvicidal effects of *Azadirachta indica*, *Ocimum gratissimum* and *Hyptis suaveolens* against mosquito larvae. **Journal of Agricultural Technology**, v. 6, n. 4, p. 703-719, 2010.

OLIVEIRA, L. B. S.; BATISTA, A. H. M.; FERNANDES, F. C.; SALES, G. W. P.; NOGUEIRA, N. A. P. Atividade antifúngica e possível mecanismo de ação do óleo essencial de folhas de *Ocimum gratissimum* (L.) sobre espécies de *Candida*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, p. 511-523, 2016.

OLIVEIRA, M.J.R., SIMÕES, M.J.S., SASSI, C.R.R. Fitoterapia no sistema de saúde pública (SUS) no Estado de São Paulo, Brasil. **Rev Bras PI Med**, v. 8, p. 39-41, 2006.

ORAFIDJYA, L.O.; AGBANI, E. O.; ABEREOJE, O. A.; AWE, T.; ABUDU, A.; FAYOKA, F. A., An investigation into the wound-healing properties of essential oil of *Ocimum gratissimum* linn, **J. Wound Care**, v.1, p. 331-334, 2003.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Unpublished M.S. Thesis, Purdue University, West Lafayette.

PANDEY, A. K.; SAVITA. Harvesting and post-harvest processing of medicinal plants: Problems and prospects. **The Pharma Innovation Journal**, v. 6, n.12, p. 229-235, 2017.

PATON, A. A synopsis of *Ocimum* L. (Labiatae) in Africa. **Kew Bulletin**, v. 47, n. 3, p. 403-435, 1992.

PAULA-FREIRE, L.I.; ANDERSEN, M. L.; MOLSKA, G.R.; KÖHN, D.O; CARLINI, E.L., Evaluation of the antinociceptive activity of *Ocimum gratissimum* L. (Lamiaceae) essential oil and its isolated active principles in mice, **Phytother Res**. v. 27, p. 1220-1224, 2013.

PEREIRA J.C.A., DA SILVA W.P., GOMES J.P., QUEIROZ A.J.M., DE FIGUEIREDO, R.M.F., DE MELO, B.A., SANTIAGO, A.M., DE LIMA, A. G. B., DE MACEDO, A.D.B. Continuous and intermittent drying of rough rice: effects on process effective time and effective mass diffusivity. **Agriculture** (Switzerland), v. 10. P 1-13, n. 282, 2020.

PEREIRA, C. A. M.; MAIA, J. F. **Estudo da atividade antioxidante e do óleo essencial obtidos das folhas de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.)**. Campinas: Departamento de tecnologia de alimentos, 2007.

PIMENTEL, F. A.; CARDOSO, M. G.; ZACARONI, L. M.; ANDRADE, M. A.; GUIMARÃES, L. G. L.; SALGADO, A. P. S.; FREIRE, J. M.; MUNIS, F. R.; MORAIS, A. R.; NELSON, D. L. Influência da temperatura de secagem sobre o rendimento e a composição química do óleo essencial de *Tanaecium nocturnum* (Barb. Rodr.) BUR. & K. SHUM, **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 523-526, 2008.

POÓS, T.; VARJU, E. Drying characteristics of medicinal plants. **International Review of Applied Sciences and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 83-91, 2017.

PRAKASH, B.; SHUKLA, R.; SINGH, P.; MISHRA, P. K.; DUBEY, N. K.; KHARWAR, R. N. Efficacy of chemically characterized *Ocimum gratissimum* L. essential oil as an antioxidant and a safe plant based antimicrobial against fungal and aflatoxin B1 contamination of spices. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 385-390, 2011

PRATES, M. F. O.; REIS, R. C.; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA JUNIOR, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.14, n.3, p.514-521, 2012.

PUTRANTO, A.; CHEN, X.D.; DEVAHASTIN, S.; XIAO, Z.; WEBLEY, P. A. Application of the reaction engineering approach (REA) for modeling intermittent drying under time-varying humidity and temperature. **Chemical Engineering Science**, v. 66, n. 10, p. 2149-2156, 2011.

RADÜNZ, L. L.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P.; BARBOSA, F. F.; SANTOS, R. H. S.; BERBET, P. A. Avaliação das curvas de secagem de guaco (*Mikania glomerata Spreng.*) em secador de bandejas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 2, p. 378-387, 2014.

ROCHA, R. P. **Avaliação do teor e da composição do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* e *Thymus vulgaris* submetidos a processos de secagem e armazenamento**. 2011. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

RODRIGUES, T. S.; GUIMARÃES, S. F.; RODRIGUES, R. G.; GABRIEL, J. V. Métodos de secagem e rendimento dos extratos de folhas de *Plectranthus barbatus* (boldo-da-terra) e *P. ornatus* (boldo-miúdo). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.13, especial, p. 587-590, 2011.

SAEIO, K.; CHAIYANA, W.; OKONOGLI, S. Antityrosinase and antioxidant activities of essential oils of edible Thai plants, **Drug Discov. Ther.** v. 5, p.144-149, 2011.

SANTANA, A. C. M.; PEREIRA, G. S.; BOAVENTURA, C. M.; UETENABARO, A. P. T.; COSTA, L. C. D. B.; DE OLIVEIRA, R. A. Rupture of glandular trichomes in *Ocimum gratissimum* leaves influences the content of essential oil during the drying method. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 24, n. 5, p. 524-530, 2014.

SARTORATTO, A. et al. Composition and antimicrobial activity of essential oils from aromatic plants used in Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.35, p.275-80, 2004.

SHAW, H. M.; WU, J. L.; WANG, M. S. Antihypertensive effects of *Ocimum gratissimum* extract: Angiotensin-converting enzyme inhibitor in vitro and in vivo investigation. **Journal of Functional Foods**, v. 35, p. 68-73, 2017.

SILVA, L. L. et al. Essential oil of *Ocimum gratissimum* L.: Anesthetic effects, mechanism of action and tolerance in silver catfish, *Rhamdia quelen*. **Aquaculture**, p. 350- 353, 2012.

SILVA, M. G. V.; CRAVEIRO, A. A.; MATOS, F. J. A.; MACHADO, M. I. L.; ALENCAR, J. W. Chemical variation during daytime of constituents of the essential oil of *Ocimum gratissimum* leaves. **Fitoterapia**. v. 70, n.1, p. 32-34, 1999.

SILVA-SANTOS, A.; ANTUNES, A. M. S.; BIZZO, H. R.; D'AVILA, L. A. **Rev. Bras. Pl. Med.**, v. 8, 2006.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. p. 1102, 2003.

SIQUEIRA, S. L.; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, R. A.; PLASTINO, P. J.; SENA, K. X. F. R.; ALBUQUERQUE, J. F. C. Atividade antimicrobiana de frutos-semente de ***Ocimum gratissimum*** (LAMIACEAE). In: Congresso Brasileiro de Química, 52, Recife, 2012. Resumos... Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

SOUZA, M. I. L. **Influência do pré-tratamento com ultrassom na quantidade e qualidade do óleo essencial de *Varronia curassavica* Jacq., *Lippia origanoides* Kunth. E *Ocimum gratissimum* L.** 2016. 70 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

TAKOUGNADI, E.; BOROZE, T. E. T.; AZOUMA, O. Y. Development of an intermittent drying process of onion. **Cogent Food & Agriculture**, v. 4, p. 1- 15, 2017.

TAO, R., SEDMAN, J., ISMAIL, A. Antimicrobial activity of various essential oils and their application in active packaging of frozen vegetable products. **Food Chemistry**, Québec, Canada, v. 360, n. 129956, 2021. No prelo.

TARAFDAR A., JOTHI N., KAUR B.P. Mathematical and artificial neural network modeling for vacuum drying kinetics of Moringa olifera leaves followed by determination of energy consumption and mass transfer parameters. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 24, 2021.

TAVARES, I. M. C.; CASTILHOS, M. B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. BRS Violeta (BRS Rúbea × IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, n. 15, p. 1-11, nov., 2019.

TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C. Quimiometria II: planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 338-350, 2006.

VALLINO, M., FACCIO, A., ZEPPA, G., DOLCI, P., CERUTTI, E., ZAQUINI, L., FAORO, F., BALESTRINI, R. Impact of drying temperature on tissue anatomy and cellular ultrastructure of different aromatic plant leaves. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, 2021.

VALLINO, M., FACCIO, A., ZEPPA, G., DOLCI, P., CERUTTI, E., ZAQUINI, L., FAORO, F., BALESTRINI, R. Impact of drying temperature on tissue anatomy and cellular ultrastructure of different aromatic plant leaves. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, 2021.

VÂNIA R. G. NASCIMENTO; JOÃO D. BIAGI; RAFAEL A. DE OLIVEIRA. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleífera. **Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas • Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 19, 2015.

VEIGA-JUNIOR, V.F.; MELLO, J.C.P. As monografias sobre plantas medicinais. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, p. 464-471, 2008.

VENUPRASAD, M. P.; KANDIKATTU, H. K.; RAZACK, S.; KHANUM, F. Phytochemical analysis of *Ocimum gratissimum* by LC-ESI-MS/MS and its antioxidant and anxiolytic effects. *South African Journal of Botany*, v. 92, p. 151-158, 2014.

VIEIRA, R. F.; GRAYER, R. J.; PATON, A.; SIMON, J. E. Genetic diversity of *Ocimum gratissimum* L. based on volatile oil constituents, flavonoids and RAPD markers. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 29, n. 3, p. 287- 304, 2001.

VILLELA, F. A.; PESKE, S.T. Tecnologia pós-colheita para arroz. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de arroz irrigado** Pelotas: UFPel, 1997. p. 351-412.

VOGT, T. Phenylpropanoid biosynthesis. **Molecular plant**, v. 3, n. 1, p. 2-20, 2010.

WACHTEL-GALOR, S.; BENZIE, F.F. Herbal Medicine: An Introduction to Its History, Usage, Regulation, Current Trends, and Research Needs. **Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects**, p. 1–9, 2011.

WANG J., LI Y., LU Q., HU Q., LIU P., YANG Y., LI G., XIE H., TANG H. Drying temperature affects essential oil yield and composition of black cardamom (*Amomum tsao-ko*). **Industrial Crops and Products**, v. 16815, 2021.

WENNERSTEN, R. Extraction of organic compounds. In: RYDBERG, J.; MUSIKAS, C.; CHOPPIN, G. R. **Principles and practices of solvent extraction**. p. 115-356, 1992.

YANG, Y.-W., LIU, Y., LIU, Y., DU, H.-Z., LIU, D.-H., HUANG, B.-S. Effect of different drying methods on drying characteristics, appearance and active components of *Belamcandae Rhizoma*. **Zhongguo Zhongyao Zazhi**, v. 46, p. 366-373, 2021

YANG, Y.-W., LIU, Y., LIU, Y., DU, H.-Z., LIU, D.-H., HUANG, B.-S. Effect of different drying methods on drying characteristics, appearance and active components of *Belamcandae Rhizoma*. **Zhongguo Zhongyao Zazhi**, v. 46, p. 366-373, 2021.

ZHAO, Y., YANG, Y., YE, M., WANG, K. B., FAN, L. M., SU, F.,W. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Origanum vulgare* against *Botrytis cinérea*. **Food Chemistry**, Yunnan, China, v. 365, N. 130506, 2021. No prelo.

SPEROTTO, N.C.Z.; DE AVILA M.B.R., DE SOUZA R.A., MELO E.D.C., GOVERNICI J.L.; GONZAGA D.A., FONSECA M.C.M., CARNEIRO A.P.D.S., DEMUNER A.J., PINHEIRO P.F., LISBOA C.F. Intermittent drying of *Lippia organoides* H.B.K. leaves and *Schinus terebinthifolius* **Raddi fruits**. **Industrial Crops and Products**, v. 161, n. 113152, 2021.

ZUIDERVEEN, G.H., BURKHART, E.P., LAMBERT, J.D. Influence of postharvest drying temperatures on alkaloid levels in goldenseal (*Hydrastis canadensis* L.). **HortScience**, v. 56, p. 242-243, 2021.