

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

**CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO
ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *Pereskia aculeata* Miller**

RENATA HENRIQUE HOSCHER

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
ABRIL - 2019**

CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *Pereskia aculeata* Miller

RENATA HENRIQUE HOSCHER
Engenheira Agrícola e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª Cristiane Bezerra da Silva

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
ABRIL -2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

H825c Hoscher, Renata Henrique
Cinética de secagem e composição química do óleo essencial de folhas de *Pereskia aculeata* Miller [recurso eletrônico] / Renata Henrique Hoscher. -- 2019.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: André Luís Duarte Goneli.
Coorientadora: Cristiane Bezerra da Silva.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. cor. 2. modelos matemáticos. 3. ora-pro-nóbis. 4. substâncias voláteis. I. Goneli, André Luís Duarte. II. Silva, Cristiane Bezerra Da. III. Título.

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

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


**CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE
FOLHAS DE *Pereskia aculeata* MILLER**

por


Renata Henrique Hoscher

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA


Aprovada em: 08/05/2019.



Prof. Dr. André Luis Duarte Goneli
UFGD



Prof. Dr. Euclésio Simionatto
UEMS



Profa. Dra. Raquel dos Santos Donatini
UFGD

“Cada adversidade carrega consigo a semente de um benefício maior ou equivalente”.

Napoleon Hill.

Dedico

À minha mãe, Evanir Henrique Hoscher, pelo amor inenarrável.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Plantas medicinais.....	4
2.2 <i>Pereskia aculeata</i>	5
2.3 Secagem	6
2.4 Cor	9
2.5 Óleos essenciais	9
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Cinética de secagem.....	13
3.1.1 Influência da temperatura.....	15
3.2 Efeito da secagem sobre a cor das folhas e composição química do óleo essencial	16
3.2.1 Cor.....	16
3.2.2 Obtenção e composição química do óleo essencial de <i>P. aculeata</i>	17
3.3 Análise estatística	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Cinética de secagem.....	21
4.2 Efeito do tratamento de secagem sobre a cor das folhas e composição química do óleo essencial	28
4.2.1 Cor das folhas de <i>P. aculeata</i>	28
4.2.2 Composição química do óleo essencial de <i>P. aculeata</i>	33
5 CONCLUSÕES	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXOS	49
ANEXO A – Série homóloga de n-alcanos (C ₈ -C ₃₂) utilizada para o cálculo do índice de retenção de Kovats.....	49
ANEXO B – Cromatogramas em CG-EM do óleo essencial de <i>P. aculeata</i> da planta fresca (A), e temperaturas de 40 (B), 50 (C), 60 (D) e 70 °C (E), na velocidade do ar de secagem de 0,4 m s ⁻¹	50
ANEXO C – Cromatogramas em CG-EM do óleo essencial de <i>P. aculeata</i> da planta fresca (A), e temperaturas de 40 (B), 50 (C), 60 (D) e 70 °C (E), na velocidade do ar de secagem de 0,8 m s ⁻¹	51

HOSCHER, Renata Henrique. **Cinética de secagem e composição química do óleo essencial de folhas de *Pereskia aculeata* Miller**. 2019. 51 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

RESUMO

As folhas de *Pereskia aculeata* são comumente utilizadas na produção de nutracêuticos e/ou alimentos funcionais. Normalmente, as folhas dessa espécie ao serem colhidas, apresentam alto teor de água, fator indesejável e que pode levar a degradação do produto. Neste sentido, visando a qualidade, é importante que o teor de água seja reduzido logo após a colheita do produto, portanto, a secagem se torna indispensável. Contudo, é imprescindível cuidados nessa etapa, uma vez que parte dos componentes químicos presentes nas folhas, como o óleo essencial são termossensíveis. Além dos cuidados relativos aos fatores que podem comprometer a composição química, como a temperatura e velocidade do ar, torna-se necessário verificar o comportamento do produto durante este processo. Assim, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a cinética de secagem de folhas de *P. aculeata*, e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, bem como verificar o efeito de diferentes condições de secagem sobre a cor das folhas e composição química do óleo essencial. As folhas foram submetidas a secagem em quatro temperaturas, 40, 50, 60 e 70 °C e duas velocidades do ar de secagem, 0,4 e 0,8 m s⁻¹, em delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições. Aos dados experimentais da secagem das folhas de *P. aculeata* foram ajustados diferentes modelos matemáticos tradicionalmente utilizados em trabalhos científicos para a descrição da cinética de secagem. Também se determinou a taxa de redução de água, o coeficiente de difusão efetivo e a energia de ativação. Após a secagem, foi realizado a avaliação da cor das folhas, pela leitura direta de refletância das coordenadas “L”, “a” e “b”. Também se realizou a extração do óleo essencial, por hidrodestilação, e posteriormente, feita a identificação e concentração das substâncias presentes e os dados foram submetidos a análise de componentes principais. De posse dos resultados, conclui-se que dentre os modelos analisados, o de Midilli é o único que apresentou ajuste satisfatório em todas as condições de secagem; a taxa de remoção de água e o coeficiente de difusão efetivo aumentaram com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Com o aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem, os valores das coordenadas “L” diminuíram, indicando que houve tendência ao escurecimento das folhas, já para a coordenada “a”, seus valores aumentaram, apontando que as folhas perderam a cor característica inicial, e exibem tendência ao escurecimento, e para a coordenada “b”, os valores diminuíram, sinalizando que a coloração das folhas fica mais escura. Além disso, o incremento de temperatura do ar de secagem, ocasionou maior efeito sob a cor das folhas, implicando em uma maior diferença de cor entre as folhas secas e as folhas da planta fresca. O processo de secagem influenciou na concentração das substâncias presentes no óleo essencial de *P. aculeata*. A secagem nas condições de 40 e 50 °C em ambas as velocidades do ar de secagem, foram as que propiciaram maiores porcentagens de concentrações das substâncias identificadas.

Palavras-chave: cor; modelos matemáticos; ora-pro-nóbis; substâncias voláteis.

HOSCHER, Renata Henrique. **Kinetics of drying and chemical composition of essential oil of leaves of *Pereskia aculeata* Miller**. 2019. 51 p. Dissertation (Master's degree in Agricultural Engineering) – Federal University of Grande Dourados, Dourados.

ABSTRACT

Pereskia aculeata leaves are commonly used in the production of nutraceuticals and/or functional foods. Normally, the leaves of this species when harvested, present high moisture content, which is an undesirable factor and that can lead to degradation of the product. In this sense, aiming at the post-harvest quality, it is important that the moisture content is reduced shortly after the product is harvested, therefore, drying becomes indispensable. However, in this step care is imperative, since some of the chemical components present in the leaves, such as the essential oil, are thermosensitive. In addition to the care related to factors that may compromise the chemical composition, such as temperature and air velocity, it is necessary to verify the behavior of the product during this process. The objective of this work was to evaluate the drying kinetics of *P. aculeata* leaves and to adjust mathematical models to the experimental data, as well as to verify the effect of different drying conditions on leaf color and chemical composition of the essential oils. The leaves were dried at four temperatures, 40, 50, 60 and 70 °C and two drying air speeds, 0.4 and 0.8 m s⁻¹, in a completely randomized design with two repetitions. The experimental data on the drying of *P. aculeata* leaves were adjusted with different mathematical models traditionally used in scientific studies to describe drying kinetics. The rate of water reduction, the effective diffusion coefficient, the activation energy were also determined. After drying, the color of the leaves was evaluated by the direct reading of reflectance in coordinates of "L", "a" and "b". The extraction of the essential oils were also carried out by hydrodistillation, and afterwards, the identification and concentration of the substances present were made and the data were submitted to an principal component analysis. With the results, it was concluded that among the analyzed models, the Midilli was the only one that presents satisfactory adjustment in all the drying conditions; the water removal rate and the effective diffusion coefficient increase with increasing temperature and drying air velocity. With increasing temperature and drying air velocity, the values of the "L" coordinates decrease, indicating that there was a tendency to blacken the leaves, now for the "a" coordinate, their values increased, indicating that the leaves lost their characteristic color initial, and exhibit tendency to dark, and for the coordinate "b", the values decrease, signifying that the coloration of the leaves become darker. In addition, the increase in temperature of the drying air caused a greater effect under the color of the leaves, implying a greater color difference between the dry leaves and the leaves of the fresh plant. The drying process influenced the concentration of the substances present in the essential oil of *P. aculeata*. Drying at the 40 and 50 °C conditions at both drying air velocities provided the highest percentages of concentrations of the identified substances.

Keywords: color; mathematical models; ora-pro-nóbis; volatile substances.

1 INTRODUÇÃO

As plantas medicinais são consideradas recursos elementares acessíveis no tratamento de doenças em todo o mundo. Sua utilização na cura de enfermidades e na medicina alternativa é tão antiga quanto a espécie humana. Apresentam baixo custo e são de fácil acesso, concomitantemente, grande parte dos medicamentos desenvolvidos e comercializados na indústria farmacêutica são oriundos dos princípios ativos presentes em plantas medicinais.

Segundo Atanasov et al. (2015) as indústrias de medicamentos de origem vegetal e fitoterápicos estão ampliando os investimentos e esforços para a realização de pesquisas científicas que evidenciem a ação de produtos naturais no tratamento de determinadas patologias. Nesse sentido, a demanda pelo estudo e uso de plantas medicinais e demais práticas integrativas e complementares no Brasil é crescente, o que tornam as pesquisas acadêmicas nessa área interessante do ponto de vista mercadológico, assim como da saúde pública.

Esse evidente crescimento resultou na criação pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), de uma rígida regulamentação denominada Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (Decreto 5.813/06), com a finalidade de padronizar o cultivo, manejo, produção, distribuição e o uso, além de incentivar pesquisas científicas e estudos técnicos voltados para plantas medicinais (BRASIL, 2006).

As folhas de *Pereskia aculeata* Miller (ora-pro-nóbis) além de serem consideradas como parte de uma planta medicinal, utilizadas principalmente como anti-inflamatório e cicatrizante, são consideradas hortaliça não convencional, pertencente à família das cactáceas, tornando-se importante para a diversificação alimentar, bem como uma alternativa acessível da população ao consumo com qualidade nutricional, pois, possuem em sua composição, elementos essenciais indispensáveis (GUIMARÃES, 2015). É uma planta tropical, faz parte da flora brasileira nativa, podendo ser encontrada no Brasil desde a Bahia até o Rio Grande do Sul. Seu cultivo é favorável devido a suas características agrônômicas, pois é uma planta rústica, vigorosa e que se propaga facilmente (TOFANELLI; RESENDE, 2011).

Como uma hortaliça não convencional, a *P. aculeata* também se destaca por suas qualidades nutricionais, que são essenciais para o bom desenvolvimento do organismo, auxiliando no combate à desnutrição, possuindo grande potencial na suplementação alimentar de qualidade. Suas folhas secas ou *in natura* compõe os mais diversos pratos, principalmente na culinária mineira (ANDRADE, 2012).

Dispondo de óleos essenciais, as folhas de *P. aculeata* possuem inúmeras classes de metabólitos secundários, que são importantes para a indústria farmacêutica, nutricional e

cosmética, sendo necessários estudos direcionados a ação farmacológica desta espécie (SILVA et al., 2017a). Dentre os principais constituintes do óleo essencial de folhas de *P. aculeata*, a classe dos sesquiterpenos oxigenados representa 44,92%. Nas substâncias presentes estão: acorona (30,0%), (Z,Z)-metil-4,6-hexadecadieno (16,34%), 1-nonadeceno-ol (6,18%) e (5E,9E)-acetona farnesil (5,70%) (SOUZA et al., 2016a).

Na produção de nutracêuticos e/ou alimentos funcionais provenientes da *P. aculeata*, geralmente utiliza-se as folhas, e estas normalmente apresentam alto teor de água, ocasionando aumento das atividades metabólicas e das mudanças químicas e físicas que ocorrem no produto durante o armazenamento, fator esse que pode levar a degradação do produto, afetando a qualidade dos seus constituintes, gerando perdas e consequentemente prejuízos financeiros.

Nesse sentido, visando a qualidade pós-colheita, incluindo a durabilidade dos compostos, é importante que o produto tenha seu teor de água reduzido logo após a colheita.

A secagem, portanto, é uma das etapas fundamentais da pós-colheita, sendo diretamente ligada à qualidade das plantas medicinais, e como cada produto tem suas peculiaridades, é necessário o desenvolvimento de técnicas de secagem, que proporcionem melhor rendimento e qualidade final. Ademais, o excesso de aquecimento, velocidade do ar de secagem, umidade inicial e final, podem contribuir com as perdas qualitativas do produto.

Durante a remoção de água do produto, é fundamental a simulação e obtenção de informações teóricas a respeito de seu comportamento, pois estes dados auxiliam no desenvolvimento ou aperfeiçoamento de equipamentos utilizados na secagem. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que represente satisfatoriamente a perda de água do produto durante o processo de secagem.

Além disso, é importante avaliar o efeito do processo de secagem sobre a cor das folhas, pois esta característica é atribuída ao controle de qualidade, uma vez que as alterações na cor implicam na perda da qualidade comercial. Desta forma, a secagem e o armazenamento, quando mal executados, são os principais responsáveis pela alteração da coloração do produto.

Contudo, outro questionamento na secagem e no armazenamento de plantas medicinais é a questão da sensibilidade do princípio biologicamente ativo (óleos essenciais, carotenoides, compostos fenólicos, flavonoides, entres outros) e sua preservação no produto final (GASPARIN et al., 2017). Portanto a sensibilidade térmica dos componentes ativos é o fator limitante do processo de secagem (ARGYROPOULOS; MÜLLER, 2014).

Ainda que o aumento da temperatura ocasione um maior gasto energético, a relação custo benefício para a indústria é compensada pela vantagem de conseguir realizar a secagem

em um menor tempo, desde que não interfira na qualidade do produto. Em virtude disso, seca-se mais produtos por unidade de tempo, possibilitando fornecimento constante de matéria-prima.

Visto que o processo de secagem pode interferir no princípio biologicamente ativo das plantas medicinais, torna-se necessário maior conhecimento sobre as propriedades químicas e seus principais componentes biologicamente ativos, a fim de garantir a autenticidade e integridade da matéria prima.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a cinética de secagem de folhas de *P. aculeata*, e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, bem como verificar o efeito de diferentes condições de secagem sobre a cor das folhas e composição química do óleo essencial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Plantas medicinais

O poder curativo dos vegetais é conhecido desde a antiguidade e as plantas vêm sendo constantemente utilizadas pela indústria farmacêutica para a produção de medicamentos e pela população brasileira para o tratamento e/ou prevenção de diversas doenças (BRASIL, 2016).

A maioria do conhecimento a respeito de tratamentos com plantas provém do conhecimento popular. Apesar da evolução do conhecimento científico, a utilização de métodos alternativos de cura pelo uso das plantas ainda é muito frequente, fato ocorrido principalmente devido ao alto custo dos medicamentos sintéticos e a facilidade de obtenção das mesmas (SILVA; OLIVEIRA, 2018).

O tratamento caracterizado pela utilização de medicamentos cujos princípios ativos são as plantas medicinais, em suas diversas preparações é denominado fitoterapia, constituindo uma modalidade de terapia integrativa e complementar diante das necessidades de saúde (OLIVEIRA et al., 2018). No Brasil, os medicamentos fitoterápicos são regulamentados como medicamentos convencionais, e para tanto devem apresentar um rígido controle de qualidade, segurança e eficácia comprovados pela ANVISA (BRASIL, 2014).

Apesar das plantas medicinais já fazerem parte da cultura popular, nas últimas décadas o interesse pela fitoterapia teve um aumento considerável entre usuários, pesquisadores e servidores de saúde. A Organização Mundial da Saúde (OMS) mostra que 80% da população dos países em desenvolvimento utilizam práticas tradicionais nos seus cuidados básicos de saúde e 85% usam plantas medicinais ou preparações destas (SOUZA et al., 2013).

No Brasil foram implementadas a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF) e a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC), que incrementam a discussão sobre a importância, dificuldades, facilidades e vantagens da implementação da fitoterapia nos serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (SUS) (BRASIL, 2015).

Além destas duas políticas, a relação nacional de plantas medicinais de interesse ao SUS (RENISUS) apresenta uma lista com 71 espécies vegetais com potencial para gerar fitoterápicos, e, atualmente, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 26/2014 divide os produtos derivados de plantas em duas categorias, sendo a primeira sobre os medicamentos fitoterápicos que devem apresentar segurança e eficácia através de ensaios clínicos e, por

segundo, os produtos tradicionais fitoterápicos que poderão ser registrados através da comprovação da tradicionalidade de uso (BRASIL, 2009; BRASIL, 2014).

2.2 *Pereskia aculeata*

Pereskia aculeata é uma espécie pertencente à ordem Caryophyllales e família das cactáceas, nativa das regiões dos trópicos, considerada como uma planta rústica e de fácil adaptação (PINTO; SCIO, 2014). É conhecida popularmente como ora-pro-nóbis, que significa rogai por nós em latim. Supõe-se que esse nome tenha surgido porque as pessoas colhiam a planta no quintal de um padre, enquanto este rezava o “rogai por nós” (CAMPOS et al., 2017).

A planta pode atingir 10 metros de altura e apresenta caule fino, com ramos longos sublenhosos ou lenhosos, com muitos espinhos, nos quais se inserem folhas lisas, largas, suculentas, de cor verde escuro (TOFANELLI; RESENDE, 2011). No final dos ramos, podem surgir flores brancas com miolo alaranjado, perfumadas e contendo muito pólen e néctar, dessa forma atraem as abelhas, as quais têm um papel fundamental na flora. Ademais, as flores podem ser consumidas, apresentando um sabor adocicado. A *P. aculeata* possui taxa de crescimento moderado e caracteriza-se por um desenvolvimento vegetativo durante o ano inteiro (VARGAS et al., 2017).

As folhas de *P. aculeata* apresentam um teor de água de aproximadamente 88% (b.u.), são ricas em mucilagem e proteínas, podendo conter em sua matéria seca, 25% desse nutriente. Ademais, contém na matéria seca, 3,8% de fibras totais, 14,81% de cinzas e um alto teor de fibra dietética solúvel (5,2%). Sua concentração de lipídios encontra-se em torno de 5,07%, possuem β -caroteno, vitamina C e ácido fólico em concentrações de 0,04 mg/g, 1,85 mg/g e 19,3 mg/g, respectivamente (TAKEITI et al., 2009).

As folhas de *P. aculeata* possuem potencial alimentício e medicinal. Na alimentação, suas folhas enriquecem a refeição, pois contêm nutrientes importantes, como carboidratos, lisina, cálcio, fósforo, magnésio, ferro, cobre e, principalmente, proteínas (TOFANELLI; RESENDE, 2011). É uma boa opção em preparações como farinhas, saladas, sopas, omeletes, refogados e tortas (ALMEIDA et al., 2014).

Segundo Santos et al. (2018), os produtos derivados da *P. aculeata* atuam como alimentos funcionais e/ou nutracêutico, e auxiliam na suplementação alimentar, contribuindo principalmente com o combate à desnutrição infantil.

Embora tenham um alto potencial de utilização, seu uso é restrito a determinadas localidades ou regiões, exercendo grande influência na alimentação e na cultura de populações

tradicionais. Possui importância no âmbito socioeconômico, reflexo do seu valor como tradição cultural, constituindo-se como atrativo turístico e atributo de novidade na gastronomia, em cidades como Sabará - MG, com o Festival da ora-pro-nóbis, tornando um prato típico na gastronomia mineira (SOUZA et al., 2016b).

Além da função nutricional, a *P. aculeata* também é considerada uma planta medicinal, associada principalmente ao tratamento de anemia, câncer, cicatrização, osteoporose e à constipação intestinal (ALMEIDA; CORRÊA, 2012). Assim como, apresentam vantagem no abrandamento dos processos inflamatórios e na recuperação da pele, em casos de queimaduras. As folhas não apresentam relatos de toxicidade e são usadas comumente como emolientes, e os frutos como expectorante e antissifilítico (SARTOR et al., 2010). Outrossim, os produtos originados desta espécie podem ser utilizados como fitocosméticos, antioxidantes, antianêmico e anti-inflamatório (SANTOS et al., 2018).

A *P. aculeata* contém compostos biologicamente ativos como flavonoides, taninos (PINTO et al. 2012) α -caroteno, β -caroteno, luteína, α -criptoxantina, β -criptoxantina, estigmasterol, sitosterol (AGOSTINI-COSTA et al. 2012), ácido oxálico, nitrato, saponinas, compostos fenólicos e inibidor de tripsina (ALMEIDA et al., 2014). Destacando a importância aos compostos fenólicos e os flavonoides, cujas ações antioxidantes, eliminando radicais livres, os tornam potenciais protetores contra cânceres e doenças do coração (DINIZ, 2013).

Segundo Souza et al. (2016a) as folhas de *P. aculeata* contém 0,02% (em base seca) de óleo essencial de cor amarelo pálido. Foram identificados 24 compostos, representando 91,03% do total do óleo, em que 44,92% são sesquiterpenos oxigenados, sendo as principais substâncias: o acorona (30,0%), (Z, Z) -metil-4,6-hexadecadieno (16,34%), 1-nonadeceno-ol (6,18%) e (5 E, 9 E) acetona -farnesil (5,70%).

Embora não existam informações nas farmacopeias e monografias de fitoterapias sobre a espécie *P. aculeata*, esta possui potencial na medicina popular, como ação anti-inflamatória, cicatrizante, regenerativa, além de auxiliar no combate da anemia.

2.3 Secagem

Na pós-colheita de produtos medicinais, a secagem aparece como uma operação unitária indispensável para a cadeia produtiva, visto que indústrias farmacêuticas de fitoterápicos não possuem estrutura para usar plantas frescas nas quantidades exigidas para a produção industrial e necessitam que as mesmas fiquem armazenadas por um determinado período de tempo

(SOUSA et al., 2018). Além disso, as folhas de plantas medicinais apresentam alto teor de água, devendo ser submetida a secagem para assegurar a sua qualidade e estabilidade.

A finalidade da secagem é reduzir o teor de água até níveis seguros, que possibilitem estabilidade durante o armazenamento, reduzindo então a atividade de água, e consequentemente contribuindo para a inibição das atividades enzimáticas e microbianas (HORUZ et al., 2018). O processo de secagem possui algumas vantagens, entre elas, estão a redução de perdas pós-colheita, e o armazenamento seguro, conservando o produto por um determinado período de tempo, garantindo que tenha matéria-prima disponível em qualquer época do ano.

A secagem de plantas medicinais pode ser realizada pelo método natural ou artificial. O método natural consiste na secagem pelo sol ou a sombra, apresenta menores custos, porém possui algumas desvantagens, como não ser capaz de mover uma grande quantidade de água e consequentemente não alcançar o padrão estável de qualidade, da mesma forma que se perde muito tempo durante o processo. Já na secagem artificial, utiliza-se menor tempo para o processo, tornando-o mais eficiente (MASHKANIA et al., 2018).

Por outro lado, alguns produtos são extremamente sensíveis ao processo de secagem, pois este processo pode causar degradação do produto, como oxidação, descoloração, encolhimento ou perda de massa e alterar o valor nutricional, bem como os seus componentes químicos e as propriedades do óleo (GÜMÜŞAY et al., 2015). Em se tratando de plantas medicinais no qual tenham presença de óleos essenciais, a secagem tem influência direta sobre os componentes sensíveis (GASPARIN et al., 2017).

Portanto, os efeitos positivos e negativos do processo de secagem dependem das condições, como temperatura, velocidade do ar, tempo, ambiente e uso de equipamentos específicos (OZDEMIR et al., 2018). Por isso é de fundamental importância o conhecimento da sensibilidade do princípio ativo das plantas medicinais e a adequação das condições de secagem à sua qualidade no produto final.

Na indústria de alimentos e fármacos, a técnica da secagem convencional, também conhecida como secagem por convecção de ar quente, é amplamente adotada (KARAM et al., 2016). Esse processo é complexo, envolvendo a transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser seco, no qual o aumento da temperatura provoca o aumento da pressão parcial de vapor no produto, provocando a redução no teor de água (GONELI et al., 2014a). Para que ocorra secagem, é necessário que a pressão parcial de vapor d'água em sua superfície seja maior do que a pressão parcial de vapor do ar de secagem (BORÉM et al., 2014).

Durante o processo de secagem, a modelagem matemática e o conhecimento experimental dos produtos durante a remoção de água são aspectos importantes, pois essas informações são utilizadas para melhorar ou projetar novos sistemas de secagem, e até mesmo ter melhor controle sobre o processo (DOYMAZ, 2017). Com as informações contidas nas curvas de secagem, pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos e, assim, estimar o gasto energético, que refletirá no custo de processamento e, por sua vez, influenciará no preço final do produto. No dimensionamento de equipamentos, pode-se determinar as condições de operação para secagem e, com isto, a seleção de trocadores de calor, ventiladores e outros (VILELA; ARTUR, 2008).

Entre os modelos usados para descrever o comportamento de secagem em camada fina de produtos agrícolas, estão os de base teórica, empírica e semiempírica. O modelo semiempírico é o mais aplicado, pois sugere uma relação entre a teoria e a aplicação, advindos da teoria da difusão líquida com base na lei de Fick e na teoria de resfriamento de Newton (TORKI-HERCHAGANI et al., 2016).

De acordo com Castro et al. (2018), os modelos teóricos levam em consideração a transferência de calor e massa interna, juntamente com as condições externas nas quais o processo ocorre, levando em conta as propriedades físicas do material. Já os modelos empíricos constituem uma relação direta entre a umidade e o tempo de secagem. São mais simples e de fácil aplicação, pois negligenciam os fundamentos do processo de secagem e, portanto, seus parâmetros não têm significado físico (ERTEKIN; FIRAT, 2015).

Dentre os diferentes índices usados para avaliar a cinética de secagem dos produtos agrícolas, o coeficiente de difusão é um dos mais importantes. Esse índice possibilita avaliar e comparar a velocidade de secagem de produtos com tamanhos e formas diferentes. Além disso, por meio de análise da dependência do coeficiente de difusão com a temperatura, é possível determinar algumas propriedades termodinâmicas que possibilitam avaliar energeticamente o processo de secagem (BOTELHO et al., 2015).

O coeficiente de difusão engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água no produto. Seu valor é obtido pelo ajuste de valores experimentais, e variam com a espessura do material e as condições externas de secagem (SILVA et al., 2018). Segundo Nachaisin et al. (2015) o coeficiente de difusão inclui diversos mecanismos como difusão líquida, molecular, vapor e hidrodinâmica.

Frequentemente para a determinação dos valores do coeficiente de difusão aplica-se a segunda lei de difusão de Fick, que estabelece uma relação do coeficiente de difusão com o gradiente de concentração de um meio (CUEVAS et al., 2018).

2.4 Cor

Os atributos de qualidade são índices importantes empregados para a avaliação dos métodos de secagem. Entre eles, a cor é frequentemente utilizada na apresentação da qualidade, o que interfere na aceitação do produto seco, pelo consumidor (LU et al., 2014). Portanto, torna-se fundamental a realização da análise de cor, afim de verificar o efeito da secagem sobre a qualidade do produto.

De acordo com Zhang et al. (2016) a secagem com ar quente e sob altas temperaturas causam o escurecimento dos produtos, podendo afetar a microestrutura e valor nutricional. Além disso, os atributos de cor visível também são indicadores de alguns pigmentos funcionais, como carotenóides, clorofilas, antocianinas e betalaínas (FERNANDES et al., 2016). Como regra geral, altas temperaturas de secagem e longos tempos de exposição influenciam negativamente as cores dos produtos, devido ao escurecimento enzimático ou não enzimático (MULITERNO et al., 2017).

Os principais pigmentos presentes em plantas medicinais são clorofilas e carotenoides, os quais são sensíveis às condições de secagem. A reação de escurecimento enzimática é relacionada à atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) pelo tratamento térmico, provocando também alterações indesejáveis no sabor e aroma dos vegetais (CABRAL-MALHEIROS et al., 2010).

As reações de escurecimento não-enzimático, como a reação de Maillard e a caramelização, são consideradas as reações químicas mais importantes que ocorrem durante o processamento dos produtos, pois influenciam os atributos de qualidade dos alimentos, como cor e sabor, e também afetam o valor nutritivo dos produtos submetidos ao calor (WANG et al., 2013).

Para a descrição da cor, frequentemente utiliza-se o sistema de coordenadas de Hunter-Lab. As coordenadas obtidas são “L”, referente a luminosidade, variando de preto (zero) a branco (cem), “a”, entre o verde (-a) e o vermelho (a), e “b”, variando entre o azul (-b) e o amarelo (b) (HUNTER; HAROLD, 1987).

2.5 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são substâncias voláteis, lipofílicas e geralmente apresentam-se aromáticos. Podem ser extraídos de várias partes do vegetal, como caule, folhas, raízes e frutos. Esses óleos são resultantes do metabolismo secundário dos vegetais, sendo compostos,

principalmente, de terpenóides (monoterpenos e sesquiterpenos) e fenilpropanoídes, metabólitos que conferem as características organolépticas (RIBEIRO et al., 2018).

Os terpenos ou terpenóides, constituem o maior grupo de metabólitos secundários. Os monoterpenos e sesquiterpenos são estruturas terpênicas de menor massa molecular, que apresentam volatilidade acentuada. Essa última característica, por sua vez, apresenta grande importância para o aroma dos produtos naturais (FELIPE; BICAS, 2017).

Os óleos essenciais são empregados nas indústrias de cosméticos, alimentícia e farmacêutica, contribuindo na ação terapêutica de plantas medicinais. Algumas substâncias presentes nos óleos essenciais possuem alto valor comercial. Essas substâncias podem ser isoladas do óleo ou mesmo sintetizadas em laboratório (GASPARIN et al., 2014).

Entre as diversas propriedades farmacêuticas e biológicas dos óleos essenciais, podem ser destacadas: antibacteriana, antifúngica, anticancerígena, antioxidante, antiviral e anti-inflamatória (RAUT; KARUPPAYIL, 2014).

No Brasil, os óleos essenciais são corriqueiramente utilizados na aromaterapia, que é considerada uma prática integrativa e complementar, a fim de potencializar os resultados de um tratamento adotado. Além disso, auxilia o reequilíbrio físico e/ou emocional. Desta forma, a aromaterapia contribui com o Sistema Único de Saúde, agregando benefícios ao paciente, ao ambiente hospitalar e colaborando com a economia de gastos da instituição pública por utilizar matéria-prima de custo relativamente baixo, principalmente quando analisada comparativamente às grandes vantagens que ela pode proporcionar (BRASIL, 2018).

De acordo com Ali et al. (2015), a aromaterapia é uma das terapias de medicina complementar e alternativa, em que utiliza óleos essenciais e essências de ervas para tratar várias doenças e melhorar a saúde do corpo.

Além do mais, os óleos essenciais, são utilizados em formulações tópicas. Por possuírem ação antimicrobiana, podem inibir o crescimento bacteriano e promover o processo de cicatrização de feridas, fornecendo uma melhor alternativa ao tratamento, uma vez que os antimicrobianos mais comuns, como a sulfadiazina de prata, podem apresentar limitações, como a resistência microbiana (MODARRESI, et al., 2018). Outra aplicabilidade promissora dos óleos essenciais é o mercado de cosméticos, visto que o uso de matéria-prima de origem vegetal é um diferencial para o desenvolvimento de novos produtos (CRUZ; BEZERRA, 2017).

As plantas medicinais possuem compostos voláteis que podem ser perdidos com facilidade, desta forma, para garantir sua integridade, as folhas devem ser consumidas logo após a colheita, ou secas (STORCK; DESCHAMPS, 2015). Contudo, durante a secagem, são necessários cuidados com os limites de temperatura do ar de secagem, sendo determinados de

acordo com a sensibilidade das substâncias químicas, que podem ser perdidas por volatilização, como é o caso dos óleos essenciais (LEMOS et al., 2012).

A fim de obter maiores conhecimentos sobre o efeito da secagem na composição química das plantas medicinais, é necessário fazer o uso de análises específicas. No caso de óleo essencial, regularmente é recomendado o uso do sistema de cromatografia gasosa acoplada ao espectro de massas (CG/EM), afim de identificar substâncias oriundas do metabolismo secundário (MIRZAHOSSEINI et al., 2017; HOWYZELA et al., 2018).

Recomenda-se que a secagem artificial de plantas medicinais não exceda temperaturas acima de 40 °C, a fim de evitar alterações metabólicas do produto (MELO et al., 2004). Embora, Gasparin et al. (2014), secando folhas de hortelã pimenta (*Mentha x piperita* L.), verificaram o máximo de rendimento do óleo essencial e o mínimo de degradação da cor, na temperatura do ar de secagem de 50 °C, independentemente da velocidade do ar empregada.

Vários fatores podem influenciar na composição e rendimento dos óleos essenciais, como clima, temperatura, composição do solo, disponibilidade hídrica, radiação ultravioleta, nutrientes, altitude, poluição atmosférica a que a planta está submetida, além de ataque de patógenos, idade da planta, horário de coleta, equipamento utilizado para extração e tipo de extração (ANDRÉ et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

As folhas de *P. aculeata* foram provenientes do Horto de Plantas Medicinais-HPM (22°11'43.7''S e 054°56'08.5''W) da FCA/UFGD, coletadas frescas e aleatoriamente. A exsicata está depositada no Herbário DDMS da UFGD sob registro 5226. Optou-se em realizar a coleta no período matutino, evitando dias em que houve incidência de precipitação pluviométrica noturna no dia anterior, irrigação ou resquícios de orvalho, a fim de evitar alteração no teor de água inicial das folhas. As folhas foram homogeneizadas e descartou-se aquelas que apresentaram algum tipo de incidência de doenças ou danos.

Adiante a coleta e seleção, as folhas de *P. aculeata* apresentaram teor de água inicial médio de aproximadamente 88,16%, base úmida (b.u). Posteriormente, as folhas foram submetidas a secagem em quatro temperaturas, 40, 50, 60 e 70 °C e duas velocidades do ar de secagem, 0,4 e 0,8 m s⁻¹, em delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições.

Conduziu-se a secagem até que as folhas atingissem o teor de água de equilíbrio. Para fins de aplicação dos modelos matemáticos, foi considerado um teor de água de, aproximadamente, 12 ± 3% b.u. A redução do teor de água foi acompanhada pelo método gravimétrico (diferença de massa), as quais tiveram suas massas aferidas em uma balança semianalítica de resolução de 0,001 g, em espaços de tempo pré-estabelecidos.

Os teores de água inicial e de equilíbrio foram determinados pelo método gravimétrico, usando uma estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 1 °C por 24 h, em triplicata (ASABE, 2010).

Os ensaios de secagem foram conduzidos no LAPREP - Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, na Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. Utilizou-se um secador experimental de leito fixo, com uma câmara de secagem de 0,80 m de diâmetro por 1,0 m de altura (Figura 1).

A fonte de aquecimento do secador empregado é composta por um conjunto de resistências elétricas, totalizando 12 kW de potência. Associado a essas, um ventilador do tipo centrifugo de 0,75 kW de potência, da marca Ibram, modelo VSI-160. O controle de temperatura foi realizado por meio de um controlador universal de processos, modelo N1200, da marca Novus, trabalhando com controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID). O fluxo de ar foi ajustado por meio de um inversor de frequência ligado ao motor do ventilador. O secador é dotado de um sistema que controla com precisão o fluxo e a temperatura do ar de secagem, e

dispõe de uma série de sensores conectados a um painel de controle, visando a obtenção de um ajuste fino e o monitoramento das condições do ar de secagem (GONELI et al., 2016).

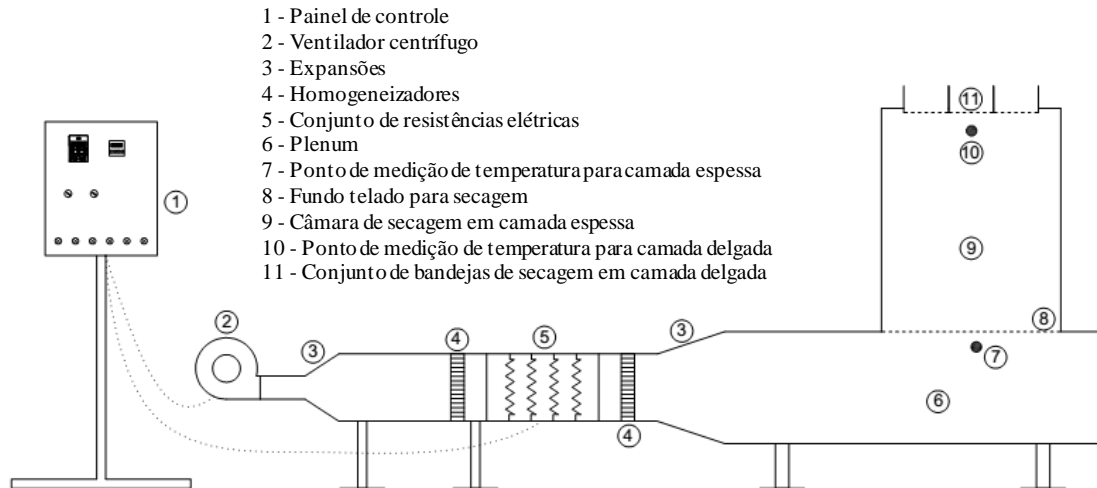


Figura 1 - Secador experimental utilizado na secagem das folhas de *P. aculeata*. Fonte: Adaptado de Goneli et al. (2016).

Utilizou-se um conjunto de duas bandejas apoiadas na câmara de secagem, cada uma contendo aproximadamente 70 gramas de produto (Figura 2). A velocidade do ar de secagem era ajustada pela rotação do motor do ventilador até o valor desejado, sendo averiguada com auxílio de um termoanemômetro de pás rotativas, da marca Instrutherm, modelo TAD 500, com resolução de $\pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$.



Figura 2 - Bandejas com folhas de *P. aculeata*.

3.1 Cinética de secagem

A razão de umidade do produto durante a secagem, para as diferentes temperaturas do ar foi determinada pela Equação 1.

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

em que:

RU = razão de umidade do produto, adimensional;

U_t = teor de água do produto em um determinado tempo, decimal (b.s.);

U_e = teor de água de equilíbrio do produto, decimal (b.s.); e

U_i = teor de água inicial do produto, decimal (b.s.).

A partir da determinação da razão de umidade foram ajustados diferentes modelos matemáticos tradicionalmente utilizados em trabalhos científicos para a descrição da cinética de secagem de plantas medicinais (SILVA et al., 2015; MELO et al., 2016; MOTEVALLI et al., 2016; VIDAL et al., 2016; MGHAZLI et al., 2017; GOMES et al., 2017; MARTINS et al., 2018), descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem de produtos agrícolas

Descrição do modelo	Modelo	
Aproximação da Difusão	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta)$	(2)
Dois Termos	$RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$	(3)
Exponencial de dois termos	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k a \theta)$	(4)
Henderson e Pabis modificado	$RU = a \exp(-k \theta) + b \exp(-k_0 \theta) + c \exp(-k_1 \theta)$	(5)
Logarítmica	$RU = a \exp(-k \theta) + c$	(6)
Midilli	$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta$	(7)
Page	$RU = \exp(-k \theta^n)$	(8)
Newton	$RU = \exp(-k \theta)$	(9)

em que:

θ = tempo de secagem, h;

k, k_0 e k_1 = coeficientes dos modelos, h^{-1} ; e

a, b, c e n = coeficientes dos modelos, adimensionais.

A taxa de redução de água durante a secagem foi determinada segundo a equação:

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

em que

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

Ma₀ = massa de água total anterior, kg;

Ma_i = massa de água total atual, kg;

MS = Massa seca, kg;

t₀ = tempo total de secagem anterior, h; e

t_i = tempo total de secagem atual, h.

Os valores dos coeficientes de difusão efetivo foram obtidos pelo ajuste do modelo matemático da difusão (Equação 11) aos dados experimentais da secagem das folhas de *P. aculeata*. Esta equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick considerando-se a forma geométrica do produto como uma placa plana e com aproximação de oito termos.

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

em que:

D_i = coeficiente de difusão efetivo, $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$;

θ = tempo de secagem, s;

L = espessura do produto, m; e

n = número de termos do modelo.

A espessura das folhas foi mensurada fazendo uso de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. Realizou-se medições em cem folhas frescas, cada qual medidas em três pontos diferentes: parte superior, média e inferior, evitando medições sob nervuras foliares. Posteriormente calculou-se a média dos valores, resultando em 1,05 mm.

3.1.1 Influência da temperatura

A dependência da cinética de secagem, em relação à temperatura foi avaliada pela Equação 12.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT_a}\right) \quad (12)$$

em que:

D_0 = fator pré-exponencial, $m^2 s^{-1}$;

E_a = energia de ativação, $J mol^{-1}$;

R = constante universal dos gases, $8,314 kJ kmol^{-1} K^{-1}$; e

T_a = temperatura de secagem, K.

3.2 Efeito da secagem sobre a cor das folhas e composição química do óleo essencial

3.2.1 Cor

A avaliação da cor das folhas de *P. aculeata* foi realizada nas folhas da planta fresca, e nas submetidas a secagem, com diferentes temperaturas e velocidade do ar, pela leitura direta de refletância das coordenadas “L”, “a” e “b”, empregando um colorímetro de medição portátil, de alta precisão, da marca Konika minolta, modelo CR-400, com o sistema Hunter de cor, sendo “L” relativo ao branco e preto; “a”, ao vermelho e verde; e “b”, ao amarelo e azul (Figura 3). A partir das coordenadas “L”, “a” e “b”, foi calculada a diferença total de cor (ΔE) pela equação 13.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (13)$$

em que:

ΔE = diferença total de cor; e

ΔL , Δa , Δb = diferenças dos valores das coordenadas L, a e b, entre os tratamentos e a planta fresca.

A calibração do colorímetro foi realizada com a aplicação em uma placa branca, utilizando os valores de referência de $L = 93,65$, $a = -5,28$ e $b = 8,56$. Para melhor caracterização da cor, foram realizadas três medições em cada amostra, determinando-se posteriormente a média.

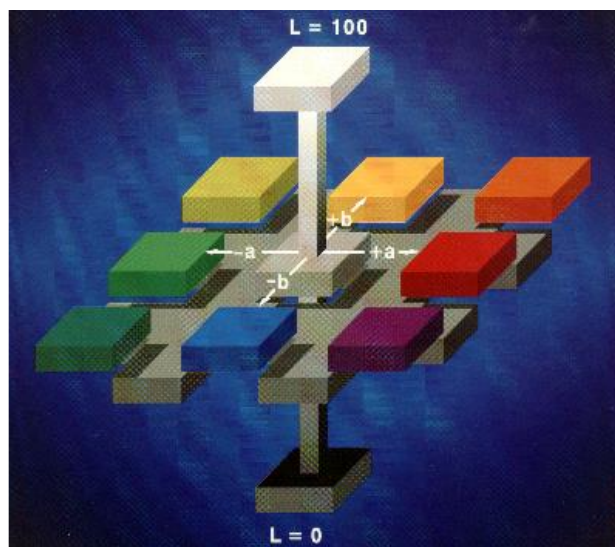


Figura 3 - Representação esquemática do sistema de coordenadas de Hunter para avaliação de cor (HUNTER; HAROLD, 1987).

3.2.2 Obtenção e composição química do óleo essencial de *P. aculeata*

Para a extração do óleo essencial, as folhas de *P. aculeata* foram secas até o teor de água de aproximadamente, $10 \pm 1\%$ b.u., seguindo os mesmos critérios usados na secagem para a aplicação dos modelos matemáticos. Posteriormente, o material resultante da secagem foi homogeneizado, totalizando aproximadamente 20 gramas de folhas secas, em cada condição.

A extração do óleo essencial foi realizada no laboratório de manejo de plantas medicinais pertencente a Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD. Foi empregado um aparelho Clevenger, da marca Marconi, modelo MA 553/5000, com hidrodestilação por arraste de vapor, adaptado à um balão com fundo arredondado. Para cada 20 gramas de folhas secas, foi acrescentado 1,5 litros de água destilada. A duração da extração foi de 4 horas para cada amostra. Para fins de comparação submeteu-se as folhas frescas ao mesmo processo.

As amostras de óleo foram acondicionadas em frascos de vidro, devidamente vedadas e embaladas, a fim de evitar vazamentos e exposição a luz, posteriormente, encaminhadas para análise no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP), do Departamento de Química na Universidade Estadual de Maringá, no município de Maringá – PR, para determinação da composição química.

Para isso, foi empregado um sistema composto por um cromatógrafo em fase gasosa FOCUS CG (Thermo Electron), acoplado a um espectrômetro de massas DSQ II (Thermo Electron), equipado com uma coluna capilar de sílica fundida DB-5ms (5% fenil e 95% dimetil polissiloxano) com 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de fase estacionária e utilizado gás de arraste hélio 99,99% de pureza.

As injeções foram realizadas no modo split com razão de 1:15 e temperatura de 250 °C. A programação de temperatura do CG foi: 40 °C constante por 1 minuto e aumentada numa razão de 4 °C min⁻¹ para 280 °C, permanecendo nesse valor por 5 min. A temperatura da linha de transferência foi de 280 °C e a fonte de ionização mantida a 230 °C. O detector de massas operou no modo TIC (Total Ion Chromatogram) monitorando relação massa/carga (m/z) de 40 – 550.

A identificação das substâncias presente no óleo foi baseada em comparações dos tempos de retenções, pela determinação e comparação dos índices de retenção de Kovats e espectros de massas da biblioteca NBS/NIST, com os índices descritos por Adams (1995). Uma série homologa de n-alcenos (C₈-C₃₂) foi utilizada para o cálculo dos índices de retenção de Kovats (Equação 14).

$$I = \frac{Tr_x - Tr(n)}{Tr(N) - Tr(n)} \times 100z + 100n \quad (14)$$

em que:

I = índice de Kovalts (IK);

Tr_x = tempo de retenção do pico a ser analisado;

Tr (n) = tempo de retenção do hidrocarboneto padrão de menor cadeia;

Tr (N) = tempo de retenção do hidrocarboneto padrão de maior cadeia;

Z = diferença entre o número de átomos de carbono de maior e menor; e

n = número de átomos de carbono do padrão de menor cadeia.

3.3 Análise estatística

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados da secagem observados experimentalmente foi feita análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton. O grau de ajuste do modelo foi avaliado pelas magnitudes do erro médio relativo (P, em porcentagem), do desvio padrão da estimativa (SE, em decimal), e do coeficiente de determinação (R², em

decimal). Além disso, para a seleção do modelo, utilizou-se como critério, o ajuste satisfatório em todas as temperaturas e velocidades do ar de secagem.

Os valores do erro médio relativo indicam o desvio dos valores observados da curva estimada pelo modelo, considerando modelos satisfatoriamente ajustados, os que apresentarem valores de P abaixo de 10%. Quanto menor for o valor do desvio padrão da estimativa (SE), melhor é a eficácia de ajuste dos modelos aos dados observados experimentalmente. Os valores de P e SE para cada modelo foram calculados pelas Equações 15 e 16, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (15)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (16)$$

em que:

Y = valor observado experimentalmente;

\hat{Y} = valor estimado pelo modelo;

n = número de dados observados; e

GLR = graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

Os dados de cor foram submetidos ao teste de médias de t de Student, a 5% de significância, comparando os tratamentos com a planta fresca (controle). Foram ajustados modelos de regressão, verificados na análise de variância ao nível de 5% de significância, pelo teste F, correlacionando as variáveis dependentes com a variável temperatura de secagem, para cada velocidade do ar de secagem avaliada.

Para a análise estatística do óleo essencial, os valores foram apresentados em termos médios com desvio padrão da análise.

Os dados resultantes da extração do óleo essencial na planta fresca e em diferentes condições de secagem foram submetidos à análise multivariada, pelo método de componentes principais (PCA).

A PCA possibilita a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disso, reduz o número de variáveis originais em menor número de componentes principais (CP) de dimensões

equivalentes. Essa transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda de informação possível, eliminando algumas variáveis originais que possuam pouca informação, determinando as de maior influência na formação de cada componente.

A escolha dos dois CP foi realizada com base na máxima explicação de variabilidade dos dados, ou seja, maiores porcentagens de variância (MANLY, 1986). A interpretação da análise foi realizada conforme Hongyu et al. (2015), onde as variáveis que apresentaram vetores de maior comprimento e que estiveram mais próximos (menor ângulo) ao eixo do CP, apontaram maiores contribuições para o CP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cinética de secagem

Para a descrição da cinética de secagem das folhas de *P. aculeata*, alguns modelos mostraram-se satisfatórios em atender aos critérios de seleção estabelecidos, porém em condições isoladas, a exemplo do modelo de Dois termos (9), nas temperaturas de 50 e 60 °C em ambas as velocidades do ar de secagem e, do modelo Page (8) nas seguintes condições: temperatura de 50 °C e velocidade do ar de 0,4 m s⁻¹ e, 60 °C na velocidade do ar de 0,8 m s⁻¹. Nessas condições esses modelos apresentaram valores do erro médio relativo (P) menores que 10% (Tabela 2), visto que os valores de P menores que 10% indicam melhor ajuste do modelo aos dados observados. Ao passo que modelo de Midilli (7), manteve-se sempre menor que 10% em todas as condições de secagem.

Em adição, o ajuste do modelo de Midilli aos dados experimentais resultou nos menores valores do desvio padrão da estimativa (SE), e apresentou valores de R² elevados em todas as condições empregadas.

Preconizou-se que para o modelo ser considerado satisfatório, este deve ser ajustado para todas as condições, desta forma, com base nos parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos, o modelo de Midilli foi o único que atendeu aos critérios de seleção, e se mostra com ajuste satisfatório em descrever a secagem em todas as condições propostas.

O modelo de Midilli é tradicional, regularmente recomendado para descrever a cinética de secagem de folhas de plantas medicinais, como Gomes et al. (2017) trabalhando com folhas de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus*), Mghazli et al. (2017) com folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis*), Alara et al. (2017) com folhas de *Vernonia amygdalina*, Martins et al. (2018) com folhas de Amora preta (*Morus nigra* L.) e Nurafifah et al. (2018) com folhas de *Plectranthus amboinicus*.

Tabela 2 - Erro médio relativo (P), coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão da estimativa (SE) dos modelos utilizados para a descrição das curvas de secagem das folhas de *P. aculeata* para diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Modelo	0,4 (m s ⁻¹)			0,8 (m s ⁻¹)			
	P (%)	R ² (decimal)	SE (decimal)	P (%)	R ² (decimal)	SE (decimal)	
40 °C	2	21,1000	0,9916	0,0297	23,3900	0,9910	0,0312
	3	19,4100	0,9931	0,0269	22,0800	0,9919	0,0297
	4	22,4000	0,9908	0,0310	40,2200	0,9899	0,2169
	5	5,1600	0,9995	0,0075	22,0900	0,9919	0,0299
	6	5,3400	0,9995	0,0075	8,5800	0,9988	0,0112
	7	5,6800	0,9994	0,0078	8,1900	0,9988	0,0112
	8	20,5800	0,9906	0,0313	21,3100	0,9911	0,0311
	9	36,3400	0,9769	0,0489	40,5800	0,9698	0,0550
	50 °C	2	31,8900	0,9858	0,0393	24,7600	0,9793
3		6,4700	0,9991	0,0101	3,0000	0,9994	0,0080
4		58,7300	0,9591	0,0662	37,7800	0,9644	0,0615
5		47,9700	0,9955	0,3155	58,4500	0,9914	0,2266
6		25,2900	0,9913	0,0308	15,8900	0,9896	0,0335
7		2,1100	0,9997	0,0058	9,9300	0,9981	0,0144
8		2,7700	0,9995	0,0070	12,9100	0,9966	0,0190
9		25,2900	0,9913	0,0305	37,7900	0,9644	0,0611
60 °C		2	6,9400	0,9983	0,0116	24,3100	0,9883
	3	6,7300	0,9988	0,0098	2,8400	0,9985	0,0115
	4	33,0500	0,9881	0,0308	10,3600	0,9980	0,0133
	5	7,8600	0,9991	0,0088	2,8200	0,9985	0,0117
	6	7,8500	0,9988	0,0100	2,5900	0,9985	0,0114
	7	8,9400	0,9986	0,0106	3,7200	0,9989	0,0100
	8	20,9600	0,9931	0,0235	9,6800	0,9983	0,0122
	9	33,0500	0,9881	0,0306	24,3100	0,9883	0,0315
	70 °C	2	30,1200	0,9921	0,0289	75,3100	0,9489
3		28,3500	0,9929	0,0276	20,5200	0,9956	0,0222
4		73,300	0,9484	0,0728	75,3100	0,9489	0,0731
5		36,6500	0,9647	0,1374	46,7900	0,9627	0,0961
6		19,9700	0,9961	0,0202	21,8100	0,9952	0,0227
7		8,0600	0,9990	0,0105	7,9100	0,9988	0,0117
8		18,3900	0,9953	0,0214	19,3700	0,9950	0,0229
9		73,300	0,9484	0,0719	75,3100	0,9489	0,0720

Nota: 2 - Aproximação da Difusão; 3 - Dois Termos; 4 - Exponencial de dois termos; 5 - Henderson e Pabis modificado; 6 - Logarítmica; 7 - Midilli; 8 - Page; 9 - Newton.

A magnitude do coeficiente “k” representa os efeitos das condições externas de secagem e tende a aumentar com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem, comportamento encontrado neste trabalho, indicando que a taxa de secagem aumenta conforme há o incremento da temperatura e da velocidade do ar (Tabela 3).

Tabela 3 - Coeficientes ajustados do modelo de Midilli para secagem de folhas de *P. aculeata*, para diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

T (°C)	0,4 (m s ⁻¹)				0,8 (m s ⁻¹)			
	a	k	n	b	a	k	n	b
40	0,9883	0,0236	1,0115	-0,0062	0,9922	0,0213	1,0840	-0,0064
50	0,9847	0,2923	1,5313	0,0012	1,0212	0,4173	1,4356	0,0053
60	0,9842	0,5475	1,0013	-0,0273	1,0238	0,8407	1,0899	-0,0117
70	0,9772	0,9036	1,4231	-0,0393	0,9688	1,2661	1,4619	-0,0421

O coeficiente “k” pode ser empregado como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura, sendo relacionado diretamente com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente, sendo que a difusividade líquida controla o processo (ALVES et al., 2017). Dessa forma, quando maior a magnitude do coeficiente “k”, maior a difusividade efetiva no processo de secagem (MARTINS et al., 2015).

Não houve tendência no comportamento dos coeficientes “n”, “a” e “b” (Tabela 3). Todavia, esses coeficientes estão mais relacionados com o ajuste matemático do que algum fenômeno de secagem, uma vez que o modelo de Midilli é semiempírico (MIDILLI et al., 2002).

O modelo de Midilli expõe uma correspondência satisfatória entre os dados observados experimentalmente e os dados estimados (Figura 4), evidenciando que os parâmetros estatísticos empregados foram eficazes para selecionar o modelo.

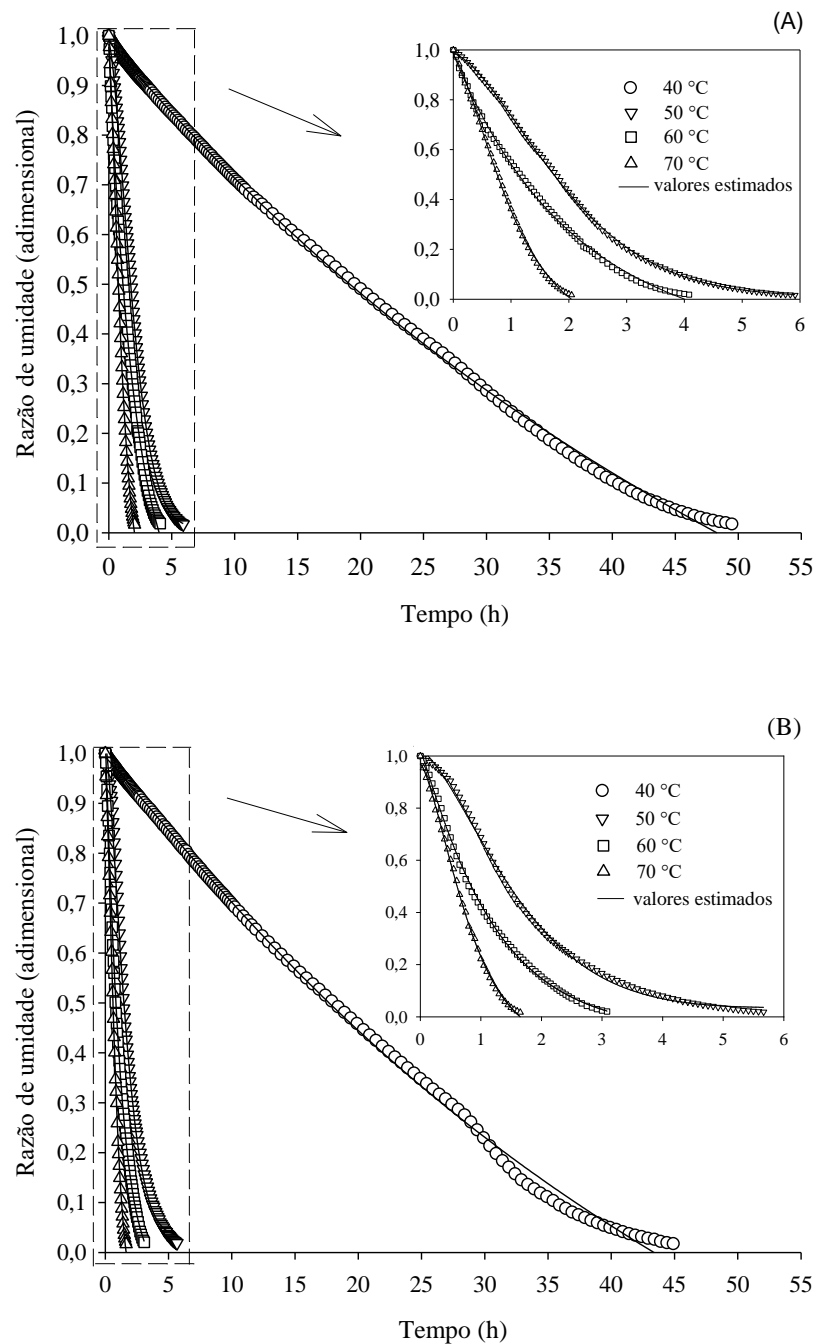


Figura 4 - Correspondência entre os valores observados e os estimados pelo modelo de Midilli com seus coeficientes descritos em função da temperatura do ar de secagem para as folhas de *P. aculeata* e velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ (A) e $0,8 \text{ m s}^{-1}$ (B).

Para a secagem na velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$, foram necessárias 49,5; 5,92; 4,08 e 2,05 h nas temperaturas de 40, 50, 60 e $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, para que as folhas atingissem um teor de água de $12 \pm 3\%$ b.u., enquanto para a velocidade de $0,8 \text{ m s}^{-1}$, utilizou-se 44,9; 5,67; 3,08 e 1,65 h, para as mesmas temperaturas (Figura 4). Atenta-se que para uma mesma

temperatura, o tempo de secagem foi menor para a velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m s}^{-1}$. Assim como, para a mesma velocidade, o tempo de secagem foi reduzido com o aumento da temperatura.

Verifica-se que houve uma grande diferença no tempo de secagem entre a temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e as outras temperaturas, sendo que para a de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, essa diferença correspondeu a 43,58 h e 39,23 h para as velocidades do ar de secagem de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ e $0,8 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. Segundo Coradi et al. (2018), o aumento da temperatura do ar de secagem, causa a deterioração do material e conseqüentemente altera a integridade da estrutura celular. Assim, possivelmente na temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ o sistema de membranas celulares manteve-se íntegro, e se mostrou mais resistente a remoção de água, explicando o tempo de secagem.

A remoção de água no início do processo de secagem ocorreu de forma mais acentuada, em comparação ao final, para todas as condições empregadas (Figura 5), pois a água presente na superfície do produto é evaporada com mais facilidade. Após a água superficial ser evaporada, a água se desloca gradativamente para as camadas mais externas do produto, de maneira que o efeito da velocidade do ar de secagem é minimizado, passando a vigorar o processo de difusão líquida, o qual é mais influenciado pela temperatura do ar de secagem (BABALIS et al., 2006). Comportamento semelhante encontrado por autores como, Sousa et al. (2015), que estudaram a cinética de secagem de folhas de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) e Alves et al. (2017) ao secarem folhas de *Hyptis suaveolens* (L) Poit.

A velocidade no processo de secagem diminuiu com o tempo, de acordo com a proximidade do teor de água final do produto. A taxa de remoção de água (TRA) foi maior para as temperaturas de 50 , 60 e $70 \text{ }^\circ\text{C}$. O aumento da temperatura, aumenta o potencial de secagem do ar e a transferência de calor para o produto, fazendo com que a velocidade de formação e migração do vapor d'água do interior para a superfície e ambiente seja maior.

Já para a temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$, a TRA manteve-se sempre abaixo de 1 g h^{-1} , considerado um valor baixo para o processo, em ambas as velocidades do ar de secagem, o que justifica a demora do produto em atingir o teor de água desejado.

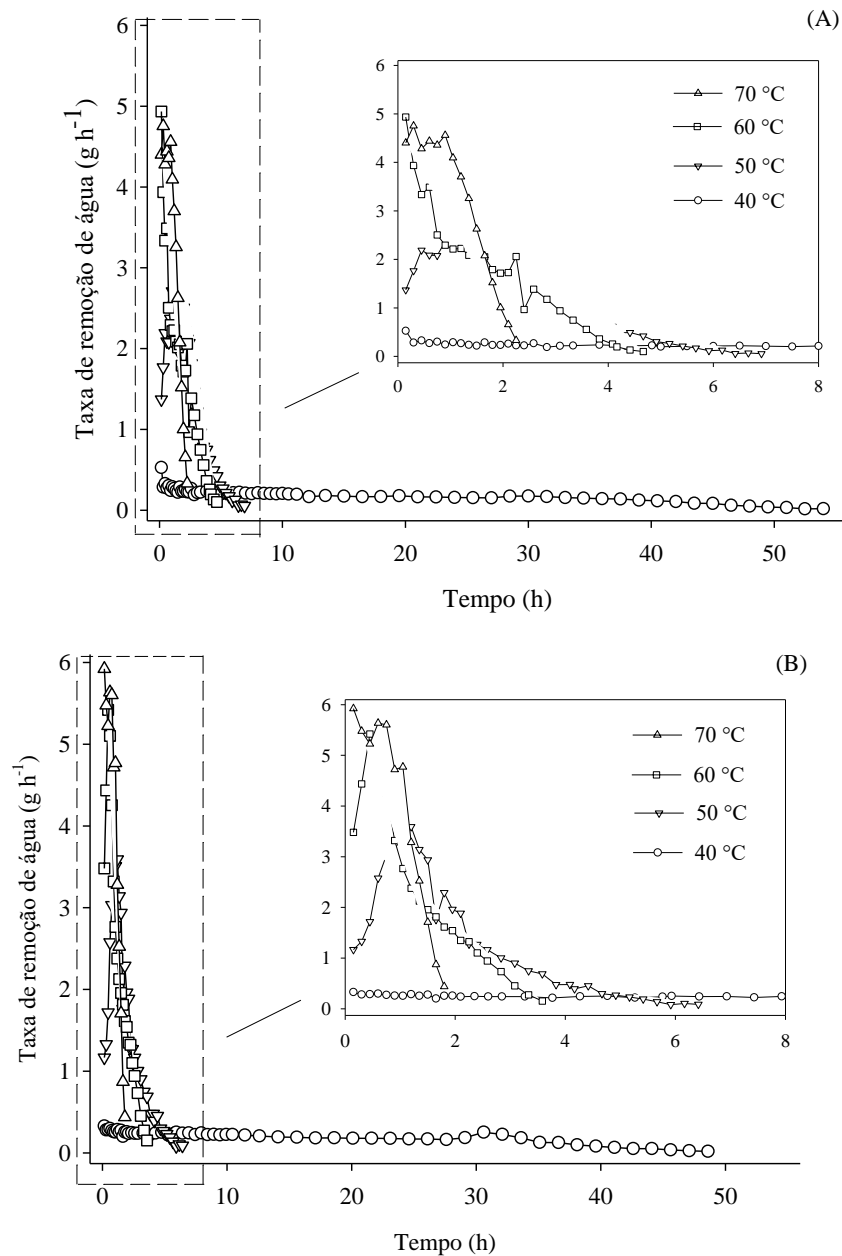


Figura 5 - Taxa de remoção de água das folhas de *P. aculeata* durante a secagem para a velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ (A) e $0,8 \text{ m s}^{-1}$ (B), respectivamente.

A interferência da velocidade de secagem em temperaturas mais baixas, está relacionada com a evaporação da água, que ocorre na superfície do produto. Visto que, quanto menor a temperatura, mais tempo leva para migração da água do centro para as extremidades do material (MARTINS et al., 2018). Fica evidente que maiores velocidades do ar de secagem podem contribuir para a retirada dessa água superficial, acelerando o processo da secagem em baixas temperaturas.

Os valores dos coeficientes de difusão efetivo obtidos durante a secagem das folhas de *P. aculeata* aumentaram com a elevação da temperatura e velocidade do ar de secagem (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficientes de difusão efetivo das folhas de *P. aculeata* para diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

T (°C)	$D_{ef} (m^2 s^{-1}) \times 10^{-9}$	
	0,4 (m s ⁻¹)	0,8 (m s ⁻¹)
40	0,36	0,39
50	4,46	5,15
60	6,53	8,85
70	10,8	13,6

Observa-se um comportamento crescente em que os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram em resposta a elevação da temperatura e velocidade do ar de secagem (Tabela 4), corroborando com Goneli et al. (2014b), estudando folhas de erva baleeira e Alves et al. (2017) trabalhando com folhas de *Hyptis suaveolens*.

Os coeficientes de difusão efetivo apresentaram magnitudes de 0,36 a 10,8 x 10⁻⁹ e 0,39 a 13,6 x 10⁻⁹ para as velocidades do ar de secagem de 0,4 e 0,8 m s⁻¹ respectivamente, e faixa de temperatura de 40 a 70°C (Tabela 4). Estes valores estão coerentes aos relatados na literatura sobre secagem de produtos agrícolas que, de acordo com de acordo com Madamba et al. (1996) apresentam-se na ordem de 10⁻⁹ a 10⁻¹¹ m² s⁻¹. Cada produto possui uma característica química e física específica, além disso o coeficiente de difusividade não é uma propriedade intrínseca ao material, pois varia com as condições de secagem e características do produto.

Goneli et al. (2014a) ao trabalharem com folhas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*), encontraram valores de 0,1476 a 1,5811 x 10⁻¹¹, para a faixa de temperatura de 40 a 70 °C; Martins et al. (2018), ao determinarem o coeficiente de difusão efetivo das folhas de Amora preta (*Morus nigra* L.), encontraram valores de 0,7038 a 6,6212 x 10⁻¹¹ para a mesma faixa de temperatura. Sousa et al. (2018) na secagem de folhas de *Phyllanthus amarus* e *Phyllanthus niruri*, encontraram valores de 2,90 a 7,42 x 10⁻¹¹ e 5,871 a 9,631 x 10⁻¹¹, respectivamente, para a faixa de temperatura de 50 a 70 °C. As mudanças dos valores podem ser justificadas pelas peculiaridades de cada produto.

O aumento da temperatura promove a redução da viscosidade da água que é uma medida de resistência, com isso ocorrem alterações na difusão da água nos capilares do produto,

tornando favorável o caminhamento desse fluido do interior para as extremidades das folhas (GONELI et al., 2009).

Os valores de energia de ativação, para a difusão de água nas folhas de *P. aculeata* durante o processo de secagem, e para a faixa de temperatura estudada foram de 95,10 e 100,60 kJ mol⁻¹, para as velocidades de ar de secagem de 0,4 e 0,8 m s⁻¹, respectivamente. Segundo Zogzas et al. (1996), a energia de ativação de produtos agrícolas varia entre 12,7 a 110 kJ mol⁻¹, portando os valores encontrados neste trabalho estão coerentes com os relatados na literatura.

Outros pesquisadores apresentaram valores de energia de ativação menores dos encontrados neste trabalho, como Gasparin et al. (2017), com folhas de hortelã pimenta (*Mentha x piperita*), Mghazli et al. (2017) com folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e Omolola et al. (2019), com folhas de malva-do-judeu (*Corchorus olitorius*). Possivelmente, a variação dos valores de energia de ativação para os diversos produtos agrícolas, incluindo neste caso as folhas, podem ser atribuídos a suas peculiaridades.

4.2 Efeito do tratamento de secagem sobre a cor das folhas e composição química do óleo essencial

4.2.1 Cor das folhas de *P. aculeata*

Os valores da coordenada “L” variaram de 33,23 a 25,38 e 29,46 a 27,06 para a faixa de temperatura de 40 a 70 °C, e velocidade do ar de 0,4 e 0,8 m s⁻¹, respectivamente (Figura 6), indicando tendência ao escurecimento do produto com o aumento da temperatura de secagem, visto que o parâmetro “L” varia entre zero (preto) a cem (branco). Para a velocidade do ar de secagem de 0,8 m s⁻¹, houve diferença significativa ($p < 0,05$) em todas as temperaturas com relação a planta fresca (tratamento controle), já para a velocidade de 0,4 m s⁻¹, observa-se que apenas para 40 e 50 °C não houve diferença estatística. O fato do aumento da velocidade do ar remover a água do produto com mais rapidez, pode ter contribuído para um maior escurecimento na velocidade de 0,8 m s⁻¹. Nota-se que em ambas as velocidades do ar de secagem, os modelos de regressão apresentaram-se como significativos ($p < 0,05$), evidenciando o efeito negativo da temperatura de secagem na luminosidade das folhas, ou seja, incrementando-se a temperatura de secagem ocorre a redução nos valores desta variável de cor.

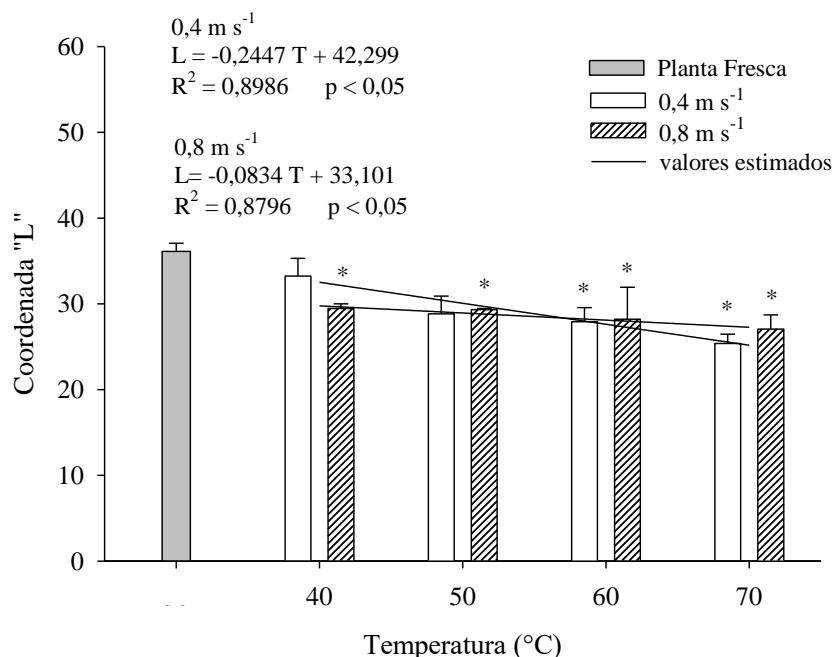


Figura 6 - Médias para a coordenada “L” das folhas de *P. aculeata* frescas e secas nas diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

Nota: * Médias diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student, em relação a planta fresca (tratamento controle).

Gasparin et al. (2014), ao estudarem a qualidade das folhas de hortelã pimenta (*Mentha x piperita* L.) submetidas ao processo de secagem em duas velocidades do ar (0,3 e 0,5 m s⁻¹) e cinco temperaturas (30, 40, 50, 60 e 70 °C), observaram que a coordenada “L” diminuiu com o aumento da temperatura. Embora não tenham apresentado diferença estatística entre 60 e 70 °C, a coordenada “L” difere-se das folhas frescas e das secas até na temperatura de 50 °C, indicando que a secagem acima de 50 °C ocasionou escurecimento das folhas de hortelã pimenta. Outros autores também encontraram resultados para a coordenada “L” semelhantes a estes, como Ali et al. (2014) ao secarem folhas de *Moringa Oleifera*, observaram que o incremento da temperatura causa escurecimento nas folhas de Moringa.

De maneira geral, os valores da coordenada de cor “a” (variando do verde ao vermelho) aumentaram com o incremento da temperatura de secagem (Figura 7). Apresentando valores de -0,11 a 0,63 e -0,82 a 0,24 para a faixa de temperatura de 40 a 70 °C, e velocidade do ar de 0,4 e 0,8 m s⁻¹, respectivamente. Isso indica que a folha perdeu a cor característica inicial, e exibe tendência de avermelhamento, evidenciados pelos valores positivos na temperatura de 70 °C. Ocorreram diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$), para o teste de média, entre todas as condições de secagem, em relação a planta fresca.

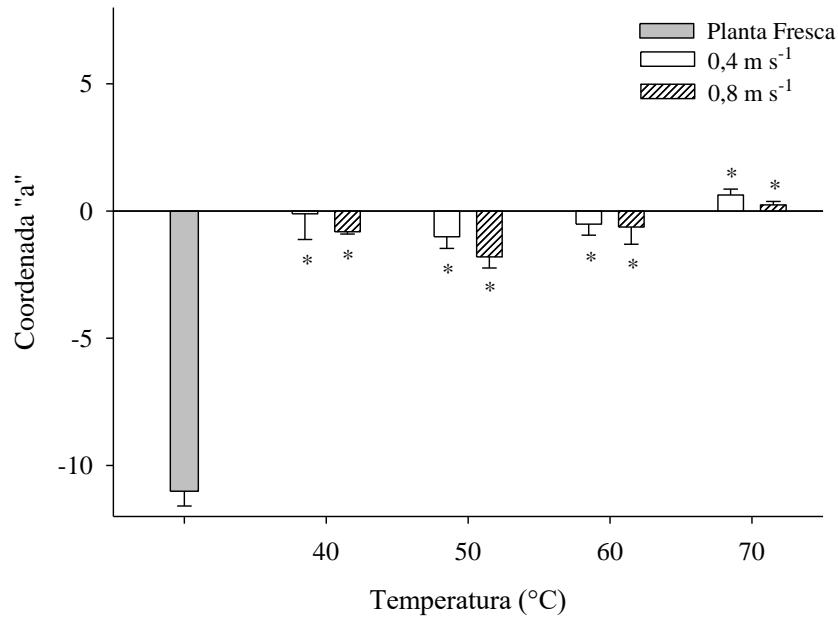


Figura 7 - Médias para a coordenada “a” das folhas de *P. aculeata* frescas e secas nas diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

Nota: * Médias diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student, em relação a planta fresca (tratamento controle).

As cores dos vegetais estão relacionadas aos pigmentos existentes. Em temperaturas elevadas, o escurecimento das folhas é atribuído à degradação dos pigmentos de clorofila, causada por reações enzimáticas de escurecimento ou reações não-enzimáticas de Maillard, o que leva à formação de pigmentos marrons (BUŠIĆ et al., 2014). Os principais pigmentos fotossintéticos nas plantas são a clorofila a e clorofila b, ambos caracterizam a cor verde das folhas. Desde modo, a degradação de clorofilas a e b durante o processamento térmico produzem alterações em relação à característica de cor verde brilhante, portanto tornam-se necessários cuidados na etapa da secagem (BENNERMANN et al., 2018).

Lima-Corrêa et al. (2017) ao estudarem a secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) observaram que os valores da coordenada “a” aumentam com a elevação da temperatura, resultando em valores positivos para as maiores temperaturas, conforme encontrado neste trabalho.

Os valores da coordenada “b” foram reduzidos com o aumento da temperatura para a velocidade do ar de secagem de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 8). Já para a velocidade de $0,8 \text{ m s}^{-1}$ não houve comportamento definido, mas ao comparar os extremos das temperaturas, nota-se que os valores diminuíram. A coordenada “b” (variando de azul para o amarelo) apresentou valores variando de 8,64 a 4,74 e 6,46 a 5,99 para a faixa de temperatura estudada (40 a 70 °C), e

velocidade do ar de 0,4 e 0,8 m s⁻¹, respectivamente. Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) para todas as condições em relação a planta fresca (Figura 9). Houve ajuste satisfatório do modelo, com regressão significativa apenas para velocidade do ar de secagem de 0,4 m s⁻¹.

Valores menores da coordenada “b” indicam tendência ao azul escuro, deste modo, ao aumentar a temperatura do ar de secagem, a coloração das folhas propensa a ficar mais escura (GASPARIN et al., 2014).

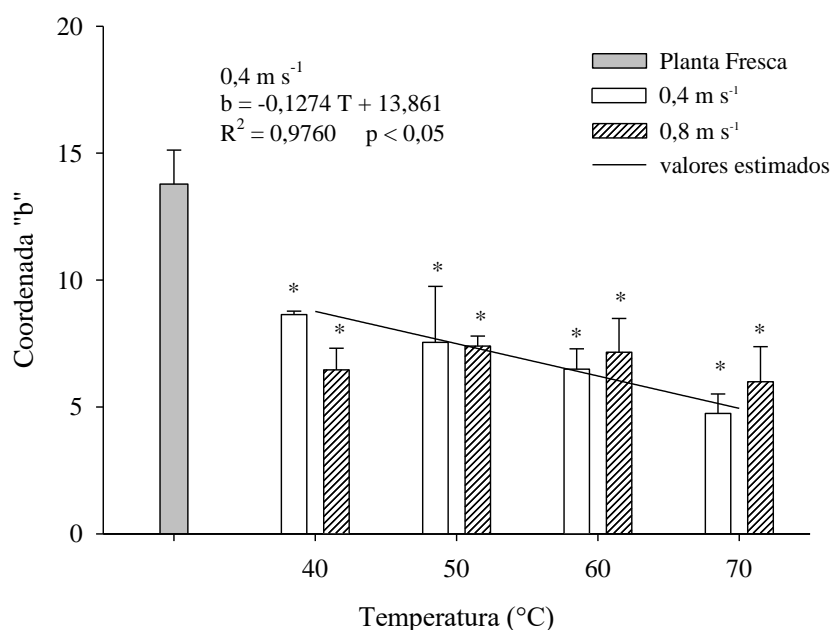


Figura 8 - Médias para a coordenada “b” das folhas de *P. aculeata* frescas e secas nas diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

Nota: * Médias diferem a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student, em relação a planta fresca (tratamento controle).

Segundo Sagrin e Chong (2013) folhas verdes contêm carotenoides, um dos compostos lipossolúveis responsáveis pela cor amarela ou laranja. Portanto, a mudança de cor das folhas de *P. aculeata*, perdendo a cor amarelada, provavelmente está relacionada com a diminuição do teor de carotenoides, causado pela sua oxidação, devido a exposição ao calor durante a secagem. Agostini-Costa et al. (2012) ao trabalhar com *P. aculeata* e *Pereskia grandifolia* verificaram que estas duas espécies apresentaram elevados teores de carotenoides, sendo 13,8 a 47,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ e 22,7 e 31,0 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

Outros autores, como Téllez et al. (2018) estudando a cor de folhas de *Stevia* (*Stevia Rebaudiana* Bertoni) também encontraram redução nos valores da coordenada “b”, após o processo de secagem, em temperaturas de 45 e 55 °C.

Os valores da diferença total de cor foram de 12,53; 13,95; 15,21; 18,25 e 14,22; 13,11; 14,80; 16,45, para a faixa de temperatura de 40 a 70 °C, e velocidade do ar de secagem de 0,4 e 0,8 m s⁻¹, respectivamente (Figura 9). Observa-se que para a velocidade do ar de 0,4 m s⁻¹ os valores da diferença total de cor aumentaram com o incremento da temperatura. Enquanto na velocidade do ar de 0,8 m s⁻¹, os valores não exibiram tendência, apresentando uma maior diferença de cor para a temperatura de 70 °C. Houve ajuste satisfatório do modelo, com regressão significativa apenas para velocidade do ar de secagem de 0,4 m s⁻¹.

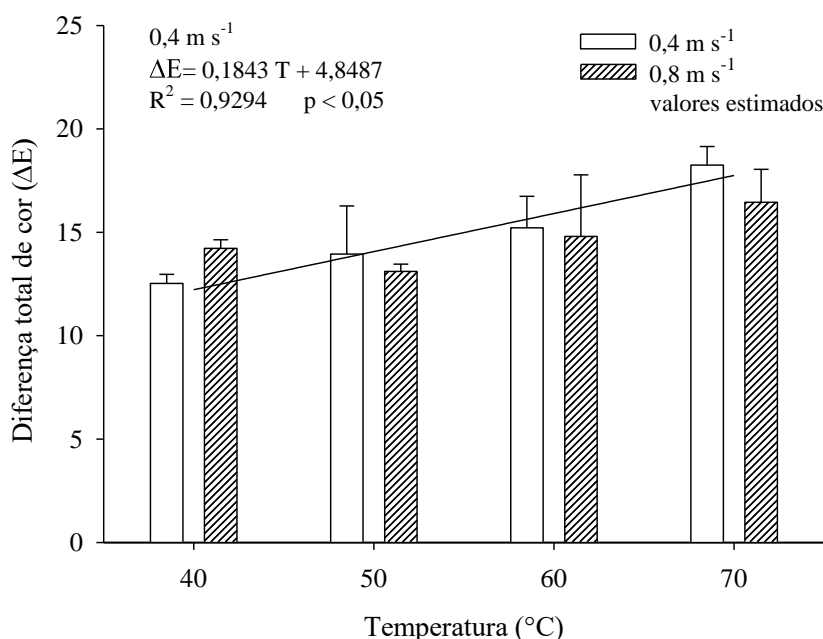


Figura 9 - Valores da diferença total de cor (ΔE) das folhas de *P. aculeata* nas diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem.

O incremento da temperatura do ar de secagem ocasionou maior efeito sobre a cor das folhas, provocando uma maior diferença de cor entre as folhas secas e as folhas da planta fresca. O menor valor da diferença total de cor para a temperatura de 40 °C e velocidade do ar de secagem de 0,4 m s⁻¹ indica que nesta condição, as folhas de *P. aculeata* apresentaram menor degradação da cor em relação a planta fresca (Figura 10).

Outros autores também encontraram resultados semelhantes a estes, como Raja et al. (2019), ao estudarem a secagem de folhas de mamão (*Carica papaya* L.) observaram que a temperatura de 40 °C expõe menor valor da diferença total de cor. Corroborando com Gasparin et al. (2014), ao secarem folhas de hortelã pimenta (*Mentha x piperita* L.), verificaram menores valores da diferença total de cor para a temperatura de secagem de 30 °C. Tal comportamento pode estar associado aos resultados apresentados nas Figuras 6, 7 e 8.

4.2.2 Composição química do óleo essencial de *P. aculeata*

Para o teor de óleo, considerou-se Souza et al. (2016a) como valor de referência, sendo este de 0,02% (em base seca).

Foram identificadas vinte substâncias no óleo essencial de *P. aculeata*, representando as classes dos sesquiterpenos (41,17%), diterpenos (5,88%), fenilpropanoides (23,5%), e outros (29,42%) (Tabela 5).

Na composição química do óleo essencial extraído, as substâncias majoritárias identificadas, foram: acorona, isotorquaton, fitol, 2-hexil-(E)-cinnamaldeído, (Z)-3-hexenil salicilato, estearato de metila e ácido linoleico. Para a planta fresca, as concentrações dessas substâncias, foram: 20,2%, 19,87%, 18,75%, 13,5%, 11,83%, 9,35% e 8,25% respectivamente. Souza et al. (2014), ao trabalharem com a extração do óleo essencial das folhas frescas de *P. aculeata* em Porto Alegre – RS, identificaram trinta substâncias, no qual as majoritárias foram: fitol, ácido hexadecanoico, ácido linoleico, 6-metil- α -ionone, em concentrações de 29,4%, 17,4%, 12,7% e 7,2%. Ao comparar as substâncias majoritárias entre os trabalhos, nota-se que apenas o fitol é compartilhado no presente estudo. Contudo, Souza et al. (2014) também verificaram outras substâncias em menores concentrações, no qual são comuns com este trabalho, sendo: α -muurolol (0,5%), 14-hidroxi(Z)-cariofileno (0,6%), 14-hidroxi-9-epi-(E)-cariolofileno (0,6%) e α -cadinol (0,9%).

Souza et al. (2016a) também estudaram o óleo essencial extraído das folhas frescas de *P. aculeata* e constataram vinte e quatro substâncias, dentre elas, as de maiores concentrações foram: acorona (30%) e (Z, Z)-metil-4,6-hexadecadieno (16,34%). Ao equiparar com o presente trabalho, nota-se que a acorona foi a substância com maior concentração em ambos os estudos, e o (Z, Z)-metil-4,6-hexadecadieno não foi identificado. Entretanto, o estudo de Souza et al. (2016a), partilham de outras substâncias em menores concentração, tais como: 1-nonadecen-ol (6,18%), (5 E, 9 E)-carnesil acetona (5,70%), ciclopentadecanolide (5,48%), fitol (5,11%), ácido linoleico (4,74%), 2-hexil-(E)-cinnamaldeído (0,60%), 14-hidroxi-9-epi-(E)cariolofileno (0,28%) e (Z)-3-hexenil salicilato (0,17%).

Portanto, ao comparar estes resultados aos estudos de Souza et al. (2014) e Souza et al. (2016a) sobre a composição do óleo essencial das folhas de *P. aculeata*, verificou-se diferenças em relação as substâncias químicas presentes e suas concentrações. Essas variações de substâncias e suas quantidades podem ser atribuídas principalmente às condições ambientais, idade da planta e métodos de colheita (MISHARINA, 2001). Possivelmente o habitat da planta contribuiu para as diferentes substâncias e suas concentrações, visto que o clima e o tipo de solo

não são os mesmos entre Dourados-MS e Porto Alegre – RS. Além disso, a coleta do presente estudo, ocorreu em junho, enquanto que nos demais trabalhos em questão, ocorreram em outubro.

Tabela 5 - Composição química do óleo essencial de folhas frescas e secas de *P. aculeata* obtida por CG-EM

N ^o	Substância	TR	FM	IR	IC	% em Planta fresca	%							
							0,4 m s ⁻¹				0,8 m s ⁻¹			
							40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
1	β-Ionone	25,29	C ₁₃ H ₂₀ O	1488	1484	-	-	-	-	-	-	-	0,11±0,01	0,15±0,02
2	Óxido de cariofileno	29,43	C ₁₅ H ₂₄	1643	1630	0,23±0,04	0,22±0,03	0,25±0,05	0,24±0,07	0,23±0,04	0,23±0,05	0,23±0,04	0,28±0,06	0,22±0,07
3	10-epi-α-mururolo	31,07	C ₁₅ H ₂₆ O	1632	1635	-	-	-	-	-	-	-	0,8±0,11	0,11±0,02
4	α-muurolo	32,13	C ₁₅ H ₂₆ O	1583	1531	0,25±0,03	0,25±0,08	0,23±0,09	0,26±0,04	0,22±0,07	0,24±0,03	0,22±0,07	0,28±0,05	0,21±0,05
5	1- octadeceno	33,9	C ₁₈ H ₃₆	1788	1818	0,58±0,05	0,61±0,05	0,63±0,04	0,59±0,03	0,55±0,05	0,59±0,07	0,61±0,04	0,55±0,05	0,51±0,04
6	14-hidróxido-epi(E)cariofileno	34,08	C ₂₅ H ₂₄ O	1677	1671	-	-	-	-	-	-	-	0,3±0,15	0,7±0,2
7	14-hidroxi(Z)-cariofileno	35,92	C ₁₅ H ₂₄ O	1559	1520	0,55±0,04	0,59 ±0,03	0,55±0,07	0,58±0,07	0,57±0,08	0,59±0,07	0,56±0,08	0,55±0,03	0,56±0,07
8	(Z) -3-hexenil salicilato	39,79	C ₁₅ H ₁₆ O ₃	1786	1648	11,83±1,13	12,24±1,12	12,24±1,18	12,89±2,13	12, 44±1,18	12,27±1,11	12,28±1,24	12,67±1,12	12,15±1,28
9	14-hidroxi-9-epi-(E)cariofileno	43,28	C ₁₅ H ₂₄ O	1559	1520	6,25±1,03	6,66±1,03	6,12±1,28	5,35±1,29	5,10±1,15	6,23±1,04	5,87±1,27	5,12±1,17	5,05±1,02
10	2-hexil-(E)-cinnamaldeído	45,07	C ₁₅ H ₂₀ O	1728	1762	13,5±1,17	13,3±1,28	13,14±1,27	11,24±1,12	10,38±1,16	12,1±1,04	12,09±1,12	10,09±1,10	10,20±1,14
11	2-etil hexil salicilato	48,41	C ₁₅ H ₂₂ O ₃	1789	1806	2,45±0,28	2,48±0,27	2,76±0,88	3,32±0,33	3,76±0,14	2,56±0,56	2,99±0,76	3,87±0,21	3,88±0,24
12	Acorona	53,08	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	1822	1820	20,2±1,34	22,4±2,16	21,34±1,16	20,56±2,87	18,72±1,28	22,6±1,88	21,63±1,29	20,12±2,20	18,08±1,26
13	α-Cadinol	53,29	C ₁₅ H ₂₆ O	1580	1603	0,35±0,03	0,32±0,08	0,28±0,04	0,27±0,03	0,26±0,08	0,31±0,05	0,27±0,07	0,26±0,03	0,25±0,03
14	Nonadecen-1-ol	54,16	C ₁₉ H ₃₈ O	1735	1848	2,25±0,13	2,12±0,12	2,13±0,23	2,43±0,26	2,38±0,27	2,18±0,28	2,18±0,27	2,84±0,21	2,76±0,33
15	Ciclopentadecanolide	56,41	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	1811	1836	3,56±0,57	3,12±0,24	2,28±0,54	2,12±0,34	1,76±0,86	3,25±0,18	2,32±0,77	1,98±0,66	1,55±0,08
16	Isotorquatona	57,15	C ₁₆ H ₂₄ O ₄	1828	1842	19,87±2,35	17,34±2,23	16,23±1,76	15,57±1,23	14, 54±2,16	17,56±1,22	16,34±2,15	15,27±2,11	13,22±1,87
17	Palmitato de metila	58,9	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	1921	1896	1,73±0,12	1,12±0,17	0,88±0,08	0,88±0,07	0,82±0,03	1,11±0,26	0,85±0,09	0,86±0,06	0,81±0,06
18	Ácido linoleico	61,25	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	2113	2181	8,25±1,02	7,23±1,17	7,12±1,23	6,34±1,16	5,12±1,24	6,22±2,35	6,12±1,20	5,89±1,23	5,12±1,27
19	Estearato de metila	63,63	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	1915	1921	9,35±1,25	6,12±1,28	6,07±1,25	5,43±1,29	4,89±1,26	5,12±1,28	5,18±1,24	4,12±1,28	4,07±1,29
20	Fitol	64,89	C ₂₀ H ₄₀ O	2810	2045	18,75±1,57	16,02±1,28	16,12±1,98	15,13±1,28	14,29±1,17	15,26±1,29	15,28±2,76	14,23±1,23	13,29±1,17
	Total	(%)												
	Sesquiterpenos	41,17												
	Diterpenos	5,88												
	Fenilpropanoides	23,52												
	Outros	29,42												

em que: TR= Tempo de retenção (min); FM= Fórmula molecular; IR= Índice de retenção; e IC= Índice calculado.

Em função das condições de secagem, principalmente da temperatura, algumas substâncias apresentaram variação na sua concentração, a exemplo do óxido de cariofileno e do α -muurolol que apresentaram aumento na concentração média com a elevação de temperatura de secagem e, do palmitato de metila e do fitol, que apresentaram redução na concentração média com o aumento de temperatura. A acorona apresentou aumento de concentração para a temperatura de 40 °C. Porém, apresentou decréscimo quando a temperatura aumentou para 50, 60 e 70 °C (Tabela 5). Possivelmente, com o aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem, ocorreu a volatilização de algumas substâncias, fazendo com que suas concentrações fossem reduzidas, evidenciando a termosensibilidade dessas substâncias.

Chao et al. (2017) ao realizarem a secagem de *Uraria crinita*, concluíram que a secagem a 40 °C aumentou o conteúdo de flavonoides, triterpenóides, aminoácidos e betaína, acompanhado de uma diminuição na quantidade de açúcar, sugerindo que a biotransformação pode ocorrer durante o processamento. Além disso, a temperatura é um fator chave para esta biotransformação, uma vez que os níveis destes metabólitos secundários diminuíram quando a temperatura de processamento aumentou de 40 °C para 70 °C. Acredita-se que o estresse causado pela secagem induz um aumento no teor de terpenos nas plantas secas, em comparação com a planta fresca (CHAO et al., 2017).

Nota-se que nas temperaturas de 60 e 70 °C, para velocidade do ar de 0,8 m s⁻¹, foram identificadas três substâncias (β -Ionone, 10-epi- α -Mururolol, 14-hidróxido-Epi(E)cariofileno) que não estavam presentes na planta fresca. Pressupõe-se que tanto o aparecimento ou desaparecimento de algumas substâncias estão relacionadas com reações de oxidação, redução e rearranjos durante o processo de secagem, devido a temperatura, velocidade do ar ou ao tempo de exposição.

Rahimmalek e Goli (2013) ao trabalharem com tomilho (*Thymus daenensis* Celak.), avaliaram o efeito da secagem sobre as substâncias químicas do óleo essencial. Concluíram que a secagem resultou não só no desaparecimento de algumas substâncias, como também no aparecimento de outras que não estavam na planta fresca. A exemplo das substâncias α -thujene, β -thujone, α -phellandrene e α -terpineol, que estavam presentes no óleo essencial extraído das folhas frescas e estavam ausentes em alguns tratamentos de secagem. Enquanto que α -pinene, camphene, thymyl methyl ether, metil carvacrol methyl e β -selinene, estavam ausentes no óleo essencial da planta fresca, porém apareceram em alguns tratamentos.

As variâncias dos dois componentes principais (CP) foram de 58,58% para o CP 1 e 15,01% para o CP 2. Desta forma, os dois CP explicam 73,59% da variância dos dados (Figura 10). De acordo com Reinato et al. (2012), quando a análise multivariada de componentes

principais é realizada visando reduzir variáveis, considera-se adequada uma variabilidade acumulada acima de 70%.

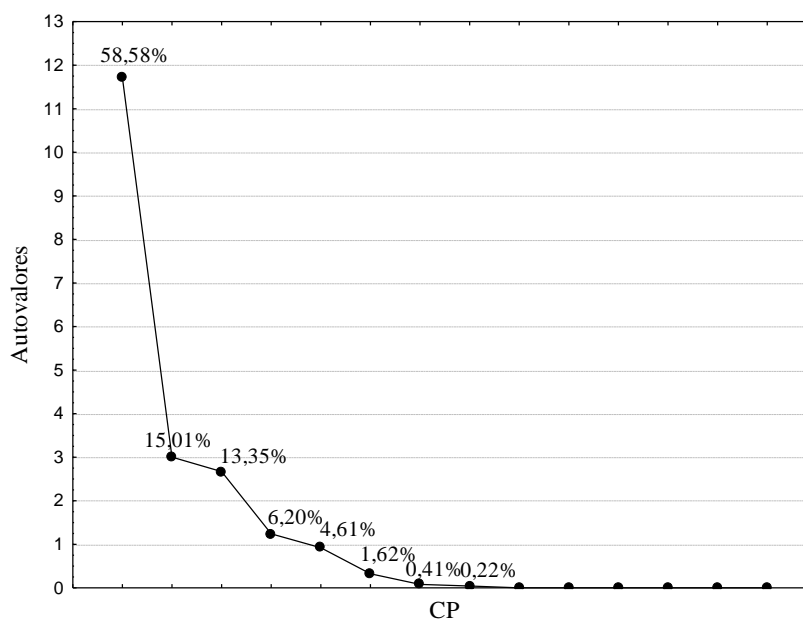


Figura 10 - Proporção de variação de cada componente principal.

As substâncias: α -Cadinol (13), ciclopentadecanolide (15), isotorquatona (16), palmitato de metila (17), ácido linoleico (18), estearato de metila (19) e fitol (20) contribuem para a construção do CP 1. Enquanto que as substâncias: β -Ionone (1) e 14-hidróxido-epi(E)cariofileno (6) compõe o CP 2. As demais substâncias não tiveram contribuições para os CP 1 e 2.

As variáveis com vetores de maior comprimento e que estão mais próximas (menor ângulo) ao eixo do CP, apontam maiores contribuições (Hongyu et al. 2015). Diante disso, para a CP 1, as substâncias que apresentaram vetores de maior comprimento, demonstrando que estas possuem maiores contribuições, em relação as demais substâncias foram: 2-hexil-(E)cinnamaldeído (10), isotorquatona (16), fitol (20) e 2-etil hexil salicilato (11). Ao passo para o CP 2 foram: 14-hidroxi(Z)-cariofileno (7), 10-epi- α -mururolol (3) e α -mururolol (4) (Figura 11).

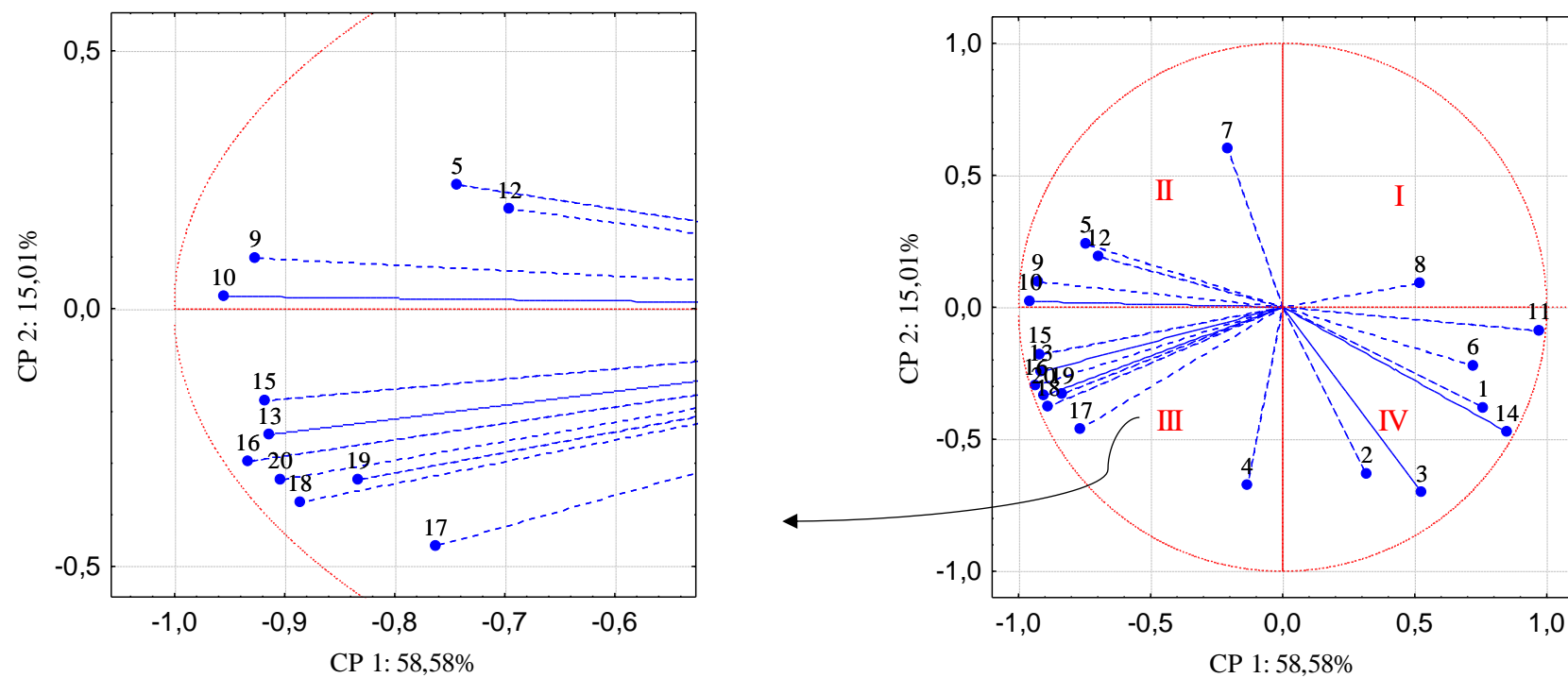


Figura 11 - Análise gráfica dos componentes principais para os dados médios de concentrações das substâncias, obtidas no óleo essencial extraído das folhas de *P. aculeata* (planta fresca e diferentes condições de secagem).

As condições de secagem diferenciaram-se da planta fresca, sendo que esta apresentou maiores concentrações das substâncias, pois exibe vetor de maior comprimento (Figura 12). Nota-se de maneira geral, que as substâncias presentes em cada quadrante (Figura 11), são influenciadas positivamente pelos tratamentos localizados nos mesmos quadrantes (Figura 12). Já as substâncias presentes no quadrante oposto são aquelas afetadas negativamente pelo mesmo tratamento, ou seja, apresentam redução em suas concentrações.

No caso do quadrante II (Figura 11), de modo geral, as substâncias 1- octadeceno (5), 14-hidroxi(Z)-cariofileno (7), 14-hidroxi-9-epi-(E)cariofileno (9), 2-hexil-(E)-cinnamaldeído (10) e Acorona (12) apresentaram maiores concentrações nas condições de 40 e 50 °C em ambas as velocidades do ar de secagem, e menores concentrações para as condições de secagem do quadrante IV (oposto) (60 °C e velocidade do ar de 0,8 m s⁻¹) (Figura 12).

Também se observa na Figura 12, que as condições de secagem de 60 e 70 °C na velocidade do ar de 0,4 m s⁻¹, e 70°C na velocidade do ar de 0,8 m s⁻¹ (quadrante I), foram as mais prejudiciais em termos de concentrações das substâncias.

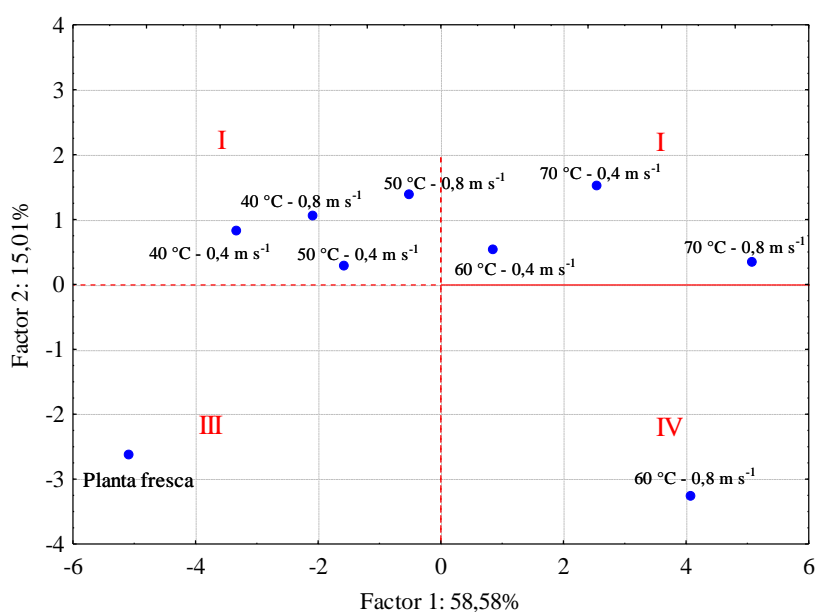


Figura 12 - Análise gráfica dos componentes principais para planta fresca e diferentes condições de secagem sobre as concentrações médias das substâncias, obtidas no óleo essencial extraído das folhas de *P. aculeata*.

Contudo, para selecionar o melhor método de secagem de plantas medicinais, diferentes critérios devem ser levados em consideração, como a espécie da planta, consumo de energia, tempo de secagem, cor final do produto e qualidade do óleo essencial (RAHIMMALEK; GOLI, 2013). Além disso, as concentrações dos compostos bioativos podem ser melhoradas em função do método de secagem e temperatura (CHAO et al., 2017).

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi executado, o modelo de Midilli foi aquele que melhor se ajustou aos dados observados experimentalmente, em todas as condições de secagem propostas.

A taxa de remoção de água e o coeficiente de difusão efetivo aumentaram com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem.

As folhas submetidas ao processo de secagem tiveram sua tonalidade verde e amarela reduzidas, apresentando tendência ao escurecimento. O incremento de temperatura do ar de secagem ocasionou maior efeito sobre a cor das folhas, implicando em uma maior diferença de cor entre as folhas secas e as folhas da planta fresca.

O processo de secagem influenciou na concentração das substâncias presentes no óleo essencial de *P. aculeata*. A secagem nas condições de 40 e 50 °C em ambas as velocidades do ar de secagem, foram as que propiciaram maiores porcentagens de concentrações das substâncias identificadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, R. P. 1995. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. Allured Publ Corp., Carol Stream, IL, 469 p.
- AGOSTINI-COSTA, T. S.; WONDRACECK, D. C.; ROCHA, W. S.; SILVA, D. B. Carotenoids profile and total polyphenols in fruits of *Pereskia aculeata* Miller. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, p. 234-238, 2012.
- ALARA, O. R.; ABDURAHMAN, N. H.; OLALERE, O. A. Mathematical modelling and morphological properties of thin layer oven drying of *Vernonia amygdalina* leaves. **Agriculture and Natural Resources**, v. 52, n. 1, p. 53-58, 2018.
- ALI, B.; AI-WABEL, N. A.; SHAMS, S.; AHAMAD, A.; KHAN, S. A.; ANWAR, F. Essential oils used in aromatherapy: a systemic review. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 5, n. 8, p. 601-611, 2015.
- ALI, M. A.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; IBRAHIN, M. N.; BASRA, S. M. A. Drying kinetics and colour analysis of *Moringa Oleifera* leaves. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 394-400, 2014.
- ALMEIDA, M. E. F.; CORRÊA, A. D. Utilização de cactáceas do gênero *Pereskia* na alimentação humana em um município de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p. 751-756, 2012.
- ALMEIDA, M. E. F.; JUNQUEIRA, A. M. B.; SIMÃO, A. A.; CORRÊA, A. D. Caracterização química das hortaliças não-convencionais conhecidas como ora-pro-nóbis. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 431-439, 2014.
- ALVES, J. J. L.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; BRANQUINHO, N. A. A. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 19, n. 2, p. 168-176, 2017.
- ANDRADE, R. R. **Substrato e irrigação em ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.)**, 2012, 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, São Paulo, 2012.
- ANDRÉ, W. P. P.; RIBEIRO, W. L. C.; OLIVEIRA, L. M. B.; MACEDO, I. T. F.; RONDON, F. C. M.; BEVILAQUA, C. M. L. Óleos essenciais e seus compostos bioativos no controle de nematoides gastrintestinais de pequenos ruminantes. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 46, p. 1-14, 2018.
- 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.
- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Moisture measurement - Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p. 684-685.
- ATANASOV, A. G.; WALTENBERGER, B.; PFERSCHY-WENZIG, E. M.; LINDER, T.; WAWROSCH, C.; UHRIN, P.; TEMML, V.; WANG, L.; SCHWAIGER, S.; HEISS, E. H.; ROLLINGER, J. M.; SCHUSTER, D.; BREUSS, J. M.; BOCHKOV, V.; MIHOVILOVIC, M. D.; KOPP, B.; BAUER, R.; DIRSCH, V. M.; STUPPNER, H. Discovery and resupply of

pharmacologically active plant-derived natural products: A review. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 8, p. 1582-1614, 2015.

BABALIS, S.J.; PAPANICOLAOU, E.; KYRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V.G. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 205-214, 2006.

BENNEMANN, G. D.; BOTELHO, R. V.; TORRES, Y. R.; CAMARGO, L. A.; KHALIL, N. M.; OLDONI, T. L.; SILVA, D. H. Compostos bioativos e atividade antirradicalar em farinhas de bagaço de uvas de diferentes cultivares desidratadas em liofilizador e em estufa. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1-10, 2018.

BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T.; ISQUIERDO, E. P. Coffee drying. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Hand book of coffee post-harvest technology**. Georgia: Norcross, 2014. p. 97-118.

BOTELHO, F. M.; GARCIA, T. R. B.; VIANA, J. L.; BOTELHO, S. C. C.; SOUSA, A. M. B. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 260-272, 2015.

BRASIL. Decreto nº 5813 de 22 de junho de 2006. Aprova a política nacional de plantas medicinais e fitoterápicos e dá outras providências. In: **Diário Oficial da União**, Brasília, seção 1, n. 119, p. 2, 23 de junho de 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº26, de 13 de maio de 2014, 62 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Gabinete do Ministro**. Portaria nº 702, de 21 de março de 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. RENISUS. **Relação nacional de plantas medicinais de interesse ao SUS**. Espécies vegetais, 2009. 2 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Política nacional de práticas integrativas e complementares no SUS**. 2. ed. – Brasília, 2015. 96 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos**. Departamento de Assistência Farmacêutica. Política e programa nacional de plantas medicinais e fitoterápicos. Brasília, 2016, 190 p.

BUŠIĆ, A.; VOJVODIĆ, A.; KOMES, D. AKKERMANS, C.; BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; STOLK, M.; HOFLAND, G. Comparative evaluation of CO₂ drying as an alternative drying technique of basil (*Ocimum basilicum* L.) - The effect on bioactive and sensory properties. **Food Research International**, v. 64, p. 34-42, 2014.

CABRAL-MALHEIROS, G.; HECKTHEUERL, L. H. R.; CANTOL, M. W.; BALSAMO, G. M. O tempo e o tipo de embalagem sobre a erva-mate tipo chimarrão durante armazenagem em condições ambientais. **Ciência Rural**, v. 40, n. 3 p. 654-660, 2010.

CAMPOS, J. A.; OLIVEIRA, N. J. F.; CHAMBA, J. S. V.; COLEN, F.; COSTA, C. A.; FILHO, A. S. S. Brotação de ora-pro-nóbis em substrato alternativo de casca de arroz carbonizada. **Holos**, v. 7. ano 33, p. 148-167, 2017.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152-167, 2018.

- CHAO, J.; DAI, Y.; CHENG, H.; LAM, W.; CHENG, Y.; LI, K.; PENG, W.H.; PAO, L.; HSIEH, M.; QIN, X.; LEE, M. Improving the Concentrations of the Active Components in the Herbal Tea Ingredient, *Uraria crinita*: The Effect of Post-harvest Oven-drying Processing. **Scientific Reports**, v. 1, n. 7, p. 1-16, 2017.
- CORADI, P. C.; MULLERA, A.; SCHMIDTA, D. A.; LIMAB, R. E.; BAIJOB, F. H. R.; BORSATOC, A. V.; BLANCO, M. Electric conductivity test for quality assessment of aromatic and medicinal plants after drying. **Drying Technology**, v. 36, n. 5, p. 545-556, 2018.
- CRUZ, M. J. F.; BEZERRA, S. B. Obtenção do óleo essencial de *Ocimum gratissimum* L. para desenvolvimento de cosmético de limpeza facial. **Revista Diálogos Acadêmicos**, v. 6, n. 2, 2017.
- CUEVAS, M.; MARTÍNEZ-CARTAS, M. L.; PÉREZ-VILLAREJO, L.; HERNÁNDEZ, L.; GARCÍA-MARTÍN, J. F.; Sánchez, S. Drying kinetics and effective water diffusivities in olive stone and olive-tree pruning. **Renewable Energy**, v. 132, p. 911-920, 2018.
- DINIZ, T. T. G. **Obtenção de extratos de folhas de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* cham.) por extração sequencial em leito fixo usando CO₂ supercrítico, etanol e água como solventes.** 2013, 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 2013.
- DOYMAZ, I. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, v. 53, n. 1, p. 25-35, 2017.
- ERTEKIN, C.; FIRAT, M. Z. A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 4, p. 701-717, 2015.
- FELIPE, L. P.; BICAS, J. L. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 2, p. 120-130, 2017.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; CÁRCEL, J. A. Effects of ultrasound-assisted air-drying on vitamins and carotenoids of cherry tomatoes. **Drying Technology**, v. 34, n. 8, p. 986-996, 2016.
- GASPARIN, P. P.; ALVES, N. C. C.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta (*Mentha x piperita* L.) submetida ao processo de secagem em secador de leito fixo. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 16, n. 2, p. 337-344, 2014.
- GASPARIN, P. P.; CRISTO, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito Realizado várias velocidades e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2017.
- GOMES, N. H. F.; SILVA NETO, H. C. S.; ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUSA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. **Engvista**, v. 19, n. 2, p. 328-338, 2017.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial café, n. 11, p. 64-73, 2009.
- GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; JORDAN, R. A.; GEISENHOF, L. O.; GARCIA, R. T. Experimental dryer design for agricultural products. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 5, p. 938-950, 2016.

- 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, suppl. 1, p. 434-443, 2014b.
- 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. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014a.
- GUIMARÃES, J. R. A. **Produtividade e características físico-químicas de ora-pro-nóbis sob adubação orgânica**. 2015, 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, São Paulo, 2015.
- GÜMÜŞAY, O. A.; BORAZAN, A. A.; ERCAL, N.; DEMIRKOL, O. Drying effects on the antioxidante properties of tomatoes and ginger. **Food Chemistry**, v. 173, p. 156-162, 2015.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2015.
- HORUZ, E.; BOZKURT, H.; KARATAS, H.; MASKAN, M. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. **Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 2, p. 425-436, 2018.
- HOWYZELA, M. S.; NOORIA, S. A.; SHARIATI, V. J. Essential oil profiling of Ajowan (*Trachyspermum ammi*) industrial medicinal plant. **Industrial Crops & Products**, v. 119, p. 255-259, 2018.
- HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. **The Measurement of Appearance**, 2 ed., John Wiley and Sons, Inc. New York, EUS, 1987.
- KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E. B.; SCHER, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 32-49, 2016.
- LEMOS, D. R. H.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P.; BARBOSA, L. C. A.; PINHEIRO, A. L.; Influence or drying air temperature on the chemical composition of the essential oil of melaleuca. **Engenharia na agricultura**, v. 20, n.1, p. 5-11, 2012.
- LIMA-CORRÊA, R. A. B.; ANDRADE, M. S.; SILVA, M. F. G. F.; FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C. Thin-layer and vibrofluidized drying of basil leaves (*Ocimum basilicum* L.): analysis of drying homogeneity and influence of drying conditions on the composition of essential oil and leaf colour. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 7, p. 54-63, 2017.
- LU, Y.; ZHANG, M.; SUN, J.; CHENG, X.; ADHIKARI, B. Drying of Burdock root cubes using a microwave-assisted pulsed spouted bed dryer and quality evaluation of the dried cubes. **Drying Technology**, v. 32, n. 15, p. 1785–1790, 2014.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic glices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.
- MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods**. New York, Chapman and Hall, 1986. 159 p.

- MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; GONCALVES, A. A.; HARTMANN FILHO, C. P.; SIQUEIRA, V. C.; OBA, G. C. Drying kinetics of blackberry leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 570-576, 2018.
- MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.
- MASHKANIA, M. R. D.; LARIJANIB, K.; MEHRAFARINC, A.; BADIC, H. N. Changes in the essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. under different drying methods. **Industrial Crops & Products**, v. 112, p. 389-395, 2018.
- MELO, E. C.; RADÜNZ, L. L.; MELO, R. C. A. Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais - Revisão. **Engenharia na Agricultura**, v. 12, n. 4, p. 307-315, 2004.
- MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.; LISBOA, C. F.; SANTOS, M. M.; DUARTE, P. H. T. Kinetics drying of *Spirulina platensis*. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 45, p. 4683-4691, 2016.
- MGHAZLI, S.; OUHAMMOU, M.; HIDAR, N.; LAHNINE, L.; IDLIMAM, A.; MAHROUZ, M. Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. **Renewable Energy**, v. 108, p. 303-310, 2017.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.
- MIRZAHOSSEINI, S. M.; NOORI, S. A. S.; AMANZADEH, Y.; JAVID, M. G.; HOWYZEH, M. S. Phytochemical assessment of some native ajowan (*Therachyspermum ammi* L.) ecotypes in Iran. **Industrial Crops & Products**, v. 105, p. 142-147, 2017.
- MISHARINA T. A. Influence of the duration and conditions of storage on the composition of the essential oil from coriander seeds. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 37, n.6, p. 622-628, 2001.
- MODARRESI, M.; FARAHPOUR, M. R.; BARADARAN, B. Topical application of *Mentha piperita* essential oil accelerates wound healing in infected mice model. **Inflammopharmacology**, p. 1-7, 2018.
- MOTEVALI, A.; MINAEI, S.; BANAKAR, A.; GHOBADIAN, B.; DARVISHI, H. Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, n. 2, p. 179-187, 2016.
- MULITERNO, M. M.; RODRIGUES, D.; LIMA, F. S.; IOUKO, E.; KUROSZAWA, L. E. Conversion/degradation of isoflavones and color alterations during the drying of okara. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 512-519, 2017.
- NACHAISIN, M.; JAMRADLOEDLUK, J.; NIAMNUY, C. Application of combined far-infrared radiation and air convection for drying of instant germinated brown rice. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 3, p. 306-318, 2015.
- NURAFIFAH, F.; CHUAH, A. L.; WAHIDA, M. A. P. F. Drying of *Plectranthus amboinicus* (lour) spreng leaves by using oven dryer. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 11, p. 239-244, 2018.

- OLIVEIRA, V. B.; MEZZOMO, T. R.; MORAES, E. F. Conhecimento e uso de plantas medicinais por usuários de unidades básicas de saúde na região de Colombo, PR. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, v. 22, n. 1, p. 57-64, 2018.
- OMOLOLA, A. O.; KAPILA, P. F.; SILUNGWE, H. M. Mathematical modeling of drying characteristics of Jew's mallow (*Corchorus olitorius*) leaves. **Information Processing in Agriculture**, v. 6, p. 109-115, 2019.
- OZDEMIR, Y.; YAVAS, H.; OZYURT, U.; KOSTI, R. I.; KESKINEL, O. Olive semidrying process: oleuropein degradation in relation to sensory bitterness. **Journal of Food Science and Nutrition**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2018.
- PINTO, N. C. C.; SANTOS, R. C.; MACHADO, D. C.; FLORÊNCIO, J. R.; FAGUNDES, E. M. S.; ANTINARELII, L. M. R.; COIMBRA, E. S.; RIBEIRO, A.; SCIO, E. Cytotoxic and antioxidant activity of *Pereskia aculeata* Miller. **Pharmacology online**, v. 1, n. 1, p. 63-69, 2012.
- PINTO, N. D. C. C.; SCIO, E. The biological activities and chemical composition of *Pereskia* species (Cactaceae) - A review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 69, n. 3, p. 189-195, 2014.
- RAHIMMALEK, M.; GOLI, S. A. H. Evaluation of six drying treatments with respect to essential oil yield, composition and color characteristics of *Thymys daenensis* subsp. *daenensis*. Celak leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 613-619, 2013.
- RAJA, K. S.; TAIP, F. S.; AZMI, M. M. Z.; SHISHIR, M. R. I. Effect of pre-treatment and different drying methods on the physicochemical properties of *Carica papaya* L. leaf powder. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 2, p. 150-156.
- RAUT, J.; KARUPPAYIL, S. M. A status review on the medicinal properties of essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 250-264, 2014.
- REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. A.; OLIVEIRA, E. C. Qualidade do café secado em terreiros com diferentes pavimentações e espessuras de camada. **Coffee Science**, v. 7, n. 3, p. 223-237, 2012.
- RIBEIRO, S. M.; BONILLA, O. H.; LUCENA, E. M. P. Influência da sazonalidade e do ciclo circadiano no rendimento e composição química dos óleos essenciais de *Croton* spp. da Caatinga. **Iheringia Série Botânica**, v. 73, n. 1, p. 31-38, 2018.
- SAGRIN, M. S.; CHONG, G. H. Effects of drying temperature on the chemical and physical properties of *Musa acuminata* Colla (AAA Group) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 430-434, 2013.
- SANTOS, A. Q.; SANTOS, R. X.; MARISCO, G. Atividades biológicas, toxicológicas e parâmetros nutricionais da *Pereskia aculeata* Miller: uma revisão bibliográfica. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 2, p. 1-19, 2018.
- SARTOR, C. F. P.; AMARAL, V.; GUIMARÃES, H. E. T.; BARROS, K. N.; FELIPE, D. F.; CORTEZ, L. E. R.; VELTRINI, V. C. Estudo da ação cicatrizante das folhas de *Pereskia aculeata*. **Saúde e Pesquisa**, v. 3, n. 2, p. 149-154, 2010.
- SILVA, D. O.; SEIFERT, M.; NORA, F. R.; BOBROWSKI, V. L.; FREITAG, R. A.; KUCERA, H. R.; NORA, L.; GAIKWAD, N. W. Acute toxicity and cytotoxicity of *Pereskia aculeata*, a highly nutritious cactaceae plant. **Journal of Medicinal Food**, v. 20, p. 403-409, 2017a.

SILVA, I. L.; SILVA, H. W.; CAMARGO, F. R. T.; FARIAS, H. F. L.; FREITAS, E. F. M. Secagem e difusividade de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 21-30, 2018.

SILVA, L. A.; RESENDE, O.; VIRGOLINO, Z. Z.; BESSA, J. F. V.; MORAIS, W. A.; VIDAL, V. M. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, sup. 2, p. 953-963, 2015.

SILVA, M. I.; OLIVEIRA, H. B. Desenvolvimento de software com orientações sobre o uso de plantas medicinais mais utilizadas do sul de Minas Gerais. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 3, p. 1104-1110, 2018.

SOUSA, A. D.; RIBEIRO, P. R. V.; CANUTOA, K. M.; ZOCOLOA, G. J.; PEREIRA, R. C. A.; FERNANDES, F. A. N.; BRITO, E. S. Drying kinetics and effect of air-drying temperature on chemical composition of *Phyllanthus amarus* and *Phyllanthus niruri*. **Drying Technology**, v. 36, n. 5, p. 609-616, 2018.

SOUSA, F. C.; MARTINS, J. J. A.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; PESSOA, T.; MARTINS, J. N. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 17, n. 2, p. 195-200, 2015.

SOUZA, C. M. P.; BRANDÃO, D. O.; SILVA, M. S. P.; PALMEIRA, A. C.; SIMÕES, M. O. S.; MEDEIROS, A. C. D. Utilização de plantas medicinais com atividade antimicrobiana por usuários do serviço público de saúde em Campina Grande - Paraíba. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 2, p. 188-193, 2013.

SOUZA, L. F.; BARROS, I. B. I.; MANCINI, E.; MARTINO, L.; SCANDOLERA, E.; FEO, V. Chemical composition and biological activities of the essential oils from two *Pereskia* species grown in Brazil. **Natural Product Communications**, v. 9, n. 12, p. 1805-1808, 2014.

SOUZA, L. F.; CAPUTO, L.; BARROS, I. B. I.; FRATIANNI, F.; NAZZARO, F.; FEO, V. *Pereskia aculeata* Muller (Cactaceae) leaves: chemical composition and biological activities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 9, p. 1478-1490, 2016a.

SOUZA, M. R. M.; PEREIRA, P. R. G.; MAGALHÃES, I. P. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; VIDIGAL, S. M.; MILAGRES, C. S. F.; BARACAT-PEREIRA, M. C. Mineral, protein and nitrate contents in leaves of *Pereskia aculeata* subjected to nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 1, p. 43-50, 2016b.

STORCK, R.C.; DESCHAMPS, C. Teor e composição do óleo essencial de patchouli (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.) após diferentes tempos de secagem em estufa e temperatura ambiente. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 570-576, 2015.

TAKEITI, C. Y.; ANTONIO, G. C.; MOTTA, E. M. P.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; PARK, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 1, p. 148-160, 2009.

TÉLLEZ, M. C.; FIGUERO, I. P.; TÉLLEZ, B. C.; VIDANA, E. C. L.; ORTIZ, A. L. Solar drying of Stevia (*Rebaudiana* Bertoni) leaves using direct and indirect technologies. **Solar Energy**, v. 159, n. 1, p. 898-907, 2018.

TOFANELLI, M. B. D.; RESENDE, S. G. Sistema de condução na produção de folhas de ora-pro-nóbis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 466-469, 2011.

TORKI-HERCHAGANI, M.; GHASEMI-VARNAMKHASNI, M.; GHANBARIAN, D.; SADEGHI, M.; TOHIDI, M. Dehydration characteristics and mathematical modelling lemon slices drying undergoing oven treatment. **Heat and Mass Transfer**, v. 52, p. 281-289, 2016.

VARGAS, A. G.; ROCHA, R. D. C.; TEIXEIRA, S. D. Influência da sazonalidade na composição centesimal da *Pereskia aculeata* Miller. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 12, n. 1, p. 1-7, 2017.

VIDAL, V. M.; RESENDE O.; BESSA, J. F.; MORAIS, W. A.; SILVA, L. A.; VIRGOLINO, Z. Z. Ajuste de modelos e difusividade efetiva na secagem de folhas de *Azadirachta indica* A. Juss. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 21, n. 4, p. 1-12, 2016.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.

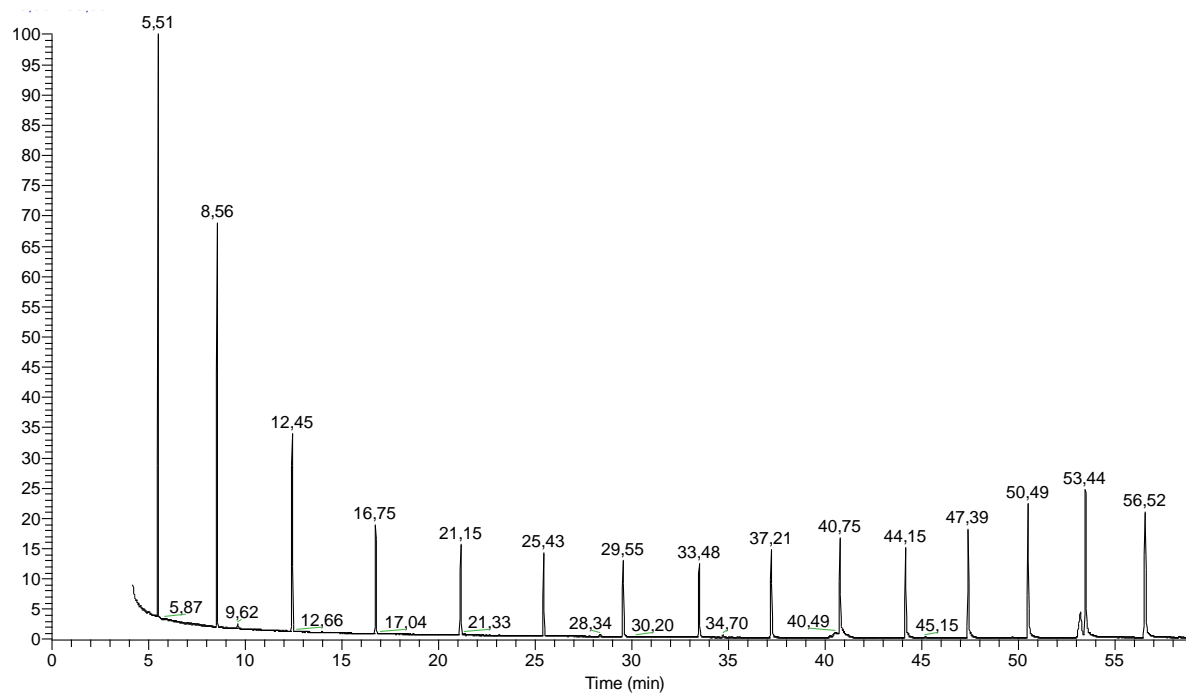
WANG, Z.; WANG, J.; GUO, S.; MA, S.; YU, S. J. Kinetic modeling of Maillard reaction system subjected to pulsed electric field. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 20, p. 121-125, 2013.

ZHANG, Z.; LIU, Z.; LIU, C.; LI, D.; JIANG, N.; LIU, C. Effects of ultrasound pretreatment on drying kinetics and quality parameters of button mushroom slices. **Drying Technology**, v. 34, n. 15, p. 1791-1800, 2016.

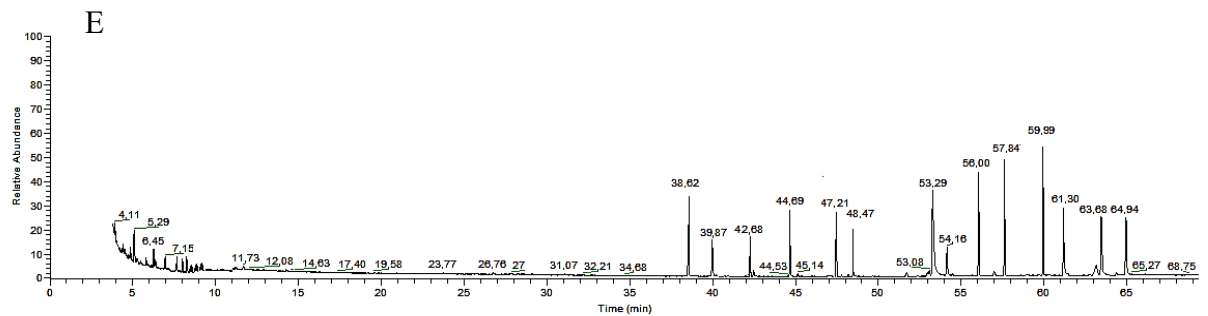
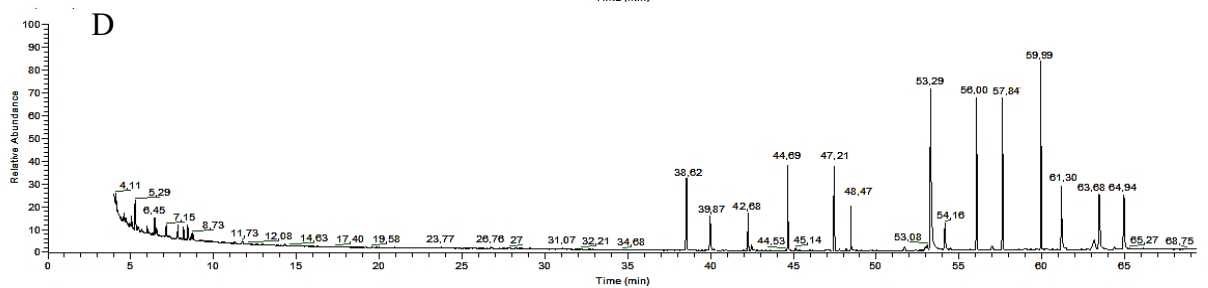
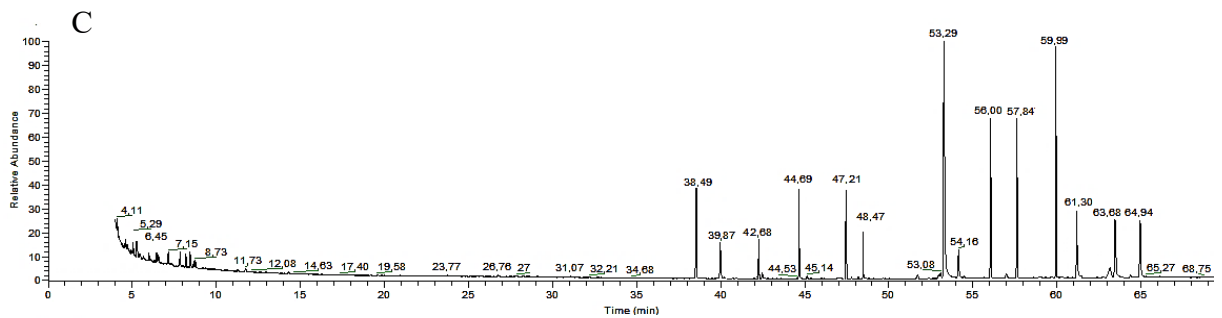
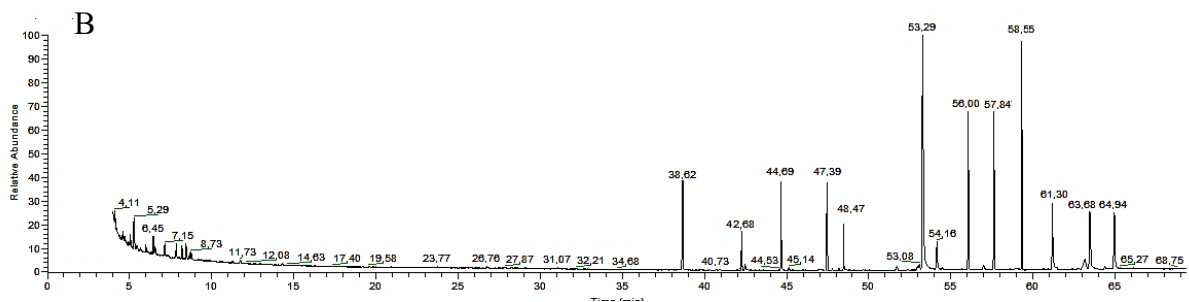
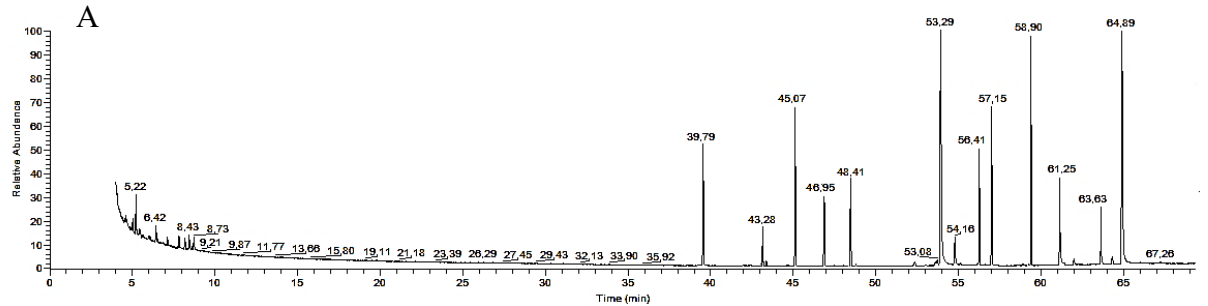
ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

ANEXOS

ANEXO A – Série homóloga de n-alcenos (C_8-C_{32}) utilizada para o cálculo do índice de retenção de Kovats.



ANEXO B – Cromatogramas em CG-EM do óleo essencial de *P. aculeata* da planta fresca (A), e temperaturas de 40 (B), 50 (C), 60 (D) e 70 °C (E), na velocidade do ar de secagem de 0,4 m s⁻¹.



ANEXO C – Cromatogramas em CG-EM do óleo essencial de *P. aculeata* da planta fresca (A), e temperaturas de 40 (B), 50 (C), 60 (D) e 70 °C (E), na velocidade do ar de secagem de 0,8 m s⁻¹.

