

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

KENNEDY SILVA E SILVA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SECAGEM CONVECTIVA SOBRE A
UMIDADE FINAL DA FOLHA DO ABACATEIRO

(Persea americana Mill.)

MANAUS

2021

KENNEDY SILVA E SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SECAGEM CONVECTIVA SOBRE A
UMIDADE FINAL DA FOLHA DO ABACATEIRO**

(Persea americana Mill.)

**Monografia apresentada ao Curso de Graduação
em Engenharia Química da Escola Superior de
Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas,
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.**

Orientadora: Profa. Dra. Kiki Pinheiro Melo Braga

MANAUS

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

S586e SILVA, KENNEDY SILVA E
 Estudo da Influência da Secagem Convectiva sobre a
 Umidade final da Folha do Abacateiro (Persea Americana
 Mill.) / KENNEDY SILVA E SILVA. Manaus : [s.n],
 2021.
 50 f.: color.; 30 cm.

 TCC - Graduação em Engenharia Química -
 Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.
 Inclui bibliografia
 Orientador: Kiki Pinheiro Melo Braga

 1. Folha do Abacateiro. 2. Secagem. 3. Cinética.
 4. Planejamento Experimental. I. Kiki Pinheiro Melo
 Braga (Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas.
 III. Estudo da Influência da Secagem Convectiva sobre a
 Umidade final da Folha do Abacateiro (Persea Americana
 Mill.)

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SECAGEM CONVECTIVA SOBRE A
UMIDADE FINAL DA FOLHA DO ABACATEIRO**

(Persea americana Mill.)

**Monografia de Conclusão de Curso para obtenção do título de Engenheiro, Habilitação em
Engenharia Química – Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do
Amazonas**

Banca Examinadora:

Kiki Pinheiro Melo Braga

Prof. Dra. Kiki Pinheiro Melo Braga – Orientador

Suellen Silva

Bacharel em Engenharia Química. Suellen Silva – USP

Regina Yanako Moriya

Profa. Dra. Regina Yanako Moriya– UEA

Conceito: Aprovado

Manaus, 13 de dezembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai, Sérgio Oliveira da Silva, falecido durante a pandemia do COVID-19.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Carmem por todo apoio emocional e financeiro durante toda graduação;

Aos meus tutores de estágio que me deram grandes ensinamentos analíticos;

Ao laboratório de química aplicada a tecnologia pela disponibilização da estufa para execução dos experimentos;

Aos amigos da faculdade que foram de grande apoio de forma geral, em especial à minha amiga Anne Borges por toda ajuda intelectual e por sempre acreditar no meu potencial;

Ao colega Nicholas Canabarro que instruiu diversas vezes quando requisitado;

À minha orientadora Kiki Braga por todas as sessões de orientação que me ajudou pacientemente em todos os tópicos do trabalho.

RESUMO

A quantidade excessiva de umidade nas plantas (folhas) propicia a atuação das enzimas, levando à degradação de componentes químicos e promovendo o crescimento de fungos e bactérias. A secagem da folha do abacateiro, pode promover a remoção dessa umidade e propiciar a preservação de suas propriedades físicas e químicas por um período mais longo. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo estudar a influência da secagem convectiva sobre a umidade final da folha do abacateiro (*Persea Americana Mill.*), por meio do uso de um delineamento cúbico composto central rotacionado (CCCR) através do *software* Statistica 13.5, para constatação de condições ótimas de secagem. Os experimentos foram realizados em uma estufa de convecção forçada com renovação de ar com massas variando entre 100g e 200g e temperatura mudando entre 60 °C e 70 °C, para obtenção da curva da cinética de secagem e verificação das variáveis operacionais (temperatura de secagem e carga de material) na umidade final do material. O estudo evidenciou que a temperatura é a variável operacional que influencia significativamente no processo de secagem, identificado pelo gráfico de Pareto, ANOVA e superfície de resposta.

Palavra-chave: Folha do abacateiro, Secagem, Cinética, Planejamento Fatorial.

ABSTRACT

The excessive amount of moisture in plants (leaves) favors the action of enzymes, leading to the degradation of chemical components and promoting the growth of fungi and bacteria. The drying of the avocado leaf can promote the removal of this moisture and favor the preservation of its physical and chemical properties for a longer period. In this context, this work aimed to study the influence of convective drying on the final moisture of the avocado (*Persea Americana* Mill.) leaf, using a centrally rotated composite cubic design (CCCR) through the Statistica 13.5 software, for verification of optimal drying conditions. The experiments were carried out in a forced convection oven with air renewal, to obtain the drying kinetic curve and verify the operational variables (drying temperature and material load) in the final moisture of the material. The study showed that temperature is the operational variable that significantly influences the drying process, identified by the Pareto graph, ANOVA and response surface.

Keyword: Avocado leaf, Drying, Kinetics, Factorial planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Persea americana</i> (Abacateiro).....	8
Figura 2 - Folha de Abacateiro.....	9
Figura 3 - Produção de Abacate Mundial.....	11
Figura 4 - Países Produtores de Abacate pelo Mundo.....	12
Figura 5 - Secador de Leito Fixo.....	15
Figura 6 - Secador tipo bandeja.....	16
Figura 7 - Secador rotativo visto internamente.....	16
Figura 8 - Esquema de um secador tipo esteira.....	17
Figura 9 - Transporte simultâneo de energia e massa durante a secagem convectiva.....	18
Figura 10 - Curva típica de secagem.....	21
Figura 11 - Curva da taxa de secagem versus teor de umidade.....	23
Figura 12 - Localização do Abacateiro em propriedade particular em Manaus/AM.....	25
Figura 13 – Folhas de abacateiro coletadas para realização de secagem.....	25
Figura 14 - Secador Tecnal modelo TE394/2.....	26
Figura 15 - Balança digital.....	28
Figura 16 - Curva da cinética de secagem.....	30
Figura 17 - Curva cinética para folha do abacateiro a 60°C com 100g de carga.....	31
Figura 18 - Retração das folhas de abacateiro ao término do processo de secagem em estufa de convecção forçada.....	32
Figura 19 - Diagrama de Pareto para o tempo final de secagem da folha do abacateiro.....	33
Figura 20 - Superfície de resposta para o tempo final de secagem em função das variáveis operacionais (Temperatura e Massa).....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exportação Brasileira de abacate por continente, 2017	10
Tabela 2 - Distinções entre secagem e evaporação.	13
Tabela 3 - Delineamento experimental CCCR.....	27
Tabela 4 - Matriz de experimentos e resultados do planejamento fatorial.....	32
Tabela 5 - Análise de Variância (ANOVA) para a Variável de Resposta Umidade final.....	35

LISTA DE ABREVEATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

OMS	Organização Mundial da Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Instituto de Economia Agrícola
FAO	Food and Agriculture Organization
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
USP	Universidade de São Paulo
NaCl	Cloreto de Sódio
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
CCCR	Cúbico composto central rotacionado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	REVISÃO DE LITERATURA’.....	8
2.1	PERSEA AMERICANA, O ABACATEIRO.....	8
2.2	FOLHA DO ABACATEIRO	9
2.2.1	Aspectos Econômicos da <i>Persea Americana</i>	10
2.3	SECAGEM	12
2.3.1	Tipos de Secagem	14
2.3.2	Secadores de Folhas.....	14
2.3.3	Estudos de Secagem De Folhas.....	17
2.4	TRANSFERÊNCIA DE MASSA NO PROCESSO DE SECAGEM CONVECTIVA DE FOLHAS.....	18
2.5	CINÉTICA DE SECAGEM.....	20
2.6	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	MATERIAL.....	25
3.2	SECADOR CONVECTIVO.....	26
3.3	PLANEJAMENTO FATORIAL	26
3.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	TESTES PRELIMINARES	30
4.2	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	32
6.	PERPECTIVAS	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde, o conceito de plantas medicinais refere-se a substâncias com propriedades terapêuticas em um órgão ou em cada planta ou qualquer planta que seja o ponto de partida para a síntese de produtos químicos ou farmacêuticos. Segundo dados da OMS, cerca de 80% da população mundial se utiliza de plantas medicinais em que ao menos 30% o fazem sob prescrição médica. O uso de plantas medicinais é uma prática tradicional de pessoas em todo o mundo, até inspirada na própria Organização Mundial de Saúde. (ROCHA, 2013)

A quantidade excessiva de umidade nas plantas (folhas) propicia a atuação das enzimas, levando à degradação de componentes químicos e promovendo o crescimento de fungos e bactérias (FARIAS, 2003). Uma das alternativas de remoção da umidade presente nas células e tecidos, é a operação unitária denominada secagem.

A secagem de um material vegetal visa eliminar a umidade da superfície e do interior. Na região interna, previne alterações químicas nos tecidos vegetais, degradação durante o armazenamento e mantém suas propriedades físicas e químicas por um período mais longo. (PADILHA et al., 2009) No contexto da folha do abacateiro, a secagem tem como papel principal a preservação das propriedades terapêuticas, visando a diminuição da degradação da folha do abacateiro promovendo aumento da vida útil da folha bem como as demais propriedades presentes.

Na literatura, encontramos diversas aplicações de partes específicas do abacateiro dentre elas, as folhas, que têm efeitos: antiviral, anti- inflamatório e analgésico, anti-convulsante e regulador de glicemia, colesterolemia e pressão arterial (YAMASSAKI, 2010). Estudos recorrentes são realizados utilizando o mesocarpo do abacate, entretanto, poucos estudos são realizados com as partes descartadas na colheita (folhas dos abacateiros).

Atualmente, a disponibilidade de estudos e de dados referentes à secagem da folha do abacateiro é pequena, justificando assim, a realização deste trabalho que tem por objetivo geral estudar a influência da secagem convectiva na folha do abacateiro (*Persea Americana Mill.*) por meio de um planejamento fatorial 2^2 com ponto central, com 2 fatores independentes: temperatura e carga de material, 2 níveis com 2 repetições no ponto central tendo como objetivos específicos:

1. Realizar testes preliminares da cinética de secagem das folhas do abacateiro, na maior carga e menor temperatura, para fixação do tempo de secagem;
2. Obter as curvas de cinética de secagem das folhas do abacateiro;

3. Identificar a influência das condições operacionais de secagem: temperatura de secagem e carga de material no teor de umidade final do produto, através de um delineamento cúbico composto central rotacionado (CCCR)

2 REVISÃO DE LITERATURA'

2.1 PERSEA AMERICANA, O ABACATEIRO

Popularmente conhecido como abacateiro, a *Persea americana* é uma árvore frutífera oriunda do continente americano. Os abacateiros possuem comportamentos diferentes conforme a região onde se encontram, sendo algumas espécies como a antilhana vindo de regiões de baixas latitudes da América do Sul e da América Central pouco resistentes à baixas temperaturas, podendo ter suas características prejudicadas a temperaturas de -2°C. Espécies advindas de regiões de altas latitudes como o guatemalense são mais resistentes a temperaturas, assemelhando-se às laranjeiras neste parâmetro (ZARO et al., 2014).Dentre os abacateiros, existem diversos cultivares onde neles ocorrem mudanças significativas quanto ao teor de óleo na polpa de acordo com a época, região de produção dos frutos. (OLIVEIRA et al., 2013)

De acordo com Fonseca (1922) a *Persea americana* é:

Árvore de casca pardacenta, que pode atingir até 20 metros de altura, caule um pouco tortuoso e copa enorme, onde se encontram folhas alternas, pecioladas, lanceoladas e acuminadas; as flores são branco-pálidas, pequenas e pouco vistosas; fruto do tipo baga oval, podendo chegar até 20 centímetros de comprimento, com polpa verde, comestível, que envolve a semente grande e marrom (FONSECA, 1922).

A linhagem conta com aproximadamente 50 gêneros e 2500 espécies, das quais no Brasil estão presentes 25 gêneros e cerca de 400 espécies. Uma família de destaque são as Lauraceae na composição florística referente a uma grande parte dos ecossistemas florestais, destacando-se a mata Atlântica em florestas da região Sul do Brasil (YAMASSAKI, 2010). Na Figura 1 é apresentado um exemplo de *Persea Americana*.

Figura 1 - *Persea americana* (Abacateiro).



Fonte: <https://loja.paraissodasarvores.com.br/abacateiro-abacate.html> (2021)

2.2 FOLHA DO ABACATEIRO

O abacateiro possui folhas grandes simples, alongadas em formato elíptico, alternadas com brilho intenso na parte superior e foscas na inferior- assim como se observa na Figura 2- em fases de início de sua vida chegam a ser avermelhadas (YAMASSAKI, 2010). Nas folhas do abacateiro é encontrado alguns metabólitos secundários como por exemplo: alcaloides, taninos, saponinas e flavonoides (ADEYEMI, OKPO, OGUNTI, 2002). Destacam-se também a existência de fenóis totais ($1,22 \pm 0,52\%$) e flavonoides ($0,58 \pm 0,09\%$) sem contar saponinas, taninos, alcaloides, antraquinonas, triterpenos e flobataninos. (ASAOLU et al., 2010)

As folhas do abacateiro comportam-se como uma ferramenta etnobotânica eficaz para o tratamento e gerenciamento de problemas causados pela hipertensão. O extrato aquoso tem efeito vasodilatador, que pode ser decorrente da inibição do fluxo de Ca^{++} através de canais voltagem-dependentes de fatores de relaxamento derivados do endotélio vascular. (OWOLABI, JAJA, COKER, 2005)

Figura 2 - Folha de Abacateiro.



Fonte: <https://www.greenme.com.br/consumir/remedios-caseiros/74000-folha-do-abacate> (2021)

Hemorragia, hipertensão, dor de estômago, bronquite, diarreia e diabetes são algumas das enfermidades tratadas popularmente com a folha do abacateiro. Em suma, as folhas são as partes do abacateiro mais utilizadas na medicina popular para tratamento de reumatismo, problema de rins, bexiga e fígado. (ADEYEMI et al., 2002)

Segundo Richling (1998), levando em consideração o aspecto fitoquímico do abacateiro pode-se ressaltar as vitaminas A, B1, B2, B3, B5 e B6, C, E, ácido fólico. Vitaminas essas essenciais para o bom funcionamento do corpo humano.

Além do valor nutricional da fruta, as folhas e outras partes morfológicas da *Persea americana* também têm valor medicinal e são amplamente utilizadas na medicina tradicional em muitos países africanos. Por exemplo, a polpa das frutas das plantas é usada na África do Sul como um afrodisíaco e um agente menstrual enquanto os extratos de água quente extraídos das folhas das plantas são tomados por via oral em muitos países da África Ocidental como diurético e agente terapêutico para a pressão arterial. Na Nigéria, a folha *Persea americana* tem sido usada como um antitussígeno, antidiabético e anti-hipertensivo eficaz; além de um analgésico e anti-inflamatório. (OJEWOLE; AMABEOKU, 2006)

2.2.1 Aspectos Econômicos da *Persea Americana*

A utilização do azeite de *Persea Americana* tem tido um crescimento significativo no passar dos anos, em destaque dentre os consumidores estão os atletas, antes e depois das práticas esportivas por promover a reposição de sais minerais (AGUIAR; PANDOLFI; ESTRACINE, 2020)

No ano de 2019 foi produzido no Brasil cerca de 243 mil toneladas de abacate, totalizando uma arrecadação anual de R\$ 362,21 milhões. Destacam-se como grandes produtores os seguintes estados: São Paulo (R\$ 160,9 Milhões), Minas Gerais (R\$ 113,6 Milhões) e Paraná (R\$ 42 Milhões). O Amazonas possui uma participação de 411 mil reais no total arrecadado. (IBGE,2019)

Diante de todos os benefícios e alta aceitação por parte da sociedade que vem se remodelando a um estilo de vida mais saudável, o abacate (*Persea Americana*), se torna um produto com uma alta procura por parte das pessoas. A Tabela 1 expõe o quantitativo de abacate exportado do Brasil para outros continentes. (BAPTISTELA; COELHO, 2019)

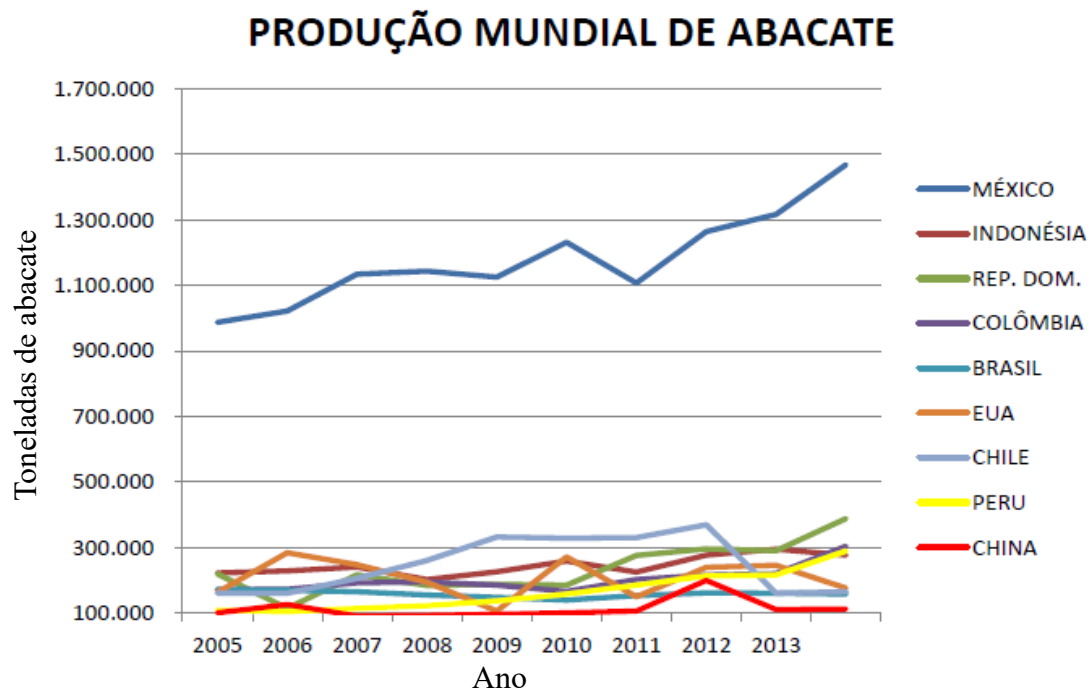
Tabela 1 - Exportação Brasileira de abacate por continente, 2017

Continente	Volume	Valor (US\$)
Europa	4.481.121	5.190.903
América do Norte	26.873	31.127
América do Sul	6.000	10.839
Ásia	5.120	18.878
Oceania	2.408	2.338
Total	4.521.522	5254085

Fonte: Adaptado de BAPTISTELLA, (2019)

No ano de 2018, a produção global de abacate chegou a 5,9 milhões de toneladas em virtude do rápido crescimento nos últimos anos. Os países que possuem as maiores produções de abacate no mundo são: México com 34,26% do total, seguido da República Dominicana com 10,76%, Peru com 7,86%, Indonésia com 6,12%, Colômbia com 5,3% e o Brasil com 3,59% (FAO,2020). A Figura 3 apresenta as curvas referentes as produções de abacate ao redor do mundo, observa-se que apesar do passar dos anos a maioria dos países mantiveram-se estáveis no que se refere à produção do fruto.

Figura 3 - Produção de Abacate Mundial.



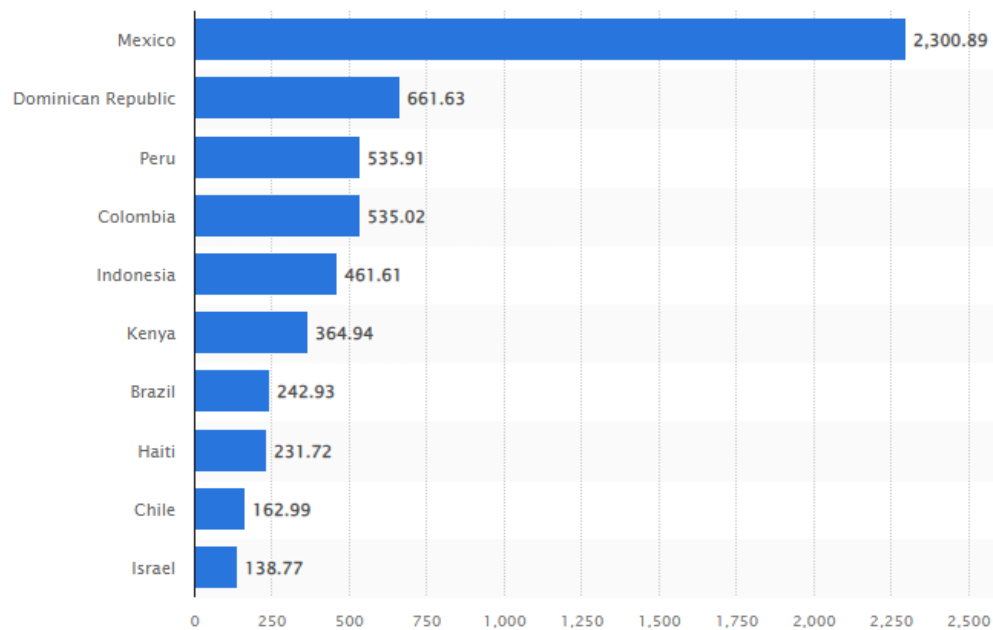
Fonte: Adaptado FAO (2015)

Ao se levar em conta aspectos como quantidade de área plantada, o Brasil se encontra na décima sexta posição, com uma produtividade de praticamente o dobro do que a média mundial. Essa alta produtividade do abacate brasileiro está relacionada com maior concentração em tipos tropicais, que são frutos com a massa consideravelmente maior (FAO, 2018; TODA FRUTA, 2018).

A produção de Abacate do Brasil tem uma participação de apenas 0,26% do total mundial, ocupando a décima sétima posição dentre os países exportadores. Ainda assim, o Brasil teve um

crescimento de 34,9% no que se refere ao produto exportado de 2014 para 2017, crescendo a expectativa de que o mercado continue expandindo. Dentre os países exportadores pode-se citar os seguintes: México (44,63%), Peru (14,95%), Holanda (12,79%), Chile (5,42%) e Espanha (4,4%). Estes países sozinhos no ano de 2018 representam 82,19% da exportação global de abacate. Em contrapartida os que mais importam abacate são: Estados Unidos, Holanda, França, Espanha e Reino Unido, estes que juntos somam 69,52% das importações (AGRIANUAL, 2020; ME/SECEX, 2018; FAO, 2018;). A Figura 4 apresenta um panorama atual dos países produtores de abacate em 1000 toneladas.

Figura 4 - Países Produtores de Abacate pelo Mundo.



Fonte: Adaptado de GLOBAL AVOCADO PRODUCTION (2021).

2.3 SECAGEM

Pode-se definir secagem como uma operação unitária através da qual faz-se remoções de determinados teores de umidade de um determinado material de estudo. Uma operação muito semelhante a esta é a evaporação que por sua vez consiste na realização da concentração de soluções líquidas. A Tabela 2 demonstra alguns aspectos principais entre dentre as diferenças destas duas operações unitárias.(CELESTINO, 2010)

Tabela 2 - Distinções entre secagem e evaporação.

Secagem	Evaporação
Remoção de umidade de um material sólido.	Remoção de umidade de uma solução líquida.
Remoção de umidade por centrifugação ou por vaporização.	Remoção do líquido por uma vaporização.
A evaporação ocorre em uma temperatura inferior à temperatura de ebulição do líquido que se quer retirar do material sólido.	A vaporização ocorre na temperatura que se quer retirar da solução líquida.

Fonte: CELESTINO (2010)

De acordo com Park et al. (2001) a secagem demonstra ter vantagens quando tratado no meio alimentício como por exemplo:

- Melhoria e facilitação na conservação do produto;
- Estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por faixas de tempo alongadas;
- Protege contra a degradação enzimática e oxidativa;
- Diminuição da massa.

Durante o processo da secagem ocorre a transferência de umidade através do contato com uma fase gasosa não saturada. A umidade da amostra alimentado ao secador por ser constituída por uma camada líquida na superfície do sólido, fixada em um sólido úmido ou numa solução dissolvida de algum líquido (OLIVEIRA, 2010). Este mecanismo se distingue das demais maneiras de remoção de água por alcançar níveis menores de conteúdos úmidos chegando a 3%, no qual a atividade de água no alimento impossibilita a proliferação de micro-organismos e determinadas reações químicas não desejadas. Em resumo, este alimento torna-se consumível sem gerar nenhum risco a integridade física de quem o ingere. (ORDÓÑEZ et al., 2005)

Segundo Farias (2011), no processo de secagem por convecção, o calor é transferido para o produto por meio da convecção da corrente de ar aquecida, removendo assim a umidade do produto. Quando ocorre uma mudança de estado dentro do corpo, esse calor é usado para evaporar o líquido na superfície sólida ou na camada próxima à superfície (BROOKER et al., 1992). O vapor produzido é retirado através de fluxo de ar, podendo ser por meio de convecção natural ou forçada.

Após a umidade ter sido removida da superfície e das camadas exteriores, faz-se um gradiente de umidade no interior do produto acarretando um processo migratório de umidades das camadas mais centrais para as demais externas até que chegue à superfície. (FIOREZE, 2004)

2.3.1 Tipos de Secagem

- **SECAGEM CONTÍNUA**

Muito utilizado para realização de secagem de grãos, onde são introduzidos úmidos e mantidos em contato com o ar aquecido, o qual remove a umidade presente nos grãos ao longo do tempo. Desta forma, a secagem contínua tem por finalidade, passar as sementes uma única vez através da fonte de calor, de forma que entrem úmidas pela parte superior do secador e a ação do aquecimento faz com que percam a umidade. Sendo assim, flui continuamente no corpo do grão por meio da gravidade e saindo seca na sua base que é o local de resfriamento desse material. (TORRES, 2006)

- **Secagem Estacionária**

A secagem estacionária ocorre quando não há movimentação do produto durante a secagem. Muito utilizada em grãos que são postos em silos secadores que sofrem interferências da ação do ar aquecido. Este tipo de secagem apresenta uma baixa capacidade de secar devido à altura da camada de sementes a ser regulada pelo espaço de entrada da secagem e o fluxo de ar envolvido, para os grãos. Porém, pode ser aproveitada para fins específicos tendo uma performance razoável. (GARCIA et al., 2001)

- **Secagem Intermitente**

A secagem intermitente é uma secagem descontínua que requer a aplicação de calor. É caracterizada pela passagem descontínua de ar pelo produto em movimento, promovida pela recirculação das sementes no secador. (FUNGUETO, 2003)

2.3.2 Secadores de Folhas

Levando em consideração aplicações industriais e acadêmicas os equipamentos utilizados para realizar o processo de secagem são diversos conforme a necessidade que for requisitada (RICRATITO, 2019), são mais de duzentos tipos de configurações de secadores. Ressalta-se que para cada finalidade, faz-se necessário a determinação de parâmetros de processo como:

temperatura da câmara de secagem, pressão, velocidade e umidade relativa do ar e o tempo de permanência do produto. Condições essas especificadas conforme o sistema de alimentação, características do produto e método de secagem utilizado. (CANABARRO, 2019) Os secadores mais comuns para secagem de folhas são os Secadores de Leito fixo e de Esteira.

1.1.1.1 Secador de leito fixo

Os secadores de leito fixo compõem-se por uma coluna, com sua base úmida a um distribuidor de gás, que tem por finalidade promover a injeção uniforme e igualmente distribuída da fase gasosa na base da coluna. Para formar o leito, as partículas úmidas são colocadas de forma aleatória no interior da coluna, fazendo com que seja garantido o empacotamento aleatório que não facilite a existência de caminhos facilitadores de escoamento. A falta de facilidade na secagem de leitos de camadas espessa aparecem devido aos elevados gradientes de umidade e temperatura que se apresentam ao longo do equipamento e ao encolhimento e deformação observado para matérias de origem biológica como folhas e sementes cujas propriedades podem ser alteradas significativamente durante o processo da secagem. (ALBINI; FREIRE; FREIRE, 2018; LIMA, 2013) A Figura 5 apresenta um modelo de secador de leito fixo industrial.

Figura 5 - Secador de Leito Fixo



Fonte: INDIAMART (2021)

A secagem convectiva é o método que mais são realizadas para a secagem de folhas e os experimentos são direcionados, usualmente por meio do uso de leito fixos de camadas delgadas de material. (ERBAY E ICIER, 2010) A secagem sob essas métricas possibilita a análise da cinética de secagem de materiais submetidos à diferentes condições de secagem, sendo utilizados como suporte para o entendimento dos fenômenos de transferência de calor e massa. (FUMAGALLI, 2007)

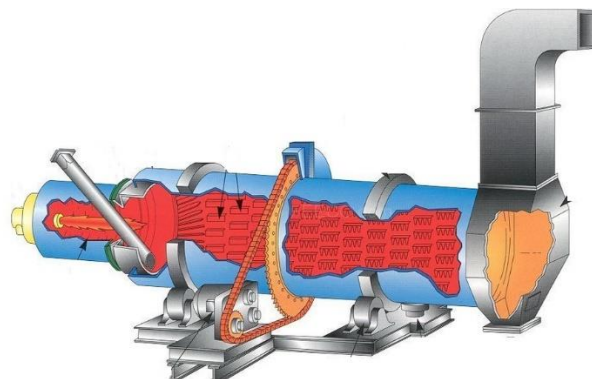
Os secadores de leito fixo mais utilizados são os solares, de câmara de armazenamento, de forno e de bandeja. A Figura 6 apresenta um exemplo de secador do tipo bandeja, enquanto a Figura 7 traz o modelo de secador rotativo. (GEANKOPLIS, 1993)

Figura 6 - Secador tipo bandeja.



Fonte: UFRGS (2020)

Figura 7 - Secador rotativo visto internamente.

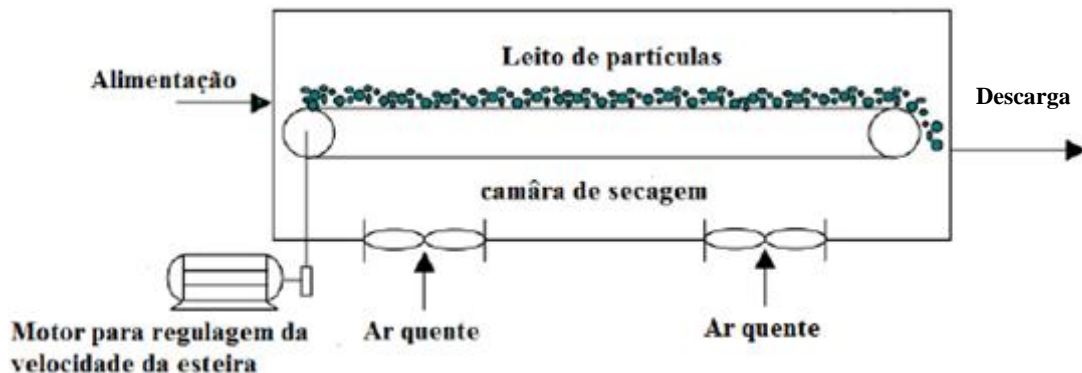


Fonte: Adaptado de UNIVERSIDADE DO MINHO (2021)

1.1.1.2 Secadores do tipo esteira

Com uma grande versatilidade e simples funcionamento os secadores do tipo esteira são os mais utilizados no âmbito industrial. O material a ser seco é transportado por meio de uma esteira de aço perfurada, onde o ar quente é forçado a passar através do leito de partículas que serão secas. Devido a enorme gama de produtos em que este secador pode atuar são ínfimas as tecnologias que podem se igualar a ele. Pode-se citar como produtos perfeitamente possíveis de serem secos através deste equipamento: folhas, cereais e sementes (MUJUNDAR, 2006; FUMAGALLI, 2007; ZANOELO, 2008). A Figura 8 apresenta um exemplo esquemático de um secador do tipo esteira.

Figura 8 - Esquema de um secador tipo esteira



Fonte: Adaptado de ZANOELO et al (2008)

2.3.3 Estudos de Secagem De Folhas

Na literatura não se encontra trabalhos referente à secagem de folha do abacateiro em específico, entretanto, Canabarro (2019) identificou em seu estudo focado em secagem convectiva de folhas de oliveira e pitangueira, que o rendimento, a composição, a concentração de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos extratos de pitangueira e oliveira são diretamente afetados pelas condições de secagem. As condições mais adequadas, segundo esse autor, para a preservação de compostos bioativos foram: 60 °C e 70 °C em uma hora para as folhas de pitangueira e de oliveira, respectivamente. Ratificando que o tempo de exposição ao ar de secagem, tem impacto significativo na degradação da composição e da qualidade dos extratos de ambas as folhas.

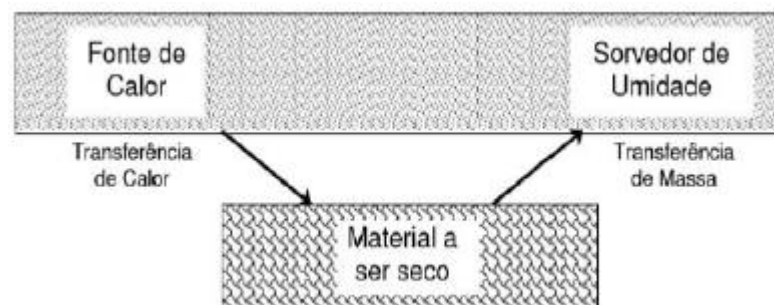
Yamassaki (2017) realizou a caracterização química, ensaios de estabilidade e atividades biológicas de extratos das folhas de *Persea americana mill.* E mostrou que as folhas são promissoras fontes de compostos fenólicos antioxidantes. As folhas do abacateiro são ricas em compostos fenólicos com inúmeras estruturas químicas, entretanto, estes compostos parecem degradar ou ficar indisponíveis à extração hidroalcoólica em folhas submetidas a altas temperaturas. Desta forma, o controle rígido da metodologia de secagem das folhas parece ser imprescindível para a manutenção dos altos níveis de compostos fenólicos e a consequente atividade antioxidante dos extratos resultantes.

Em solução, os compostos fenólicos de *Persea americana* apresentam grande estabilidade quando submetido a altas temperaturas (até 65°C) ou estocagem. Neste sentido, uma vez que já são utilizadas pela população na forma de infusões ditas terapêuticas, as folhas do abacateiro se apresentam não somente como fonte de compostos fenólicos, mas também como potencial matéria prima de uma bebida antioxidante com alto grau de conservação (YAMASSAKI, 2017).

2.4 TRANSFERÊNCIA DE MASSA NO PROCESSO DE SECAGEM CONVECTIVA DE FOLHAS

A característica da secagem por convecção é que o ar quente está em contato direto com a superfície do alimento, e a energia se difunde através da parte interna do alimento, gerando um gradiente de pressão de vapor d'água entre o interior e o exterior do alimento. Este gradiente promove a remoção de umidade da parte interna do produto para a superfície do produto, onde um sorvedor com ar em movimentação entra em ação transportando todo vapor de água formado. A Figura 9 ilustra este processo (PARK et al., 2008)

Figura 9 - Transporte simultâneo de energia e massa durante a secagem convectiva.



Fonte: Park et al (2008)

O processo de secagem é dinamizado através do esquema apresentado na Figura 9, onde a energia é excitada pela fonte de calor (por meio da transferência de calor) para a superfície sólida úmida, promovendo assim a evaporação do líquido da superfície do material. Portanto, a umidade é trazida de dentro do material para a superfície do sólido por um mecanismo de secagem e, em seguida, evapora (transferência de massa). O vapor gerado pela secagem é arrastado de umidade, reduzindo a umidade no meio de secagem e melhorando a eficiência do processo. (PONTES, 2014)

A secagem das folhas acontece quando a umidade em forma de vapor é retirada da superfície do material para o ar de secagem, trazendo à tona um material parcialmente ou até mesmo totalmente desidratado. A evaporação da umidade acontece por meio da disponibilização de energia em forma de calor da fase gasosa para a fase sólida, onde a princípio o calor é transferido por convecção até a superfície do sólido e depois disso por condução através do sólido. A secagem do material acontece de forma efetiva quando o vapor de umidade da superfície do sólido é retirado por meio de mecanismos de transferência de massa convectivos e difusivos (CANABARRO, 2019). O equacionamento do fenômeno, não considerando os mecanismos envolvidos no processo de secagem, pode ser representado de forma generalizada por meio do fluxo de vapor na interface (CHEN, MUJUMDAR 2009):

$$N_v'' = h_m(\rho_{v,s}(T_s) - \rho_{v,\infty}) \quad (1)$$

onde:

- N_v'' é o fluxo de vapor ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$);
- h_m é o coeficiente de transferência de massa (m.s^{-1});
- $\rho_{v,s}$ é a concentração de vapor na superfície do material (kg.m^{-3});
- $\rho_{v,\infty}$ é a concentração de vapor nas vizinhanças (kg.m^{-3}).
- T_s : Temperatura da superfície

Os mecanismos internos de transferência de massa são limitantes no processo. O modelo que se segue tem sido amplamente aplicado para processos de secagem em camada fina de

diferentes materiais (ERBAY; ICIER, 2010b; PERAZZINI, 2014), tendo como base a conservação de massa desconsiderando o termo de geração ou consumo. Logo, por meio da aplicação de um balanço de massa em um elemento de volume infinitesimal (meio poroso, porém fluido) levando em conta como um meio pseudo-homogêneo, desconsiderando o encolhimento do meio poroso chega-se a uma equação diferencial que na forma unidimensional, tem forma similar a 2ª lei de Fick, tendo como resultado a equação 2.

$$\frac{\partial M_s}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 M_s}{\partial x^2} \quad (2)$$

onde:

- M_s : é o conteúdo de umidade do sólido (kg água/kg sólido seco);
- x : direção do fluxo difusivo interno de água(m);
- t : tempo de secagem(s);
- D_{eff} : Parâmetro efetivo que leva em consideração todos os mecanismos presentes no processo.

Devido aos mecanismos de transferência envolvendo materiais particulados como as folhas serem diversos e pela dificuldade analítica destes mecanismos de forma isolada (PERAZZINI; 2012), tem-se como definição a difusividade efetiva D_{eff} , um parâmetro efetivo que leva em consideração todos os mecanismos presentes no processo.

2.5 CINÉTICA DE SECAGEM

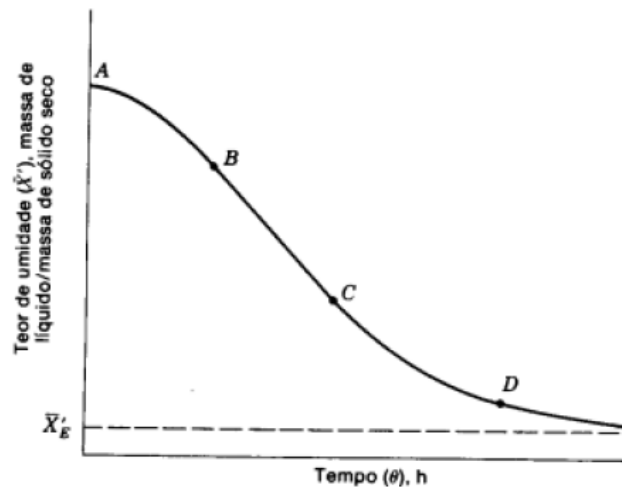
A secagem consiste em um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de umidade contida no mesmo por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido. (GONELI et al., 2014; ISQUIERDO et al., 2013;)

As pesquisas de transferência de calor e massa, além de padronizar o mecanismo de migração interna de umidade, torna possíveis o estabelecimento da taxa de secagem. Com a

sabedoria desse conhecimento destas variáveis envolvidas no processo para um dado produto pode-se analisar, projetar e até mesmo otimizar o tempo de secagem. (ALVES,2014)

A evolução da transferência simultaneamente de calor e massa durante a operação de secagem é dividida esquematicamente em três períodos, nos quais também é analisada a curva de evolução do teor de umidade do produto, temperatura e velocidade de secagem. É chamada de mudança da cinética de secagem ao longo do tempo. A Figura 10 mostra a curva típica de cinética de secagem tendo como base a transferência de calor e da massa.

Figura 10 - Curva típica de secagem



Fonte: FOUST et al., 1982.

Durante o período A, ocorre o processo inicial da secagem. Neste período acontece a elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor da umidade, onde não ocorre perda de umidade do produto. No período B tem-se a taxa constante do processo de secagem, onde a velocidade do processo é constante. Neste período a água evaporada do material se encontra sobre a superfície. Enquanto existir umidade na superfície do produto para ocorrer a evaporação, a taxa de secagem será constante. (ALVES, 2014)

No período C, o perfil da curva de secagem torna-se decrescente. O índice de umidade existente na superfície do produto é menor, por essa razão tem-se a redução na transferência de massa. Já em relação ao fluxo de calor, observa-se que ele não é compensado pela transferência de massa; o fator limitante nessa redução da migração de umidade do interior para a superfície de produto. No decorrer do processo de secagem a temperatura do produto é elevada seguindo para o ponto D e posteriormente atingindo a temperatura do ar de secagem no ponto D. Tais mudanças

persistem até o instante em que o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, onde o processo é finalizado. (ALVES, 2014)

Analisando a curva, verifica-se que se caracteriza pela redução do teor de umidade do produto durante a secagem, ou seja, o conteúdo de umidade do produto em base seca (X_{bs}), em relação à evolução do tempo de secagem (t), portanto, a curva é obtida através do peso do produto durante o procedimento de análise em uma determinada condição do processo. (ALVES, 2014)

Tem-se que a umidade é um dentre os parâmetros primordiais do ar de secagem, devido a sua grande influência no potencial para transferência de conteúdo úmido do sólido para o meio externo. O percentual de umidade está na relação direta entre a massa de água presente no material e tem como ser expressa das seguintes maneiras: (PARK et al., 2008)

Umidade em base seca (X_{bs}): em função da massa do produto dada pela equação (3): (TREYBAL,1980)

$$X_{bs} = \frac{mu}{mSs} \quad (3)$$

Onde:

- mu : Massa de umidade (kg)
- mSs : Massa de sólido seco (kg), determinado após a secagem;

$$X_{bu} = \frac{mu}{mSu} \quad (4)$$

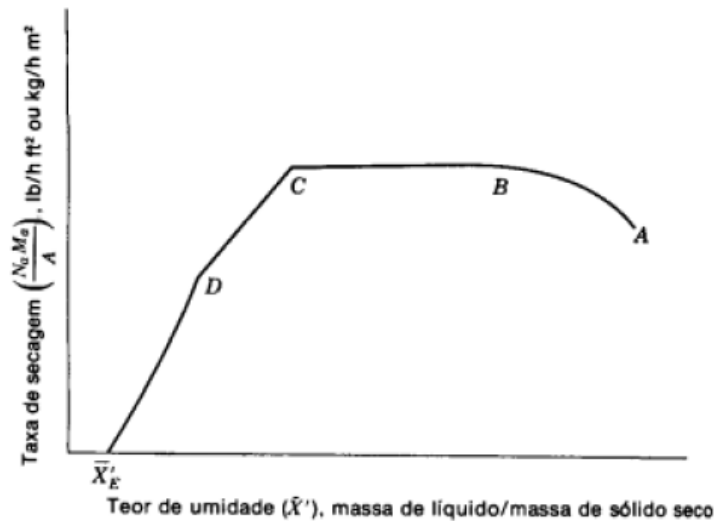
Onde:

- X_{bu} : Umidade em base úmida: em função da massa do produto (Massa do material seco com a massa de água contida no mesmo).

A Figura 11 apresenta o a curva da taxa de secagem. O intervalo AB, exposto na Figura 10, representa o primeiro período da secagem, onde a temperatura do sólido bem como a taxa de secagem aumenta até entrar no segundo estágio da secagem, o qual é representado pelo intervalo

BC, em que a taxa de secagem é constante. Este estado persiste até que a umidade no interior do sólido seja muito baixa, diminuindo a difusão da água para a superfície do sólido. Para materiais onde o transporte de massa é feito por difusão, que é o caso de sólidos orgânicos fibrosos, este intervalo é curto, dependendo das condições do ar (FOUST et al., 1982). A taxa de secagem pode ser obtida através da equação 5.

Figura 11 - Curva da taxa de secagem versus teor de umidade



Fonte: FOUST et al., 1982.

$$R = -\frac{m_{ss}}{A} \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

Onde:

- **R**: Taxa de secagem em base seca;
- **A**: Área;
- **m_{ss}** : Massa seca (Obtida experimentalmente).

2.6 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL

Com o intuito de otimizar experimentos, reduzindo a quantidade amostras e ensaios conseguindo resultados confiáveis e concisos, o projeto fatorial ou fracionário aborda uma

ferramenta de ajuda na pesquisa. Dessa maneira reduzindo custos e diminuindo variabilidade e convergência dos resultados para resposta que se deseja obter ocorre de forma mais acelerada, assim ampliando o grau de confiabilidade das informações geradas. (MELO.2002)

De acordo com Neves et al., (2002), este tipo de planejamento normalmente é representado por b^k , sendo que k representa o número de fatores e “ b ” o número de níveis escolhidos. Para estes autores o caso mais simples do planejamento fatorial é aquele em que cada fator k está presente em apenas dois níveis (experimento fatorial 2^k), ou seja, em um experimento com k fatores (ou variáveis) e dois níveis, são realizadas $2 \times 2 \times \dots \times 2$ (k vezes) 2^k observações da variável resposta. O delineamento composto central é um delineamento simétrico e de segunda ordem, constituído de duas partes: o fatorial 2^k , com um ou mais pontos centrais, e a parte axial.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

As amostras de folhas de abacateiro (*Persea Americana*) foram coletadas no mês de outubro de 2021, a uma temperatura local de 29 °C no bairro Morro da Liberdade, na zona sul de Manaus, cujas coordenadas são 3°08'15.4"S 60°00'10.8"W (Figura 12). A coleta das folhas ocorreu diretamente da árvore e de forma aleatória, apresentando tamanho e espessura diversificadas, como visualizado na Figura 13. À medida que as folhas eram coletadas, eram acondicionadas em sacolas plásticas, e posteriormente transportadas ao Laboratório do Grupo de Pesquisa Química Aplicada à Tecnologia, localizado na Universidade do Estado do Amazonas.

O processo de higienização das folhas adotado, deu-se pela utilização de folhas de guardanapos, para remoção de resíduos presentes nas amostras.

Figura 12 - Localização do Abacateiro em propriedade particular em Manaus/AM



Fonte: Ferramenta MAPS (2021)

Figura 13 – Folhas de abacateiro coletadas para realização de secagem



Fonte: Própria

3.2 SECADOR CONVECTIVO

O secador utilizado nos experimentos, foi uma estufa de circulação forçada com renovação de ar, da marca Tecnal modelo TE 394/2, conforme ilustra a Figura 14. Trata-se de uma estufa com três bandejas horizontais de 770 mm por 780 mm, distando 130 mm entre as bandejas. As suas dimensões externas são, 800 mm de largura por 780 mm de profundidade com 1160 mm de altura, apresentando volume interno de 220 L. Possui também, um motor de $\frac{1}{4}$ CV operando a 220 V com potência de 1500 W. O controle de temperatura é digital com sistema PID e a precisão do controle de ± 1 °C, com uniformidade de operação ± 4 °C. (TECNAL, 2018)

Figura 14 - Secador Tecnal modelo TE394/2



Fonte: Própria.

3.3 PLANEJAMENTO FATORIAL

Os ensaios da cinética de secagem das folhas do abacateiro obedeceram ao delineamento cúbico composto central rotacionado (CCCR), com objetivo de verificar quais variáveis independentes: carga de material e temperatura, influenciariam na umidade final do material.

Na Tabela 3, está apresentado o delineamento cúbico composto central rotacionado (CCCR) com 2 fatores independentes, temperatura e carga de material, e 2 níveis, com 5 repetições no ponto central. A análise completa gerou treze experimentos e foi obtida a partir do Statística 13 versão 17. Vale ressaltar que, os ensaios realizados com os níveis superior e inferior foram efetuadas de uma única vez.

Os ensaios foram realizados aleatoriamente, de forma que não fossem tendenciosos e aumentasse a confiabilidade dos dados. A ordem dos experimentos obedeceu a seguinte sequência 12(C), 10(C), 13, 6 (C), 5, 2, 7, 9, 1, 4(C), 11, 3 e 8(C), onde (C) significa o ponto central referente ao planejamento experimental.

Tabela 3 - Delineamento experimental CCCR

Ensaio	Carga de material (g)	Temperatura (°C)
1	100 (-1)	50 (-1)
2	200 (+1)	60 (+1)
3	200 (+1)	50 (-1)
4 (C)	150 (0)	55 (0)
5	100 (-1)	60 (+1)
6 (C)	150 (0)	55 (0)
7	220,711 (+1,41)	55 (0)
8 (C)	150 (0)	55 (0)
9	150(0)	62,0711 (+1,41)
10 (C)	150 (0)	55 (0)
11	150 (0)	47,9289 (-1,41)
12(C)	150(0)	55 (0)
13	79,289 (-1,41)	55 (0)

Fonte: Statística (2021)

Os níveis de cada fator foram escolhidos de acordo com as limitações práticas do experimento. A carga de material foi fixada de maneira que, o material estivesse dimensionado

com a bandeja de alumínio. E a temperatura variou de acordo, com a indicada na literatura para secar produtos naturais, sem perda de suas características organolépticas.

Os resultados foram analisados no *Software* Statistica versão 13.5 para a geração de gráficos de superfície e modelo matemático, além de análise variância (ANOVA) com $p = 0,05$. Além disto, também foi realizado o Teste F para averiguar a qualidade do modelo gerado.

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos de secagem foram conduzidos em uma estufa de circulação forçada (Tecnal, modelo TE-394-1), conforme disposto no delineamento. Inicialmente, as folhas de abacateiro foram dispersadas em uma bandeja de alumínio, com 20 cm de largura e 30 cm de comprimento (Figura 13). Em seguida, foram realizadas as aferições da perda de massa das amostras ao longo do experimento, monitoradas através de uma balança digital da marca Black+Decker, (Figura 15), com dimensões 26.5 x 4.3 x 21 cm, com capacidade de até 5kg.

Figura 15 - Balança digital



Fonte: Amazon, 2021.

A massa de sólido seco foi determinada pelo método padrão de estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, realizado em triplicata, de acordo com adaptação (MENDONÇA, 2015). A determinação da umidade (X_{bu}), em base úmida, em função do tempo de secagem foi calculada por meio da Equação 6.

$$X_{bu} = \frac{m_{ut} - m_{ss}}{m_{ui}} \times 100 \quad (6)$$

em que X_{bu} é a umidade do material em base úmida, m_{ut} é massa úmida com o tempo e m_{ui} é massa úmida inicial, m_{ss} é a massa de sólido seco.

A razão de umidade (MR), também foi calculada para fins de normalizar as diferentes umidades iniciais do material, a qual foi calculada mediante a equação (7):

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (7)$$

em que X é a umidade do material em um dado tempo t , X_e é a umidade de equilíbrio e X_0 é a umidade inicial do material,

Inicialmente foi realizado um teste preliminar, que consistiu na obtenção da curva de cinética de secagem das folhas com maior carga e menor temperatura, com intuito de identificar o tempo necessário para alcançar peso constante e assim ter um parâmetro do tempo estimado para os demais experimentos. Em todos os ensaios de secagem efetuados, amostras de folhas foram pesadas a cada 5 minutos, nos primeiros 30 minutos de secagem, e a cada 10 min até peso constante (mínimo de três pesagens). Sendo assim, foi possível determinar a umidade do material com o decorrer do tempo e conseqüentemente obter a da curva de cinética de secagem das folhas do abacateiro. Vale ressaltar que, para verificar a influência das condições operacionais na umidade final, foi estabelecido um delineamento como resposta, a umidade do material obtida no tempo de secagem de duas horas e trinta minutos para todos os experimentos.

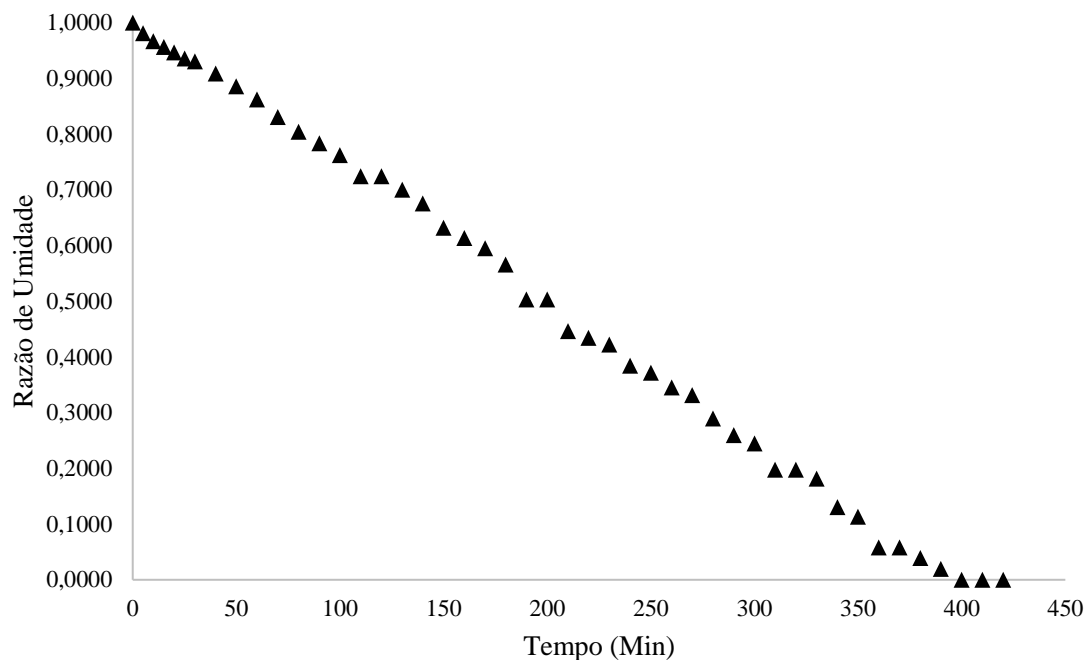
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados resultados referentes à secagem convectiva das folhas do abacateiro, de acordo com o delineamento cúbico composto central rotacionado (CCCR) designado para este estudo.

4.1 TESTES PRELIMINARES

Na Figura 16, pode-se identificar na curva de cinética de secagem das folhas do abacateiro na temperatura de 48°C e carga de 200g (pior condição de secagem) que, em torno de 420 minutos de secagem em três pesagens consecutivas, não houve alterações significativas na umidade do material.

Figura 16 - Curva da cinética de secagem.

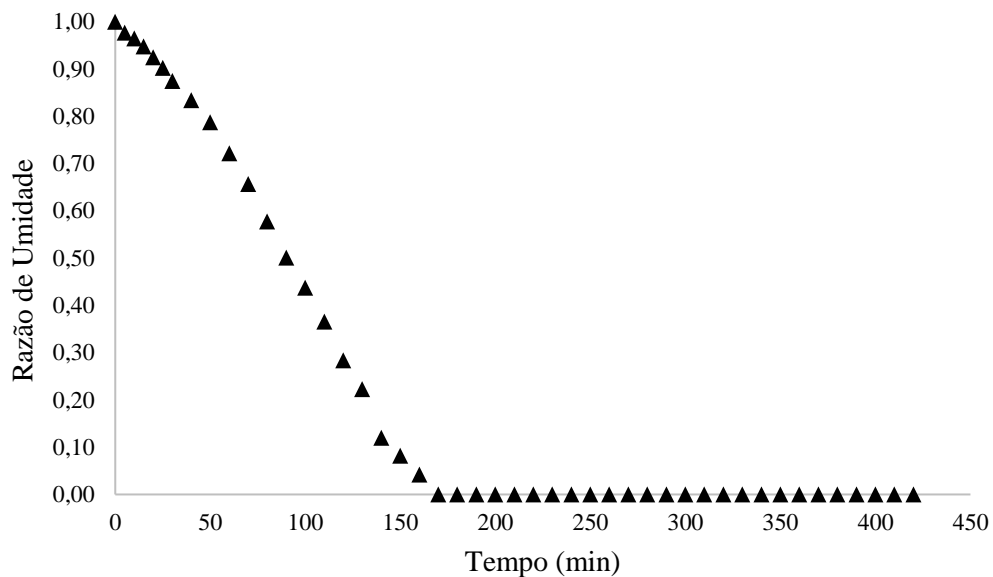


Fonte: Própria

A cinética de secagem para a folha do abacateiro (Figura 16), apresentou-se um comportamento semelhante ao previsto por LIMA (2013) e ROSANOVA et al (2017), que estudaram a secagem de folhas de manjeriço e hortelã.

Ao comparar as curvas de cinéticas de maior carga e menor temperatura, com aquelas de menor carga e maior temperatura (Figura 17), observa-se que a temperatura do ar de secagem exerceu um impacto fundamental no que diz respeito a cinética de secagem em estufa de circulação forçada para a folha do abacateiro.

Figura 17 - Curva cinética para folha do abacateiro a 60°C com 100g de carga.



Fonte: Própria

Canabarro (2019), explica que este rápido decaimento pode ser devido ao aumento da temperatura que, consequentemente implica no aumento da energia fornecida ao leito de folha, resultando numa maior agitação das moléculas de água presentes no interior da folha. Em todas as temperaturas investigadas, é possível observar um comportamento similar. Conforme o trabalho realizado por PIN et al. (2009), onde os autores analisaram os efeitos da temperatura de secagem na cinética do processo e na composição dos principais constituintes encontrados nas folhas de *Piper Batle L.*, foram observadas que a secagem ocorre preferencialmente no primeiro período cinético decrescente, ademais foi verificado durante os experimentos que as folhas passam por um fenômeno chamado retração (do inglês “*rolling*”), devido a perda de umidade ao longo da secagem

(Figura 18), o qual também contribui na diminuição da área de contato entre o ar de secagem e o sólido, consequentemente, dificultando a transferência de calor e massa. (LIU; GUO; WANG, 2018; O'TOOLE; CRUZ; SINGH, 1979)

Figura 18 - Retração das folhas de abacateiro ao término do processo de secagem em estufa de convecção forçada



Fonte: Própria

4.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Os resultados obtidos para cada ensaio de secagem nas folhas, conforme proposto no delineamento cúbico composto central rotacionado (CCCR), são apresentados na Tabela 04.

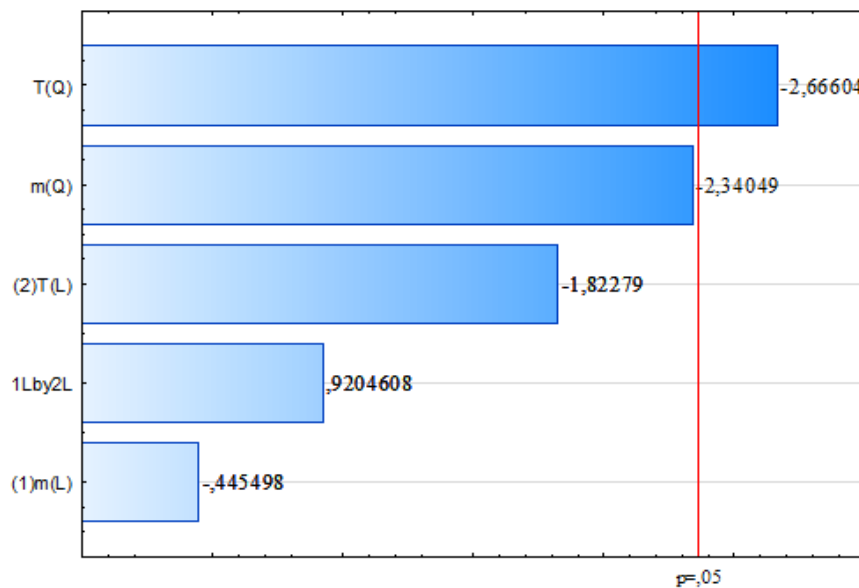
Tabela 4 - Matriz de experimentos e resultados do planejamento fatorial

Ensaio	Temperatura °C	Carga (g)	Umidade Final
1	50	100	0,3950
2	60	200	0,0800
3	50	200	0,0833
4	55	150	0,5555
5	60	100	0,0211
6	55	150	0,5397
7	55	220,711	0,4389
8	55	150	0,4660
9	62,0711	150	0,2182
10	55	150	0,4890
11	47,9289	150	0,4521
12	55	150	0,4960
13	55	79,289	0,2992

Fonte: Própria

Na Tabela 4 observa-se que o ensaio em que se alcançou mais rapidamente a estabilização da massa em relação aos demais foi o ensaio 5, demandando 180 minutos para estabilização da massa, cuja temperatura era maior e a carga menor, já descrito na curva da Figura 17. Também foi possível analisar a influência das variáveis operacionais, carga de material e temperatura de secagem, na umidade do material estatisticamente com o *software* Estatística versão 13.5, os quais estão representados na Figura 19.

Figura 19 - Diagrama de Pareto para o tempo final de secagem da folha do abacateiro.



Fonte: Própria

Na Figura 19, nota-se que a temperatura T(Q) de secagem é a variável exclusiva que influencia no tempo final de secagem a um nível de confiança de 95%. Como o sinal foi negativo (-2,66604) infere-se que esta variável tem influência negativa sobre a umidade final das folhas de abacateiro. Isto é, quando do nível (-1) para o nível (+1), umidade tem uma maior redução do seu teor. Esse resultado é observado devido nessas condições ocorrerem as maiores taxas de transferência de calor e massa.

Silva (2020) em seu estudo de secagem de folha de guajiru, obteve resultados semelhantes, onde seu menor tempo de secagem foi em uma temperatura de 70°C em 40 minutos para 100 gramas de folha. Já Oliveira (2018) alcançou um tempo de secagem de 140 minutos a uma temperatura de 70°C para folha de da graviola. Essas diferenças de tempo de secagem variam conforme a morfologia de cada folha.

O modelo estatístico não codificado gerado, a partir da regressão linear múltipla dos dados experimentais do processo de secagem da folha do abacateiro e das variáveis independentes que foram estatisticamente significativas, está representado na equação 9, o qual prediz o comportamento da umidade final em função das variáveis operacionais massa (M) e temperatura (T)

$$Y = -14,26 + 0,555.T \times T \quad (9)$$

Na análise de variância tem-se os parâmetros dispostos na Tabela 5. Obteve-se uma variância explicada (R^2) de 0,7 (70%). Isto significa que o modelo proposto neste trabalho, é explicado pela variação da massa e temperatura, sendo que a temperatura é mais significativa como se pode observar no gráfico de Pareto disposto na Figura 19. O percentual de relevância alcançado explica-se pela quantidade de variáveis envolvidas no processo de secagem, porém ressalta-se que as variáveis escolhidas para análise possuem uma influência notável neste processo. O Coeficiente de Fisher (F), demonstra a representatividade dos fatores operacionais e das interações na umidade (variável de resposta), tendo a capacidade de tornar o modelo previsível. O valor de 7,1079 – destacado na Tabela 5 - significa que essa temperatura tem uma caracterização enfática para o processo de secagem.

Os resultados de SOUZA (2011) em seu estudo de cinética de secagem do nabo forrageiro, também constata através de dados estatísticos, a temperatura como ponto de principal no impacto no processo de secagem.

Tabela 5 - Análise de Variância (ANOVA) para a Variável de Resposta Umidade final.

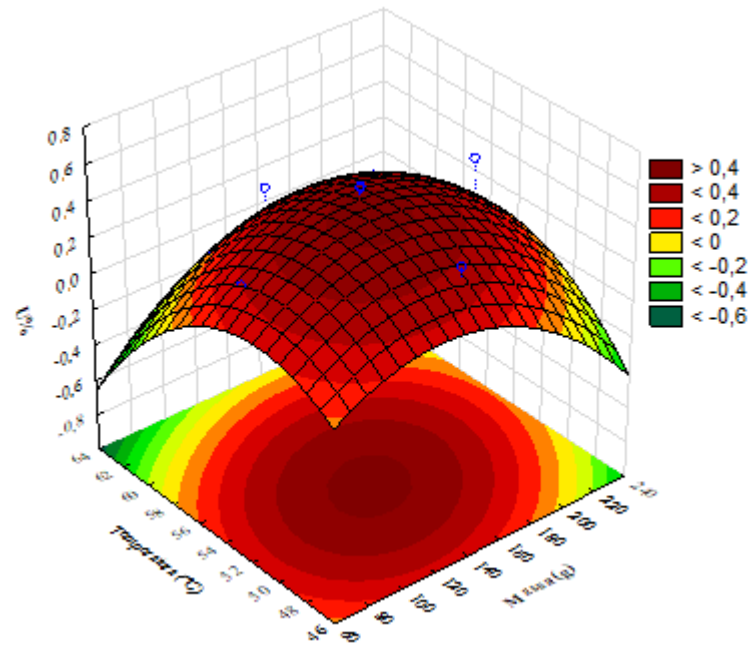
Efeitos	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F	p-valor
Massa (L)	0,0037	1	0,0037	0,1985	0,6694
Massa (Q)	0,1033	1	0,1032	5,4779	0,0518
Temperatura (L)	0,0626	1	0,0626	3,3226	0,1111
Temperatura (Q)	0,1340	1	0,1340	7,1079	0,0321
Massa e temperatura (L)	0,1598	1	0,0159	0,8472	0,3879
Erro	0,1320	7	0,0188	-	-
Total	0,4245	12			

Fonte: Própria

O valor p é um dado estatístico que demonstra que é significativo quando seu resultado é inferior a 0,05 pois tem-se um intervalo de confiança de 95%. O valor p é um dado estatístico que demonstra a representatividade do fator operacional (temperatura). (SOUZA, 2011)

Na Figura 20, é apresentada a superfície de resposta obtida para a umidade final na secagem das folhas de abacateiro, mantendo constante o tempo de secagem. Neste gráfico, fica evidenciado como as variáveis operacionais impactam na umidade final, comprovando que o aumento da temperatura gera um ganho positivo na perda de umidade da folha do abacateiro. Os resultados de Gonçalves (2017) corroboram para esta inferência onde em seu estudo sobre secagem de folha de amora constatou os resultados semelhantes seguindo o mesmo comportamento físico das folhas do abacateiro. Ainda neste gráfico é possível encontrar o ponto de máxima umidade final, condição esta que não deve ser utilizada. As condições ótimas se encontram em maiores temperaturas e menor massa de folhas.

Figura 20 - Superfície de resposta para o tempo final de secagem em função das variáveis operacionais (Temperatura e Massa)



5. CONCLUSÃO

O presente estudo trouxe como principais conclusões o fato de que nos ensaios de secagem em estufa, observou-se uma boa reprodutibilidade dos dados experimentais investigados e pode-se constatar o efeito significativo da temperatura na curva cinética de secagem da folha do abacateiro. Esse comportamento sugere que os mecanismos internos de transferência de massa controlam a secagem da folha em estufa de circulação forçada com renovação de ar. Também foi possível averiguar que, o fenômeno de retração reduz a área superficial das folhas do abacateiro, e desta forma contribui para a diminuição da área de contato entre o material sólido e o ar de secagem. Interferindo negativamente com a transferência de calor e massa ao longo do processo de secagem.

A utilização do delineamento cúbico composto central rotacionado, possibilitou a verificação da influência das massas e temperaturas no processo de secagem. Tais resultados estatísticos, observou-se a influência da temperatura no tempo do processo de secagem.

6. PERSPECTIVAS

O campo do estudo da secagem oferece várias oportunidades de análises de acordo com as variáveis operacionais escolhidas pelo pesquisador. Além disso, um material que passa pelo processo de secagem tem potencial para se tornar um produto de valor agregado uma vez que este processo proporciona um aumento na longevidade do material em questão do retardo do processo de degradação por microrganismos, sugere-se então que para trabalhos futuros:

- Realização do estudo do impacto da velocidade da circulação de ar na estufa;
- Verificação da influência da secagem na extração de óleo da folha de abacate.

REFERÊNCIAS

- ACATEIRO, **Paraíso das Árvores**, 2021 disponível em: <https://loja.paraisodasarvores.com.br/abacateiro-abacate.html>, 2021 Acesso em 24 de maio de 2021.
- ADEYEMI O. O.; OKPO S. O.; OGUNTI O. O. Analgesic and anti-inflammatory effects of the aqueous extracts of leaves of *Persea americana* Mill (Lauraceae). **Fitoterapia**, v.73, p.375-380, 2002.
- AGRIANUAL 2020: **Anuário da Agricultura Brasileira**. 25.ed. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos, 416 p. 2020.
- AGUIAR, Juliana; PANDOLFI, Marcos Alberto Claudio; ESTRACINE, Lucas Torquato. ANÁLISE DE MERCADO DO ÓLEO DE ABACATE. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 352-362, 2020.
- ALBINI, Geisa; FREIRE, Fábio Bentes; FREIRE, José Teixeira. Barley: Effect of airflow reversal on fixed bed drying. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 134, p. 97-104, 2018.
- ALVES, Aline Inacio. **Obtenção de extrato de carotenoides de polpa de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) encapsulado pelo método de secagem por atomização**. 2014.
- ASAOLU, M. F.; ASAOLU, S. S.; FAKUNLE, J. B.; EMMAN-OKON, B. O.; Ajayi, E. O.; Togun, R. A. Evaluation of in-vitro antioxidant activities of methanol extracts of *Persea americana* and *Cnidiosculus aconitifolius*. *Pakistan Journal of Nutrition*, v.9, n.11, p.1074-1077, 2010.
- BAPTISTELA, C. DA S. L.; COELHO, P. J. O Abacate no Estado de São Paulo: 2009 a 2018. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14581>>.
- BAPTISTELLA, Celma Da Silva Lago; JOSÉ, Paulo; “O Abacate no Estado de São Paulo: 2009 a 2018”; IEA - **INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA**; São Paulo – SP; 2019
- BLACK+DECKER Ferramentas, disponível em: <https://eletro.blackanddecker.com.br/balanca-de-cozinha-com-acabamento-em-inox-bc500/p> acesso em 10 de Novembro de 2021.
- Blackwell ed. [s.l: s.n.]. v. 1 Disponível em: BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. **New York: van Nostrand Reinhold**, 450p. 1992.
- BONILHA, G. C.; VIEIRA, GNA. INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA SECAGEM DE CAPIM-CIDREIRA (*CYMBOPOGON CITRATUS* (DC.) STAPF.) SOBRE O RENDIMENTO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 4, p. 1473-1478, 2017.

CANABARRO, N. I. Secagem convectiva de folhas visando a obtenção de compostos bioativos via extração supercrítica. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2019.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. Embrapa Cerrados, p. 51, 2010.

CHEN, Xiao Dong; MUJUMDAR, Arun S. (Ed.). **Drying technologies in food processing**. John Wiley & Sons, 2009. COSTA, Suzara S. et al. Microwave extraction of mint essential oil – Temperature calibration for the oven. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 126, p. 1–6, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.033> Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14581> Acesso em: 02 de jun. 2021

ERBAY, Zafer; ICIER, Filiz. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. **Critical reviews in food science and nutrition**, [s. l.], v. 50, n. 5, p. 441–464, 2010. a.

ERBAY, Zafer; ICIER, Filiz. Thin-layer drying behaviors of olive leaves (*Olea europaea* L.). **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, n. 2, p. 287-308, 2010.

FAO. FAOSTAT, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 10 mai. 2021.

FARIAS, M. R. Avaliação da qualidade de matérias-primas vegetais. In: SIMÕES, C.M.O et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 2003. p. 263-288

FARIAS, V. S. O. Difusão 3D em sólidos com forma arbitrária usando coordenadas generalizadas. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos. Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil. 265 p. 2011.

FIOREZE, R. Princípios de secagem de produtos biológicos. **João Pessoa: Editora Universitária/UFPB**, 229 p, 2004.

FOLHA DO ABACATE, **Green Me, 2021** Disponível em: <<https://www.greenme.com.br/consumir/remedios-caseiros/74000-folha-do-abacate-para-que-serve-analgésica-antioxidante-e-muito-mais/>> 2021 Acesso em 25 de maio de 2021

FONSECA, E. T. Indicador de Madeiras e Plantas Úteis do Brasil. Oficinas Gráficas Villas-Boas e Rio de Janeiro, 1922. Disponível em: <<http://www.archive.org/download/indicadordemadei00teix/indicadordemadei00teix.pdf>>. Acesso em: 01 de Maio de . 2021.

FOUST, R. E. **A Limited Perfection: Dystopia as Logos Game**. Mosaic: A Journal for the Interdisciplinary Study of Literature, v. 15, n. 3, p. 79-88, 1982.

FUMAGALLI, F. Estudo da secagem das sementes de *Brachiaria brizantha*. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Química) -Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 149p, 2007.

FUNGUETO, C., I., 2003, “Efeitos da secagem intermitente sobre a germinação de sementes de arroz (*Oryza Sativa* L.)”. *Uruguaiana*, v. 10, n. 1, pp. 34-41.

GARCIA, D. C., BARROS, A. C. S. A., PESKE, S. T., MENEZES, N. L., 2001, “Secagem estacionária de sementes de trigo com ar ambiente forçado”. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 23, nº 2, pp.275-280.

GEANKOPOLIS, Christie J. **Transport processes and unit operations**. Prentice-Hall, 1993.
GLOBAL AVOCADO PRODUCTION in 2019, by country, **Statista**, 2021. Disponível em < <https://www.statista.com/statistics/593211/global-avocado-production-by-country/>> 2021 Acesso em 15 de novembro de 2021.

GONÇALVES, A. A. **Cinética de secagem das folhas de amora preta (*Morus nigra* L.)**. 2017. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017.

GONELI, A. L. D. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000100005>

IBGE (2019) Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados> acesso em 25 de junho de 2021

ISQUIERDO, E. P et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. *Transactions of the ASABE*, v. 56, p. 1003–1010, 2013.

Journal of Food Process Engineering, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 287–308, 2010. b. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-4530.2008.00275.x>

LIMA, Renata De Aquino Brito. **Sem título**. 2013. [s. l.], 2013.

LIU, Chuanping; GUO, Xiaoyu; WANG, Li. Experiment on and simulation of moisture transfer and rolling deformation during leaf drying. **Drying Technology**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1421219>

MARTINS, P. M. Influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem no teor e na composição química do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). 2000. 77f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

MATEUS, Nazaré Barata; BARBIN, Décio; CONAGIN, Armando. Viabilidade de uso do delineamento composto central. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 23, p. 1537-1546, 2001.

MELO, Kiki Pinheiro de. Estudo de um secador atmosférico por contato indireto com agitação mecânica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Área de Concentração em Engenharia de Processos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2002.

MENDONÇA, Andreza Pereira. **Secagem e extração do óleo das sementes de Andiroba (*Carapa surinamensis* Miq. E *Carapa guianensis* Aubl.)** 88 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 2015.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA, INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS – ME. Secretaria de Comércio Exterior – SECEX. Sistema Comex Stat. Brasília: ME/SECEX, 2018. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br> Acesso em: 30 de maio de 2020

NEVES, C. F. C.; SCHVARTZMANN, M. M. A. M., J., E. Variables search technique applied to gas separation. *Química Nova*. v.25, n 2, p. 327-329, 2002.

O'TOOLE, J. ..; CRUZ, R. ..; SINGH, T. .. Leaf rolling and transpiration. **Plant Science Letters**, [s. l.], v. 16, p. 111–114, 1979.

OJEWOLE, J. A. O.; AMABEOKU, G. J. Anticonvulsant Effect of *Persea americana* Mill (Lauraceae) (Avocado) Leaf Aqueous Extract in Mice. v. 700, n. March, p. 696–700, 2006.

OLIVEIRA, B. F. **Secagem da folha da graviola (*Annona muricata* Linn) pelo método de camada de espuma (Foam-mat drying)**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018

OLIVEIRA, M. C. et al. Fenologia e características físico-químicas de frutos de abacateiros visando à extração de óleo. *Ciencia Rural*, v. 43, n. 3, p. 411–418, 2013.

OLIVEIRA, Olivia Werner; PETROVICK, Pedro Ros. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

ORDOÑEZ, P. J. A.; Rodriguez, M. I. C.; Alvarez, L. F.; Sanz, M. L. G.; Minguillón, G. D. G. F. et al. Tecnologia de alimentos –Alimentos de origem animal, Porto Alegre: Artmed, 2v., v. 2 , 2005.

OWOLABI, M.A.; JAJA, S.I.; COKER, H.A.B. Vasorelaxant action of aqueous extract of the leaves of *Persea americana* on isolated thoracic rat aorta. *Fitoterapia*, v.76, p.567-573, 2005.

PADILHA, V.M. et al. Avaliação do tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) sob tratamento químico. *Ciência Rural*, v.39, n.7, p.2178-2184, 2009.

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n7/a277cr1240.pdf>>. Acesso em: 01 janeiro de 2021.

PARK, K. J. B. et al. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, vol. 10, n.1, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J., YADO, M. K. M., BROD, F. P. R. 2001A “Estudo de secagem de pera bartlett (*pyrus sp.*) em fatias”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas – SP – Brasil, 21(3): 288-292, set-dez.

PERAZZINI, H. **Cinética de secagem de materiais granulares porosos**. [s. l.], p. 1–8, [s.d.].

PONTES, Tatiana Gomes de. Avaliação do sistema de secagem do açúcar da Usina Monte Alegre. 37 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Tecnologia em Produção Sucroalcooleira) – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - Universidade Federal da Paraíba. 2014

PIN, K. Y. et al. Drying of Betel Leaves (*Piper betle* L.): Quality and Drying Kinetics. **Drying Technology**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 149–155, 2009. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373930802566077>

RICHLING, R. Frutas para uma vida saudável. Editora Mauad, Rio de Janeiro, p. 15, 1998

RICRA TITO, Rossel. **Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa amarilla tumbay** (*solanum goniocalyx*). 2019.

ROCHA, A. P. T. Comportamento da secagem da hortelã da folha miúda Drying behavior of mint leaf tiny. v. 2013, p. 36–40, 2013.

ROSADO, L. D. S. et al. Influência do processamento da folha e tipo de secagem no teor e composição química do óleo essencial de manjeriço cv. Maria Bonita. *Ciencia e Agrotecnologia*, v. 35, n. 2, p. 291–296, 2011.

ROSANOVA, Aline Holanda et al. A neural based modeling approach for drying kinetics analysis of mint branches and their fractions (leaves and stems). **Advances in Chemical Engineering and Science**, [s.l.], v.07, n 02, p.154–174, 2017. Disponível em:

<http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/aces.2017>

SECADOR DE LEITO FIXO, **IndiaMARTE**, 2021 Disponível em: < <https://www.indiamart.com/> > , 2021 Acesso em 25 de Maio de 2021.

SILVA, Paloma Benedita da et al. **Secagem da folha da amoreira negra** (*Morus nigra* L.) pelo método de camada de espuma (Foam mat drying). 2021.

SILVA, Pollyanna Cristina Gomes e. **Secagem da folha de guajiru** (*Chrysobalanus icaco* L.) pelo método de camada de espuma (foam-mat drying). 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

SOUSA, Kelly Aparecida de et al. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 883-892, 2011.

TODA FRUTA. O abacate no mundo, no Brasil e na CEAGESP de São Paulo. Disponível em: <https://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2018/08/ABACATE-4.pdf> Acesso em: 28 ago. 2020.

TORRES, M. A.P., 2006, “Desempenho de diferentes métodos de secagem, seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de sementes de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)”. Porto Alegre, RS – Brasil. p. 23. Dissertação de Mestrado.

TREYBAL, Robert E. **Mass transfer operations**. New York, v. 466, 1980.

YAMASSAKI, F. T, et al. Avocado leaves: Influence of drying process, thermal incubation, and storage conditions on preservation of polyphenolic compounds and antioxidant activity. **International journal of food properties**, v. 20, n. sup2, p. 2280-2293, 2017.

YAMASSAKI, T. F MOLÉCULAS BIOATIVAS DAS FOLHAS DE *Persea americana*. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Ciências Biológicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 2010

ZARO, G. C. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura do abacateiro no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 363–372, 2014.