



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos



JAQUELINE LUISA SILVA

**SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DA HORTELÃ
(*Mentha spicata* L.) PELO MÉTODO *CAST-TAPE DRYING***

PATOS DE MINAS

2021



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos



JAQUELINE LUISA SILVA

**SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DA HORTELÃ
(*Mentha spicata* L.) PELO MÉTODO *CAST-TAPE DRYING***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Patos de Minas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos, área de concentração de Desenvolvimento de Processos e Produtos.

Orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana

Coorientador(a): Prof^a. Dr^a. Marta Fernanda Zotarelli.

PATOS DE MINAS

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 Silva, Jaqueline Luisa, 1996-
2021 Secagem e caracterização da hortelã (*Mentha spicata*
L.) pelo método cast-tape drying [recurso eletrônico] /
Jaqueline Luisa Silva. - 2021.

Orientador: Ricardo Corrêa de Santana.
Coorientadora: Marta Fernanda Zotarelli.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.272>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Alimentos - Indústria. I. Santana, Ricardo Corrêa
de, 1981-, (Orient.). II. Zotarelli, Marta Fernanda, 1985-
, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos
 de Minas

Av. Getúlio Vargas, 230 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38700-103
 Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 03/2021 - PPGEA				
Data:	Vinte e quatro de maio de dois mil e vinte e um	Hora de início:	13:30	Hora de encerramento:	hh:15:50 mm
Matrícula do Discente:	41912EAL007				
Nome do Discente:	Jaqueline Luisa Silva				
Título do Trabalho:	Secagem e caracterização da hortelã (<i>Mentha spicata</i> L.) pelo método <i>cast-tape drying</i>				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP - MConf) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Ricardo Corrêa de Santana (Orientador/UFU), Beatriz Cristina Silvério (UFTM) e Neiton Carlos da Silva (UFU).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Ricardo Corrêa de Santana, apresentou a Comissão Examinadora e a discente, agradeceu a participação do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da mesma se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão secreta, atribuiu o conceito final, considerando a discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Neiton Carlos da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 24/05/2021, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Beatriz Cristina Silvério, Usuário Externo**, em 24/05/2021, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 24/05/2021, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2757300** e o código CRC **BDC6B418**.

Referência: Processo nº 23117.030454/2021-36

SEI nº 2757300

Dedico este trabalho aos meus
pais Edimar e Maria Abadia,
meus alicerces.

AGRADECIMENTOS

Um grande passo na minha carreira acadêmica está se concretizando, e muitas foram as pessoas que contribuíram durante essa jornada para que tudo isso fosse possível.

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar força nos momentos mais difíceis e por não me desamparar. Obrigada por me capacitar e guiar o meu caminho desde sempre.

Profunda gratidão aos meus pais, que são fundamentais na minha vida. São eles que me acompanham no dia a dia e veem minhas lutas e conquistas, e independente de tudo sempre me apoiam e estão do meu lado. Sem vocês nada disso teria sentido.

À meu namorado Eduardo e sua família, por todo amor, cuidado e apoio durante esses anos.

Em especial a minha avó materna (Madrinha) que disponibilizou sua casa e me recebeu tão bem, muito obrigada! E ao meu amado irmão, avôs paternos, tios, primas e amigos obrigada pelos conselhos e por me apoiarem, palavras não seriam suficientes para descrever o amor por vocês.

Ao meu orientador Dr. Ricardo Corrêa de Santana e a minha coorientadora, professora Dra. Marta Fernanda Zotarelli agradeço pela orientação e auxílio. Vocês conduziram com muita sabedoria todo o trabalho, contribuindo com seus conhecimentos. Foi um prazer trabalhar com vocês durante todo esse tempo.

Aos professores Neiton, Beatriz, Letícia, Michelle, Marielli e Vivian, obrigada de coração pelas contribuições significativas para esse trabalho e por compartilhar comigo suas experiências e aprendizados.

Aos demais professores do programa de pós-graduação, que transmitiram de forma brilhantes seus conhecimentos.

Da mesma forma, gostaria de agradecer aos professores membros da banca, por aceitarem avaliar este trabalho e por suas sugestões.

À equipe do laboratório da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) campus Patos de Minas e também ao Rafael no campus de Uberlândia, muito obrigada a vocês pelas orientações, auxílio e sugestões.

Agradeço em especial a querida Lorrane, por me acompanhar nos experimentos no laboratório e pelo auxílio em tantas atividades, você faz parte desse trabalho, gratidão!

Aos meus colegas do mestrado, muito obrigada pelos bons momentos juntos e pela troca de experiências que tivemos, foi muito marcante. E de forma muito especial, a minha companheira de mestrado Pamella, que esteve fortemente comigo, me ajudando com as análises e no que fosse preciso, dividindo os momentos difíceis e bons, enfim, levarei sua amizade por toda vida.

Ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em especial a Faculdade de Engenharia de Alimentos campus Patos de Minas pelos recursos oferecidos.

Ao Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, pela doação dos reagentes, que possibilitaram a realização das análises.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!!!

“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original”.
(Albert Einstein).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Hortelã	5
2.1.1 Composição química	6
2.2 Compostos antioxidantes	7
2.2.1 Compostos fenólicos.....	8
2.2.2 Clorofila.....	9
2.2.3 Carotenoides	9
2.3 Branqueamento.....	10
2.4 Secagem.....	11
2.4.1 Cinética de secagem	12
2.5 <i>Cast-tape drying</i>	14
2.6 Secagem da hortelã	16
2.7 Caracterização dos produtos desidratados	18
2.7.1 Cor	18
2.7.2 Higroscopicidade	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Material Utilizado.....	20
3.2 Preparo das amostras	20
3.2.1 Processo sem branqueamento	21
3.2.2 Processo com branqueamento	21
3.3 Secagem por <i>cast-tape drying</i>	22
3.3.1 Cinética de secagem por <i>cast-tape drying</i>	23
3.3.2 Medida de temperatura.....	25
3.4 Análises Realizadas	26
3.4.1 Umidade	26
3.4.2 Cor	27

3.4.3 Higroscopicidade	28
3.4.4 Tamanho de partícula	28
3.4.5 Morfologia das partículas	29
3.4.6 Análises de Compostos Bioativos	29
3.4.6.1 Extração dos fenólicos totais	30
3.4.6.1.1 Quantificação dos fenólicos totais	30
3.4.6.2 Extração de clorofila e carotenoides	30
3.5 Planejamento Experimental	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Caracterização da hortelã <i>in natura</i>	33
4.1.1 Umidade	33
4.1.2 Cor	34
4.1.3 Teor de compostos bioativos	36
4.2 Caracterização da hortelã seca	38
4.2.1 Cinética de secagem por <i>cast-tape drying</i>	38
4.2.2 Umidade	43
4.2.3 Cor	44
4.2.4 Higroscopicidade	52
4.2.5 Compostos Bioativos	54
4.2.5.1 Teor de Fenólicos Totais	54
4.2.5.2 Clorofila	55
4.2.5.3 Carotenoides	56
4.2.6 Distribuição do tamanho de partícula	57
4.2.7 Microestrutura Eletrônica de Varredura (MEV)	58
5. CONCLUSÕES	61
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Mentha spicata</i> L.....	5
Figura 2 - Curvas típicas de secagem.....	13
Figura 3 – Equipamentos de <i>cast-tape</i> dryer em escala industrial (MCD Technologies).....	14
Figura 4 - Esquema experimental da unidade de secagem por <i>cast-tape drying</i>	15
Figura 6 – Folhas de hortelã (<i>Mentha spicata</i> L.) utilizadas neste trabalho.	20
Figura 7 – Amostras de hortelã moídas sem branqueamento (SB) processadas em liquidificador.	21
Figura 8 - Folhas de hortelã: a) <i>in natura</i> , b) branqueadas e c) branqueadas moídas.	22
Figura 9 – a) <i>cast-tape dryer</i> utilizado para a realização dos ensaios de secagem e b) <i>cast-tape dryer</i> com sistema de exaustão.....	23
Figura 10 – Camadas de hortelã sem branqueamento (SB) (a) e com branqueamento (CB) (b) espalhadas sobre o filme <i>mylar</i>	24
Figura 11 - Medidas de temperatura: círculos em linha cheia mostram as regiões em que se monitorou a temperatura do produto, e círculo com linha pontilhada foi a região em que se monitorou a temperatura do filme <i>mylar</i>	26
Figura 12 - Folhas de hortelã <i>in natura</i> (a), moída (b) e branqueada moída (c).....	35
Figura 13 - Cinética de secagem da hortelã por CTD: a.1) experimentos de 1 a 3 – 55 °C sem branqueamento (SB) e a.2) experimentos de 1 a 3 – 55 °C com branqueamento (CB): b.1) experimentos de 4 a 6 – 72,5 °C sem branqueamento (SB) e b.2) experimentos de 4 a 6 – 72,5 °C com branqueamento (CB); c) experimentos de 7 a 9 – 90 °C sem branqueamento (SB) e c.2). experimentos de 7 a 9 – 90 °C com branqueamento (CB).	39
Figura 14 – Superfícies de resposta para o parâmetro de cor L* em função de temperatura da água circulante e espessura da camada: (a) SB; e, (b) CB.	48
Figura 15 - Superfície de resposta para o parâmetro de cor b* em função de temperatura da água circulante e espessura da camada espalhada: (a) SB.	51

Figura 16 – a) Hortelã seca a 55 °C – 4mm sem branqueamento (SB); b) Hortelã seca a 55 °C – 4mm com branqueamento (CB); c) hortelã seca a 90 °C – 2mm sem branqueamento (SB) e d) hortelã seca a 90 °C – 2mm com branqueamento (CB).	.51
Figura 17 - Distribuição granulométrica das amostras de hortelã sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) após secagem por CTD.58
Figura 18 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com ampliação de 100 vezes para a) amostra de hortelã seca em CTD à 55 °C – 4 mm sem branqueamento; b) 55 °C – 4 mm com branqueamento; c) 90 °C – 2 mm sem branqueamento; d) 90 °C – 2 mm com branqueamento.59
Figura 19 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com ampliação de 2000 vezes para a amostra de hortelã seca em CTD à 55 °C – 4 mm sem branqueamento; b) 55 °C – 4 mm com branqueamento; c) 90 °C – 2 mm sem branqueamento; d) 90 °C – 2 mm com branqueamento.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição das folhas de hortelã (<i>Mentha Spicata</i> L.).....	6
Tabela 2 - Equações de cinética de secagem da literatura.....	25
Tabela 3 - Planejamento fatorial 3 ²	32
Tabela 4 - Planejamento fatorial 2 ³	32
Tabela 5 - Caracterização de umidade das folhas de hortelã (<i>Mentha spicata</i> L.)....	33
Tabela 6 - Caracterização da cor das folhas de hortelã (<i>Mentha spicata</i> L.).....	34
Tabela 7 – Teores de compostos bioativos da hortelã (<i>Mentha spicata</i> L.) antes da secagem sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB).....	36
Tabela 8 - Parâmetros obtidos pelo modelo de Midilli et al. (2002) na secagem da hortelã sem branqueamento (SB) por CTD.....	41
Tabela 9 - Parâmetros obtidos pelo modelo de Midilli et al. (2002) na secagem da hortelã com branqueamento (CB) por CTD.....	41
Tabela 10 - Taxas de secagem das pastas de hortelã sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB).	42
Tabela 11 - Resultados da caracterização de umidade da pasta de hortelã seca sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) e os tempos de secagem.	44
Tabela 12 - Parâmetros de cor da hortelã seca sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) obtidos em diferentes condições de secagem por CTD.....	45
Tabela 13 - Efeitos significativos no parâmetro L*.	46
Tabela 14 - Efeitos significativos no parâmetro a*.	48
Tabela 15 - Efeitos significativos no parâmetro b*.	49
Tabela 16 - Higroscopicidade da hortelã seca sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) obtidas em diferentes condições de secagem por CTD.....	52
Tabela 17 - Efeitos significativos na higroscopicidade.	53
Tabela 18 - Teores de compostos bioativos da hortelã (<i>Mentha spicata</i> L.) in natura e seca por CTD.	54

RESUMO

A hortelã (*Mentha spicata* L.) é uma planta medicinal e aromática com propriedades antioxidantes, ação antisséptica, antifúngica, diurética e analgésica. Pode ser utilizada como temperos em alimentos, agente aromatizante em bebidas, essências, produtos de higiene bucal e pela indústria farmacêutica para a produção de medicamentos. Por possuir em sua composição química um alto teor de umidade, esta erva é considerada altamente perecível, sendo necessário submetê-la a métodos adequados para sua preservação. Nesse sentido, a secagem apresenta-se como uma opção podendo aumentar a vida útil dos alimentos ao retardar o crescimento microbiano e a biodegradação. Um método de secagem considerado promissor é o *cast-tape drying* (CTD), capaz de produzir alimentos secos com alto valor nutricional. Tendo visto o exposto, o objetivo desse estudo foi investigar a secagem da hortelã com e sem branqueamento, CB e SB respectivamente, por CTD, visando analisar o efeito das variáveis de processo: temperatura da água circulante (55, 72,5 e 90 °C) e espessura da camada da pasta (2, 3 e 4 mm) nas características do material seco obtido. A condição de secagem que apresentou melhores resultados de preservação dos compostos bioativos da hortelã foi a maior temperatura (90 °C) combinada com a menor espessura (2 mm) e a utilização do branqueamento, quando comparada com a secagem a 55 °C e 4 mm. Nessa condição a umidade final do produto ficou próxima a 10%, com tempo de secagem em torno de 20 minutos. Quanto à cor da hortelã, a menor variação verificada em relação a amostra úmida foi a condição de secagem com a menor temperatura da água circulante (55 °C) e espessura intermediária (3 mm) tanto SB quanto CB. Em relação a higroscopicidade observou-se que maiores temperaturas de secagem provocaram valores de higroscopicidade mais elevados e que as amostras branqueadas apresentaram hortelãs secas menos higroscópicas em todas as condições de secagem avaliadas. Dessa maneira, conclui-se que a secagem da hortelã foi possível por CTD, tornando-se uma opção atrativa para o aproveitamento desse material.

Palavras-chaves: Secagem. *Cast-tape Drying*. Hortelã (*Mentha spicata* L.). Branqueamento.

ABSTRACT

Mint (*Mentha spicata* L.) is a medicinal and aromatic plant with antioxidant properties, antiseptic, antifungal, diuretic and analgesic action. It can be used as seasoning in food, flavoring agent in drinks, essences, oral hygiene products and by the pharmaceutical industry for the production of medicines. Per having a high moisture content in its chemical composition, this herb is considered highly perishable, being necessary to subject it to suitable methods for its preservation. In this sense, drying is an option that can increase the shelf life of food by slowing microbial growth and biodegradation. A drying method considered promising is the cast-tape drying (CTD), capable of producing dry foods with high nutritional value. Having seen the above, the objective of this study was to investigate the drying of the mint with and without bleaching, CB and SB respectively, by CTD, aiming to analyze the effect of the process variables: circulating water temperature (55, 72.5 and 90 ° C) and thickness of the paste layer (2, 3 and 4 mm) in the characteristics of the dry material obtained. The drying condition that showed the best preservation results for the bioactive compounds of the mint was the highest temperature (90 ° C) combined with the smallest thickness (2 mm) and the use of bleaching, when compared to drying at 55 ° C and 4 mm. In this condition the final humidity of the product was close to 10%, with drying time around 20 minutes. As for the color of the mint, the smallest variation observed in relation to the wet sample was the drying condition with the lowest temperature of the circulating water (55 ° C) and intermediate thickness (3 mm) both SB and CB. In relation to hygroscopicity, it was observed that higher drying temperatures caused higher hygroscopic values and that the bleached samples showed less hygroscopic dried mints in all evaluated drying conditions. Thus, it is concluded that the drying of the mint was possible by CTD, making it an attractive option for the use of this material.

Keywords: Drying. *Cast-tape drying*. Mint (*Mentha spicata* L.). Bleaching.

ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado de maneira que os conteúdos abordados tenham uma sequência lógica. Sendo assim, os capítulos foram divididos da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução sobre o assunto desta pesquisa e, por fim, o objetivo geral e específicos.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, contendo os conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 3 – Metodologia utilizada no trabalho para preparo das folhas de hortelã, dispositivos experimentais utilizados e análises de caracterização realizadas.

Capítulo 4 – Resultados e discussão.

Capítulo 5 – Conclusão, propostas para futuros trabalhos e referências.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A hortelã (*Mentha spicata* L.) é uma erva popular com longa história de cultivo e uso, pertence à família *Lamiaceae* (também conhecida como *Labiatae*) que abrange outras plantas herbáceas, incluindo manjerição, sálvia, alecrim, tomilho, erva-cidreira e lavanda. Com uma vasta distribuição geográfica, seu cultivo abrange regiões de temperatura moderada da África do Sul, América do Norte, Eurásia e Austrália (IBRAHIM, 2017).

Caracteriza-se por ser uma planta medicinal e aromática com propriedades antioxidantes, ação antisséptica, antifúngica, diurética e analgésica, devido a seus compostos ativos (AYADI et al., 2014). Pode ser utilizada como agente aromatizante em alimentos, bebidas, confeitaria, perfumaria e, geralmente, usada pela indústria farmacêutica para a produção de medicamentos e produtos de higiene bucal (KEIFER et al., 2009). Além disso, é considerada uma ótima fonte de óleo essencial, com aplicações terapêuticas e propriedades carminativa, tônica estomacal, anti-convulsão e adstringente (MAHBOUBI, 2018).

O mercado global de plantas aromáticas e medicinais vem aumentando significativamente, com um crescimento anual na faixa de 5 a 15%, diante dos benefícios e do bem-estar que esses produtos oferecem a saúde (BABY et al., 2005, SHAFIQU L ISLAMA et al., 2006; ZHANG et al., 2012). O relatório global sobre o mercado mundial de suplementos e produtos de ervas, projeta para o ano de 2027 movimentar 166,2 bilhões de dólares, com um crescimento de 6,8% ao ano, ao longo do período de análise 2020 – 2027 (GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS INC, 2021). Em relação ao mercado de consumo de hortelã, este deve registrar um crescimento de 4,2% entre os anos de 2019 e 2024 (MORDOR INTELLIGENCE, 2020).

Porém uma das limitações no uso da hortelã encontra-se na sua perecibilidade. As folhas de hortelã *in natura* possuem em sua composição química um alto teor de umidade, cerca de 86% (DOYMAZ, 2006), o que possibilita o desenvolvimento de reações microbianas e tornam altamente perecível. Por se tratar de uma planta sazonal, com ampla utilização e uma rápida degradação, formas alternativas de conservação e comercialização, como a hortelã seca, vêm sendo estudadas, a fim de

tornar o produto disponível no mercado durante todo o ano (LEBERT et al., 1992).

A secagem apresenta-se como uma opção para aumentar o tempo de prateleira dos alimentos ao retardar o crescimento microbiano e a biodegradação (FELLOWS, 2006). Os alimentos desidratados apresentam uma vida útil maior quando comparado com os naturais, devido a menor susceptibilidade a deterioração causada pelo crescimento de fungos e bactérias, além de uma maior facilidade no transporte, armazenamento e manuseio do produto (ORTIZ-JEREZ et al., 2015).

Previamente a operação de secagem, a depender do alimento a ser seco, podem ser aplicados métodos de pré-tratamento térmico, como o branqueamento, a fim de inativar enzimas oxidativas que causam reações indesejáveis de escurecimento enzimático e obter ervas secas com melhor qualidade (DENG et al., 2019). A realização do branqueamento precedente a secagem torna as membranas celulares mais permeáveis à transferência de umidade, conduzindo a tempos de secagem menores, além de contribuir para redução da carga microbiana inicial do produto e preservação da cor (DENG et al. 2017).

Um dos problemas da operação de secagem nas indústrias são os altos investimentos com equipamentos e custos com energia, gerando grande parte das despesas da produção (MAROULIS; SARAVACOS, 2003). A maioria dos secadores convencionais, cerca de 85%, são convectivos e utilizam como meio de transferência de calor o ar quente ou gases de combustão (ZAREIN et al., 2015), o que em muitas vezes prejudica a qualidade do alimento e eleva os custos. As condições de secagem no processamento de ervas como a hortelã, devem ser ideais para evitar perdas de suas propriedades nutricionais, físicas e químicas (MOSES et al., 2014).

Um método de secagem considerado promissor para esta finalidade é o *cast-tape drying* (CTD). Nesta técnica o material a ser seco é espalhado uniformemente (usualmente, na forma de uma pasta) sobre um material polimérico (geralmente, uma película transparente) de pequena espessura, de forma que a superfície inferior deste polímero fica em contato com uma corrente de água quente circulante, utilizada para transmitir o calor para a secagem. Esse método foi inicialmente denominado de *Refractance Window* (RW) (NINDO et al., 2003), e mais recentemente, devido à negligenciável contribuição da transmissão de calor por radiação (ORTIZ-JEREZ et al., 2015; ZOTARELLI et al., 2015), vem sendo chamado por *cast-tape drying* (CTD) (SOUZA, 2015; DURIGON et al., 2016; FRABETTI; DURIGON; LAURINDO, 2018).

A secagem por CTD utiliza temperaturas relativamente baixas (quando comparadas a outros métodos, como secagem por atomização), com valores máximos próximos à temperatura de ebulição da água (NINDO et al., 2004). Também em relação a outros métodos de secagem, a CTD é eficaz na retenção de compostos bioativos e apresenta menor consumo de energia (PUENTE et al., 2020). Conforme Nindo e Tang (2007) o custo para aquisição de um equipamento CTD é cerca de 50-70% menor, para a mesma capacidade de secagem, com gastos energéticos e operacionais 50% inferiores que os dos liofilizadores.

Neste sentido, considerando que o potencial de aplicação do método de secagem por CTD precisa ser melhor explorado e compreendido; a grande utilização da hortelã nas indústrias farmacêuticas, químicas e alimentícias; e ainda, a falta de trabalhos na literatura que descrevessem a secagem dessa erva por esse método, esse estudo tem como objetivo principal investigar o processo de secagem da hortelã por *cast-tape drying* (CTD). Além disso, como objetivos específicos, podem-se citar:

- desenvolver a metodologia adequada para o preparo da hortelã a ser seca, ou seja, obtenção da polpa/pasta com aplicação de tratamento térmico e redução de tamanho.
- estudar a cinética de secagem da polpa de hortelã sem e com branqueamento por *cast-tape drying*.
- analisar o efeito das variáveis de processo (temperatura da água circulante, espessura da camada da pasta de hortelã e o branqueamento) nas características do material seco obtido, buscando encontrar as melhores condições operacionais que garantam a preservação das propriedades originais da hortelã pelo método *cast-tape drying*.
- caracterizar o produto seco quanto à: umidade, cor, higroscopicidade, distribuição do tamanho de partícula, compostos fenólicos, clorofila, carotenoides totais e microestrutura.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Hortelã

A hortelã pertence ao gênero *Mentha* composto por cerca de 25 a 30 espécies difundidas em zonas temperadas do hemisfério norte e hemisfério sul. É uma planta perene caracterizada por sua cor verde, com um cheiro pungente, formato alongado e profundamente nervurados com veios muito próximos (GRISI et al., 2006).

Por ser uma erva altamente polimórfica em genética, assim como em morfologia, compreende trinta espécies e centenas de subespécies ou variedades (ZHAO et al., 2013). A espécie *Mentha spicata*, também conhecida como hortelã-verde ou hortelã comum, é usada como aperitivo e planta medicinal desde as civilizações greco-romanas (MAHBOUBI, 2018). As folhas da *Mentha spicata* L. são mostradas na Figura 1.

Figura 1 - *Mentha spicata* L.



Fonte: Autoria própria, 2019.

A hortelã tem sido utilizada como aromatizante e tempero, por causa de seu forte aroma e sabor refrescante. Na indústria alimentícia pode ser adicionada no preparo de molhos, saladas, sobremesas, balas, comidas árabes (como o quibe e tabule), chás, sucos, entre outros (KUMAR, 2011; COSTA et al., 2012). A erva possui também uma poderosa atividade antioxidante devido ao seu teor de compostos

fenólicos e flavonoides (KOSAR, 2004). Por vez, é cultivada em casas como planta ornamental.

Além disso, a erva possui compostos ativos que são estimulantes digestivos, cardiotônicos, antiespasmódicos e antissépticos (ERTEKIN; HEYBELI, 2014). A hortelã verde é conhecida por ter diversos usos biológicos, principalmente para fins medicinais, podendo ser utilizada para auxiliar no tratamento de gastrite, cólicas, reumatismo, flatulência, vômitos e palpitações (BIESK, 2005).

Um constituinte químico presente nas folhas de hortelã é o óleo essencial, contendo principalmente, mentol, pineno, mentofurona, limoneno e cânfora. Contém ainda, flavonoides, ácidos orgânicos, taninos e heterosídeos (MARTINS et al., 2002). Este óleo é muitas vezes, empregado para uso industrial, sendo utilizado em produtos cosméticos, farmacêuticos, na produção de bebidas e comidas (DOYMAZ, 2006).

2.1.1 Composição química

De acordo com a composição química da hortelã a maior concentração é a de água, cerca de 86% (SCHERER et al., 2013) e os 14% restantes formam a matéria seca. Os principais constituintes da matéria seca são as proteínas, cinzas, carboidratos e gordura. A hortelã possui vitamina C, açúcares (glicose, frutose e sacarose), antioxidantes e minerais como cálcio, magnésio, sódio, potássio, cobre e ferro (URIBE et al., 2016). Na Tabela 1 são mostrados os valores médios da composição química de uma amostra de 100 g de hortelã (*Mentha spicata*).

Tabela 1 - Composição das folhas de hortelã (*Mentha Spicata* L.).

Componente	Valor médio \pm DP (g/100 g)
Água	86 \pm 0,4
Proteínas	2,3 \pm 0,0
Cinzas	1,7 \pm 0,0
Gordura	0,4 \pm 0,1
Carboidratos	9,6 \pm 0,0

Fonte: Scherer et al., 2013.

Como vantagem nutricional, as ervas aromáticas apresentam um alto teor de umidade, baixo teor de gordura, auxiliam na diminuição dos níveis de diabetes tipo II, colesterol e riscos de doenças coronárias. Em espécies de hortelã-pimenta (*Mentha*

piperita) a sacarose representa 53,6%, seguida pela glicose (25,7%) e frutose (20,7%), que são tipos de carboidratos. Em relação ao açúcar solúvel total (sacarose + glicose + frutose) uma amostra de 100 g de hortelã fresca possui cerca de 2552 mg 100 g⁻¹ de massa seca (URIBE et al., 2016).

Outros componentes importantes encontrados na hortelã são os compostos fenólicos, conhecidos como a principal classe de antioxidantes naturais presentes nas plantas (HINNEBURG; DORMAN; HILTUNEN, 2006). Além disso, as espécies de hortelã contêm uma variedade de metabólitos secundários, como flavonoides, terpenóides e ácidos fenólicos (URIBE et al., 2016). A composição química centesimal das folhas de hortelã (conforme visto na Tabela 1) varia de acordo com a espécie e podem ser afetadas por fatores relacionados ao meio ambiente, incluindo irradiância, umidade relativa, solo e clima (MAHBOUBI, 2018).

A partir das folhas de hortelã também podem ser extraídos óleos essenciais, que apresentam uma grande quantidade de substâncias químicas. Os principais constituintes presentes no óleo essencial da hortelã *Mentha spicata* cultivada no Brasil são: a carvona (0 - 60,1%), presente em maior concentração e responsável pelo forte cheiro; pulegona (0 - 54%); e, 1,8-cineol (2,04 - 28,8%) (MAHBOUBI, 2018). Alguns outros estudos revelam que o óleo essencial da *Mentha spicata* é rico em terpenos, o que o torna um forte antimicrobiano (SCHERER et al., 2013), inseticida (KUMAR et al., 2011) e antioxidante (RUBERTO et al., 2000).

2.2 Compostos antioxidantes

Os antioxidantes são substâncias orgânicas capazes de inibir ou retardar efeitos prejudiciais ocasionados pelos processos relativos à oxidação, presentes em pequenas concentrações, quando comparadas à fração do substrato oxidável (HUANG et al., 2005). A principal função dos oxidantes é proteger as células contra a ação dos radicais livres, que quando em excesso atacam as células sadias do organismo, causando o envelhecimento precoce (PIETTA, 2000).

Os compostos que apresentam atividade antioxidante natural estão presentes em diversos alimentos de origem vegetal, como frutas, ervas, chás, verduras e cereais (MOURE et al., 2001). O interesse pelos antioxidantes naturais, se deve ao grande potencial na saúde e nutrição humana, desempenhando ações contra diversas

doenças, incluindo doenças cardiovasculares, câncer e doenças inflamatórias (AGUILERA; MARTIN-CABREJAS; GONZÁLEZ DE MEJIA, 2016).

As folhas de hortelã contêm uma série de compostos com propriedades antioxidantes, dos quais destacam-se os ácidos graxos, como, ácido linolênico, linoleico e palmítico. Estão presentes também uma série de compostos voláteis, principalmente mentona, mentol e isomentona, além de clorofila, vitamina C, vitamina E, β -caroteno, α -tocoferol e vários compostos fenólicos (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015).

2.2.1 Compostos fenólicos

São um grupo de metabólicos secundários naturais sintetizados nas plantas que apresentam potenciais benefícios para a saúde humana, incluindo ação anticancerígena, antibacteriana, antiviral e anti-inflamatória (TAPIERO et al., 2002). Nas plantas contribuem na pigmentação, além de atuar como agentes antipatogênicos (SHAHIDI; NACZK, 1995). Nos alimentos, são responsáveis pela adstringência, cor, aroma (PELEG et al., 1998) e estabilidade oxidativa (NACZK; SHAHIDI, 2004).

Os compostos fenólicos que possuem atividade antioxidante podem desempenhar um papel importante na adsorção e neutralização de radicais livres (TLILI et al., 2013), e são conhecidos por serem principalmente ácidos fenólicos e flavonoides. O valor dos flavonoides reside nas funções da planta e em diferentes aplicações terapêuticas. Os efeitos benéficos dos flavonoides são devidos as suas atividades antioxidantes (BOADI et al., 2003), antivirais, antitumorais, antialérgicas (LIN et al., 1997) e anti-inflamatórias (THEOHRIDES et al., 2001).

As espécies do gênero *Mentha* são uma ótima fonte de antioxidantes naturais e compostos polifenóis (KANATT et al., 2007; RITA et al., 2016). Em um estudo realizado por Scherer et al. (2013), os pesquisadores identificaram que dentre os compostos fenólicos encontrados em extratos de *Mentha spicata*, destacam-se eriocitrina, luteolina, ácido rosmarínico e ácido cafeico, que podem ser utilizados para substituir os antioxidantes sintéticos, que apresentam efeitos nocivos à saúde. Além disso, os resultados encontrados mostram que o óleo essencial da hortelã possui uma alta concentração de carvona (60%), o que o confere ótima ação antimicrobiana e possibilita sua aplicação em indústrias de alimentos e cosméticos.

2.2.2 Clorofila

As clorofilas são pigmentos responsáveis pela coloração verde presente nas plantas. Além de conferir cor, a clorofila também desempenha função vital nos vegetais, pois atua na absorção de luz solar e a sua conversão em energia química durante o processo da fotossíntese (BORRMANN, 2009). Segundo Araújo et al. (2009), a clorofila é insolúvel em água, mas, é solúvel em solventes orgânicos e pode ser encontrada tanto nas folhas quanto nos frutos antes do amadurecimento.

Existem diferentes tipos de clorofila, sendo que as principais são a clorofila *a* e *b*. A clorofila *a* corresponde a aproximadamente 75% dos pigmentos verdes totais, e a clorofila *b* se encontra na razão aproximada de 3:1, sendo um pigmento complementar. A proporção varia com os fatores ambientais, condições de crescimento, espécie e etapa no ciclo de vida da planta (BORRMANN, 2009).

As folhas de hortelã *in natura* possuem uma coloração verde, devido a presença de clorofila. Os teores encontrados deste pigmento por Uribe et al. (2016) para a erva fresca foram em torno de $63,48 \pm 0,23$ mg / 100 g de massa seca . O conteúdo de clorofila depende de alguns fatores, como, quantidade de nutrientes no solo, intensidade luminosa, disponibilidade de água e período de vegetação. Além disso, o tipo de espécie afeta a quantidade de clorofila (GOND et al., 2012).

2.2.3 Carotenoides

São pigmentos lipossolúveis e variam com coloração amarela, laranja e vermelha, produzidos por plantas, algas, leveduras, fungos e algumas bactérias. (KURZ, CARLE; SCHIEBER, 2008). Os carotenoides estão presentes em uma grande variedade de alimentos, como cenouras (α e β -caroteno), tomates (licopeno), milho (luteína e zeaxantina), urucum (bixina), pimentas vermelhas (capsantina) e batata doce (β -caroteno). Outras fontes vegetais de carotenoides são encontradas em folhas verdes, como espinafre e hortelã e em frutas, como laranja e manga (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008).

Os carotenoides possuem ação antioxidante no organismo e desempenham um papel importante na saúde, fortalecendo o sistema imunológico e atuando contra doenças, como catarata, aterosclerose e câncer, além de proteger as células aos

danos oxidativos que causam o envelhecimento (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008). Em maior ou menor grau, quase todos os carotenoides apresentam propriedades de eliminação contra um número excessivo de radicais livres que podem ser produzidos ao longo do ciclo de vida de uma célula (SANTOCONO et al., 2007).

Nos tecidos das plantas verdes, as clorofilas são acompanhadas por carotenoides. O conteúdo de carotenoides de acordo com vários autores varia de 36 a 186 mg / 100 g de massa seca em vegetais folhosos (BEN-AMOTZ; FISCHLER, 1998; KMIECIK; LISIEWSKA, 1999). Straumite, Kruma e Galoburda (2015) relataram um teor de carotenoides para as folhas de hortelã (*Mentha Spicata* L.) de 120,72 mg / 100 g de massa seca.

2.3 Branqueamento

Segundo Hassan et al. (2007), em processos de desidratação determinadas características nutricionais dos alimentos podem ser perdidas, em razão da remoção de água pelo calor, o que também pode influenciar em fatores sensoriais como, sabor, cor, aroma e textura. Sendo assim, previamente à secagem, o sólido úmido pode ser submetido a um pré-tratamento, como o branqueamento, que contribui para a inativação enzimática, redução na perda de sabor e cor, além de aumento na taxa de secagem.

O branqueamento é um método de tratamento térmico que geralmente precede o início de outras operações envolvendo alimentos, como secagem, fritura e congelamento. O objetivo é inativar as enzimas associadas a processos de deterioração, responsáveis por mudanças não desejáveis na cor, textura e odor (SEVERINI et al., 2005). Além disso, reduz a carga microbiana inicial do produto (BAHÇEÇI et al., 2005) e torna as membranas celulares mais permeáveis à transferência de umidade, contribuindo para o aumento da taxa de secagem (JAYARAMAN; GUPTA, 2006; XIAO et al., 2017).

O branqueamento por imersão em água quente é o processo mais popular adotado tanto domesticamente quanto comercialmente, por ser considerado simples e necessitar de baixo investimento (ARROQUI et al., 2001). Nesta operação, o alimento é submerso em água quente por um determinado período, com temperaturas que variam de 70 a 100 °C e, então, é imerso em água fria rapidamente, para evitar o amolecimento excessivo dos tecidos. O tempo de branqueamento pode variar pelo

tipo de fruta ou hortaliça, temperatura da água, consistência e tamanho do material, sendo que o tempo deve ser necessário para inativação das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) (XIAO et al., 2017).

Uma das limitações do branqueamento com água quente é a perda de nutrientes que pode ocorrer durante o tratamento térmico. Neste sentido, algumas vitamínicas, minerais, proteínas, açúcares e carboidratos podem lixiviar dos tecidos das plantas para a água. Visando minimizar as perdas de qualidade, é desejável manter as condições do branqueamento em um nível estritamente suficiente para causar a inativação das enzimas deletérias (XIAO et al., 2017).

2.4 Secagem

Os alimentos *in natura* como frutas e hortaliças, depois de colhidos, ainda mantêm seus processos biológicos ativos, diferentemente de produtos de origem animal como carne ou leite. Além disso, estes alimentos possuem um alto teor de água em sua composição química, tornando-os altamente perecíveis. Uma alternativa promissora para aumentar a durabilidade desses alimentos e evitar perdas é a desidratação ou secagem (FELLOWS, 2006). A produção de pó está sendo amplamente utilizada para facilitar o manuseio e transporte e estender o prazo de validade dos alimentos (CUQ et al., 2010; MUJUMDAR, 2007).

A secagem é uma operação antiga de conservação de alimentos que ainda é amplamente utilizada até hoje. Consiste na remoção de água do material pela ação do calor, com o objetivo de reduzir o teor de umidade e a atividade de água, o que permite prolongar a vida útil dos mais diversos produtos. Além de conservação, é utilizada para reduzir o peso dos alimentos, a fim de facilitar o manuseio, processamento, armazenamento e transporte. Contudo, é necessário que a secagem seja realizada em condições adequadas de processo para cada material específico, a fim de, reduzir efeitos deletérios no valor nutricional e na qualidade sensorial do alimento (FELLOWS, 2006; MUJUMDAR, 2007).

Atualmente existem uma variedade de alimentos desidratados disponíveis no mercado como, o café solúvel, o leite, sucos, frutas e ervas (FELLOWS, 2006). Essa crescente introdução de alimentos em pó tem estimulado as indústrias e pesquisadores a desenvolverem e otimizarem novos processos de secagem, a fim de

reduzir gastos energéticos, maximizar os atributos de qualidade, bem como melhoria de embalagens e práticas de distribuição (TELIS; MAURO, 2016).

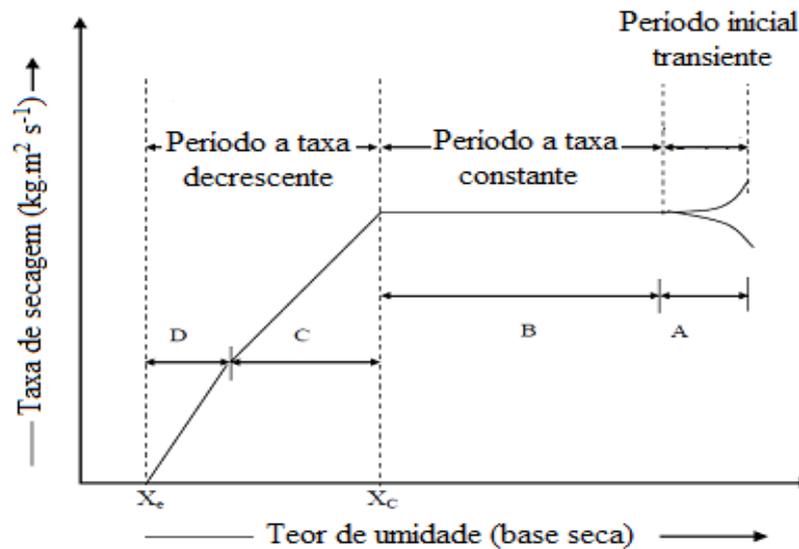
Na secagem dos alimentos, dois mecanismos ocorrem de forma simultânea: a transferência de calor devido a diferença de temperatura entre a fonte quente e a superfície do produto; e, a transferência de massa, na qual o líquido presente no alimento é removido. O processo de migração da umidade no sólido é explicado por alguns mecanismos, tais como: difusão de vapor em função de gradientes de pressão parcial de vapor, difusão líquida, movimento do líquido em função de forças capilares e movimento do líquido ou vapor provocado por diferenças na pressão total (TADINI et al., 2016).

2.4.1 Cinética de secagem

Por meio da cinética de secagem é possível verificar o perfil de umidade do material ao longo do processo de secagem. Consegue-se determinar a perda de umidade da amostra em função do tempo, sendo que esse comportamento é representado pela curva de secagem. Além disso, é possível utilizar alguns modelos matemáticos que descrevem o comportamento das cinéticas de secagem, e que permitem relacionar a variação de umidade para os diferentes períodos de processo (MOREIRA, 2000; PARRY, 1985).

A taxa de secagem é definida pela quantidade de umidade que foi removida em unidade de tempo por unidade da superfície de secagem, ou seja, matematicamente é a derivada do teor de umidade total (X) pelo tempo (t) de secagem (AHMED, 2011). Na Figura 2 está apresentada uma curva típica de taxa de secagem, baseada na transferência de calor e massa, dividida em três períodos distintos.

Figura 2 - Curvas típicas de secagem.



Fonte: Adaptado de Jangam; Mujumdar, (2010).

No início da secagem ocorre um ajustamento da temperatura do sólido, o qual geralmente está mais frio do que o meio de secagem. Esta etapa pode ser visualizada pelo segmento A, apresentado na Figura 2 (FOUST et al., 1982).

Após esse intervalo, inicia-se o período de taxa de secagem constante, no qual a transferência de calor e massa se compensam, ou seja, as temperaturas da superfície e do interior do sólido úmido tendem a ser aproximadas à temperatura de bulbo úmido do ar. A temperatura e a velocidade de secagem são constantes. Essa etapa pode ser visualizada no período B da Figura 2 (FOUST et al., 1982). A taxa de secagem permanece constante enquanto a migração de água do interior do produto até a superfície seja suficiente para acompanhar a evaporação de água na superfície.

A próxima etapa (que pode ser subdividida em dois períodos), representada pelos períodos C e D da Figura 2, é o período de taxa de secagem decrescente, que ocorre quando a temperatura da superfície do sólido aumenta e a velocidade da perda de umidade decresce. Neste período a quantidade de água removida é menor que no período a taxa constante, o que acarreta maiores tempos de secagem para a mesma massa de água removida. Ao final do segmento D (segundo período de taxa decrescente), a taxa de secagem chega a zero, quando se atinge a umidade de equilíbrio, que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem com o sólido nas condições a que está submetido (GEANKOPLIS, 2003; PARK et al., 2001).

2.5 Cast-tape drying

Dentre os diversos métodos de secagem existentes, um considerado promissor por preservar as características do alimento é o *cast-tape drying* (CTD) (também denominado na literatura por *refractance window* - RW). Neste método, água aquecida (ou vapor de água) é utilizada para transmitir o calor indiretamente através de um filme polimérico, removendo água e produzindo pós, grânulos, flocos ou filmes (NINDO et al., 2003) a partir de materiais líquidos e semilíquidos. Esse método foi patenteado por Magoon (1986) e desenvolvido no ano de 2000, pela empresa *MCD Technologies Incorporated*, nos EUA (ABONYI et al., 2002).

Este método de secagem utiliza temperaturas relativamente baixas (quando comparadas a outros métodos, como secagem por atomização), com valores máximos próximos à temperatura de ebulição da água (NINDO et al., 2003), o que pode diminuir os efeitos prejudiciais que as temperaturas de secagem mais elevadas podem causar nos alimentos, no que diz respeito a características sensoriais e nutricionais (EVRANUZ, 2011). As aplicações deste método não se limitam somente no segmento de alimentos, mas também na indústria cosmética, farmacêutica, nutracêutica e de manipulação de pigmentos (RAGHAVI et al., 2018). Na Figura 4 são mostradas imagens de equipamentos *cast-tape dryers* (CTD) em escala industrial.

Figura 3 – Equipamentos de *cast-tape dryer* em escala industrial (*MCD Technologies*).



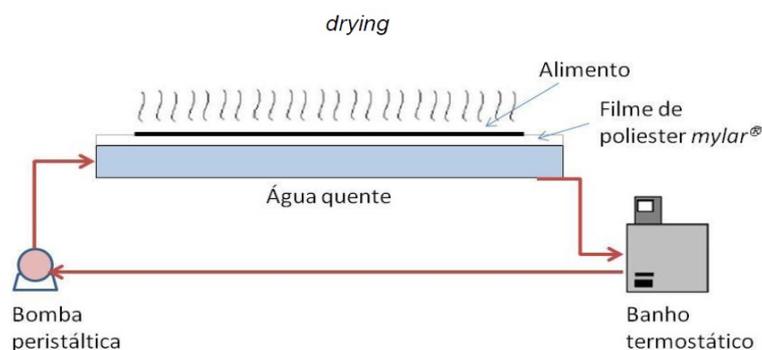
Fonte: Sabarez e Chessari (2006).

De acordo com os inventores e alguns pesquisadores, os três mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação), estão presentes na secagem por CTD, ou seja, condução através do filme polimérico, convecção que ocorre na interface água quente-filme e radiação da água através do filme para o material submetido à secagem. O transporte de radiação térmica através do filme plástico pode ser estimado com base nas propriedades ópticas do filme de poliéster (KRIMM, 1960; NINDO; TANG, 2007).

Porém, alguns estudos já realizados apontaram que a radiação contribui com menos de 5% do total de calor transmitido para a secagem, sendo a condução de calor da água quente para o filme o principal mecanismo de transmissão presente (ZOTARELLI et al., 2015; ORTIZ-JEREZ et al., 2015). Por isso, estes pesquisadores sugeriram denominar o método como *cast-tape drying* (CDT), uma vez que a fina camada do material a ser seco espalhada sobre um suporte polimérico é uma das principais características do método, assim como ocorre no processo chamado de *tape casting* (JABBARI et al., 2016). Dessa forma, neste trabalho o método de secagem *por refractance window* é chamado de *cast-tape drying* (CDT).

O material a ser seco (usualmente, na forma de uma pasta) é espalhado uniformemente sobre um material polimérico (geralmente, uma película transparente) de pequena espessura, de forma que a superfície inferior deste polímero fica em contato com uma corrente de água quente circulante, utilizada para transmitir o calor para a secagem, conforme o esquema apresentado na Figura 5. A energia térmica proveniente da água aquecida é transferida através do filme polimérico para o material a ser seco espalhado e a água presente no alimento é evaporada, resultando num estado de equilíbrio térmico (NINDO; TANG, 2007).

Figura 4 - Esquema experimental da unidade de secagem por *cast-tape drying*.



Fonte: Zotarelli et al. 2015 (adaptado).

Como visto, o equipamento pode ser encontrado na literatura por RW ou CTD e diversas aplicações dessa secagem foram estudadas, trazendo resultados importantes quanto à preservação dos componentes dos alimentos. O equipamento foi utilizado para secar polpas e sucos dos mais variados materiais: cenouras e morangos (ABONYI et al., 2002); abóbora (NINDO et al., 2003a), aspargos (NINDO et al., 2003b); *berries* (NINDO et al., 2004; NINDO et al., 2007; CELLI et al., 2016); tomate (DURIGON et al., 2016); manga (CAPARINO et al., 2012); açaí (PAVAN; SCHMIDT; FENG, 2012); romã (BAEGHBALI; NIAKOUSARI; FARAHNAKY, 2016); goiaba (FRABETTI; DURIGON; LAURINDO, 2018); e, até mesmo produtos de alta sensibilidade térmica como iogurte (TONTUL et al., 2018).

Na secagem da polpa de manga, Caparino et al. (2012) observaram que a cor amarela, característica da manga, foi melhor preservada durante a secagem por RW em comparação com o pó obtido por liofilização. Baeghbali; Niakousari; Farahnaky (2016) secaram suco de romã por CTD e verificaram que a quantidade de antocianinas encontradas no pó foi significativamente maior do que o encontrado na secagem por *spray-drying* e por liofilização. Em experimentos com purê de cenoura e morango, Abonyi et al. (2002) notaram que a utilização do CTD apresentou uma alta qualidade do produto, em relação a vitaminas, antioxidantes e cor.

Pode-se notar que em todos esses trabalhos a secagem por CTD apresentou uma boa retenção de compostos bioativos, muitas vezes, superiores aos métodos tradicionais como *spray-drying* e liofilização. O método proporciona produtos secos com higroscopicidade, cor e qualidade final muito próximas à da liofilização (SILVA, 2019).

2.6 Secagem da hortelã

A hortelã em sua forma *in natura*, apresenta uma alta tendência à degradação, devido aos seus elevados teores de água. Depois do processo de colheita e quando exposta ao ambiente por um certo tempo, inicia-se a sua deterioração causada pelo desenvolvimento de microrganismos e reações bioquímicas (DOKE JR, 2005). Dessa forma, métodos de preservação, como a secagem, se tornam necessários para aumentar o tempo de vida útil deste alimento (COSTA et al., 2016; DESMORIEUX; DECAEN, 2005; DISSA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2008; SILVA, 2017).

Moller et al. (1989) utilizaram um secador solar tipo estufa para secagem da hortelã. Os pesquisadores relataram que a remoção de água de um teor inicial de umidade de 80% (b.u) até um teor final de umidade de 11% (b.u) levou de 3 a 4 dias, tempo bastante elevado, o que pode levar à degradação dos componentes do produto. Já o método de secagem da hortelã por micro-ondas, reduziu o tempo de secagem de forma eficaz, no qual o material foi seco em 16 min com uma densidade de potência de 10W. Porém este método resultou em hortelãs com uma diminuição no brilho e na cor verde, além de perdas de clorofila, óleo volátil e outros componentes quando comparado às folhas frescas (SOYSAL, 2005).

Já Akpınar (2006) realizou experimentos de secagem da hortelã a céu aberto, com mecanismo de radiação e convecção natural, com a temperatura do ar ambiente variando de 30 a 36,5 °C e espessura de cerca de 3 mm. O autor notou que o processo de secagem demorou cerca de 6,5 h, para obter um conteúdo de umidade final de cerca de 10% (b.u). Doymaz (2006) investigou a secagem da hortelã em um secador de gabinete e constatou que o tempo necessário para reduzir o teor de umidade das folhas de hortelã dos 84,7% iniciais (b.u) para 10% (b.u) finais foi de 600, 285, 180 e 105 min, com temperaturas de 35, 45, 55 e 60 °C, respectivamente.

Arslan; Özcan e Menges (2008) secaram hortelã-pimenta em estufa e observaram que o tempo necessário para reduzir a umidade das folhas de um teor inicial de cerca de 80% (b.u) para 4,40% foi em torno de 9 h. Antal et al. (2011) estudaram o comportamento da secagem da hortelã por ar quente e liofilização. Os autores observaram que a secagem por ar quente a 43 °C exigiu 5 h, enquanto a liofilização a 150-250 Pa exigiu 14 h, para reduzir o teor de umidade inicial da hortelã de 84,2 % (b.u) para 11,5 e 10,7% (b.u), respectivamente. Observaram ainda, que a liofilização resultou em material particulado com qualidade superior ao da secagem a ar quente, com uma melhor preservação dos compostos voláteis.

Vyankatrao (2014) estudou o processo de secagem da hortelã pelos métodos à “luz vermelha” (que inclui colocar as folhas de hortelã em vidros de cor vermelha e deixá-las expostas ao sol), secagem ao sol e secagem à sombra. O autor observou que os tempos de secagem foram longos, sendo de 5 dias para a secagem à luz vermelha, 6 e 8 dias para a secagem ao sol e à sombra, nesta ordem.

Apesar dos diferentes métodos pesquisados, não foram encontrados estudos disponíveis na literatura sobre a secagem da hortelã pelo método *cast-tape drying* (CTD). Comparado aos métodos de secagem que já foram analisadas, a secagem por

cast-tape drying pode oferecer oportunidades atrativas, como economia de energia, controle preciso do processo, menor tempo de secagem e uma melhor preservação dos componentes e características do produto (DECAREAU, 1985; DECAREAU, 1992; ZHANG et al., 2006).

2.7 Caracterização dos produtos desidratados

2.7.1 Cor

Um dos atributos mais importantes para o consumidor no momento da escolha de um produto é a cor. Neste sentido, uma das grandes preocupações na desidratação dos alimentos é aplicar um processo que seja eficaz na remoção de água, para aumentar o tempo de vida de armazenamento do alimento, mas ao mesmo tempo não degrade as características naturais, preservando sua aparência (CHONG et al., 2013; VITHU, MOSES, 2016).

Uma das maiores dificuldades dos produtos desidratados é manter a cor inicial e original, sendo que alterações podem estar relacionadas a perda de nutrientes devido a aplicações de elevadas temperaturas e alteração nos componentes (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

De acordo com Chitarra; Chitarra (2005) os produtos vegetais apresentam três tipos principais de pigmentos: clorofila, carotenoides e antocianinas, sendo que as clorofilas são responsáveis pela coloração verde, encontradas em frutos novos e nas folhas, os carotenoides conferem cores amarela, laranja e vermelha aos alimentos e as antocianinas são os pigmento com coloração vermelha, púrpura ou violeta da maioria das frutas.

2.7.2 Higroscopicidade

Higroscopicidade é a capacidade que certos materiais possuem em adsorver água. Cada produto possui um certo nível de adsorção, sendo influenciado até pela sua umidade, esta característica é marcante para os alimentos desidratados em pó (LABUZA, 1968).

Segundo Borges (1988) a higroscopicidade é um fator importante para o setor comercial e industrial, pois pode influenciar até mesmo nas áreas de embalagem devido a auto-aglomeração e perda de fluidez. Esta propriedade deve ser considerada no processamento de alimentos porque influencia na estabilidade dos produtos desidratados, nas operações de manuseio, estocagem e consumo (LABUSA, 1983).

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material Utilizado

A espécie de hortelã utilizada neste estudo foi a hortelã-verde (*Mentha spicata*) (Figura 6) obtida no comércio local da cidade de Patos de Minas – MG. A seleção das folhas de hortelã foi realizada através de análise visual, buscando a utilização de folhas frescas. Após a aquisição, as folhas foram retiradas do caule e aquelas mais danificadas foram descartadas. As folhas em bom estado físico foram reservadas para realização dos experimentos.

Figura 5 – Folhas de hortelã (*Mentha spicata* L.) utilizadas neste trabalho.



Fonte: Autoria própria, 2019.

As amostras de hortelã foram divididas em 2 porções, uma porção de folhas foi submetida a um pré-tratamento antes da operação de secagem, realizando um branqueamento, e a outra parte não recebeu qualquer pré-tratamento (não branqueada). Cada método de preparo será descrito na sequência.

3.2 Preparo das amostras

O material a ser seco foi preparado em diferentes condições buscando verificar o efeito do método de preparo nas características da polpa a ser submetida à CTD, de forma diminuir a perda (ou alterações indesejáveis) em propriedades da hortelã pré-processada quando comparada à sua forma *in natura*. Na sequência, essa análise da influência do método de obtenção da polpa foi realizada para o processo de secagem (cinética) e para as características do produto seco.

3.2.1 Processo sem branqueamento

As folhas de hortelã foram acondicionadas em embalagens de polietileno transparente, cada pacote contendo aproximadamente 120 g, e, então, congeladas e estocadas em ultrafreezer (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) a temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, foram trituradas em um liquidificador industrial com capacidade de 2 L, sob alta rotação - 22.000 rpm (Camargo, Brasil), visando a formação de uma polpa/pasta úmida, sem adição de água, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 6 – Amostras de hortelã moídas sem branqueamento (SB) processadas em liquidificador.



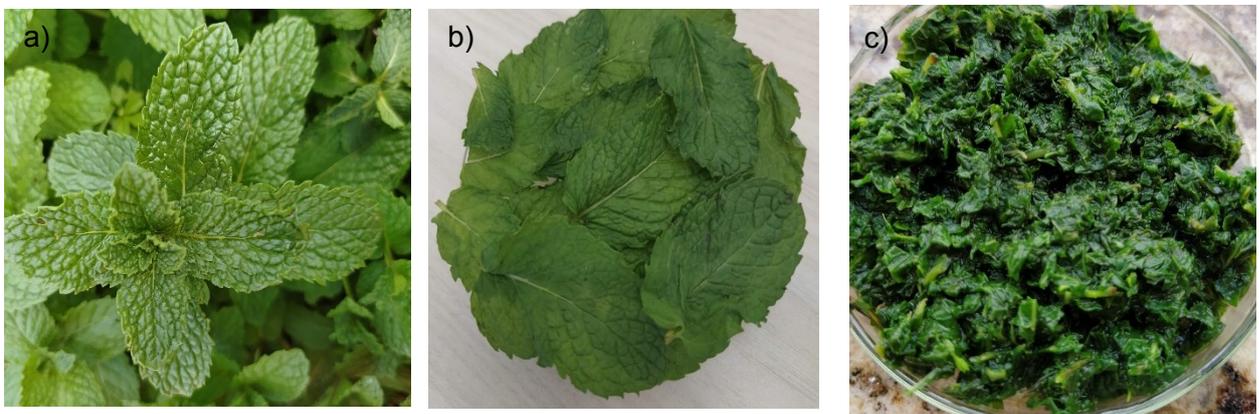
Fonte: Autoria própria, 2019.

3.2.2 Processo com branqueamento

Para os experimentos realizados com tratamento térmico, as folhas de hortelã foram branqueadas com imersão em água quente à temperatura de $90 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30

s e, logo após, imersão em água fria à temperatura de 10 ± 2 °C até o resfriamento, com o objetivo de inativar as enzimas e manter a cor. Posteriormente, efetuou-se a drenagem da água, utilizando uma peneira de malha fina, onde o material permaneciam escorrendo até cessar a drenagem natural. Após essa etapa, as folhas de hortelã foram acondicionadas em embalagens de polietileno transparente, estocadas em ultrafreezer para congelamento e, em sequência, trituradas em liquidificador industrial de alimentos. Na Figura 8 são mostradas as folhas de hortelã frescas, branqueadas e branqueadas moídas.

Figura 7 - Folhas de hortelã: a) *in natura*, b) branqueadas e c) branqueadas moídas.



Fonte: Autoria própria, 2019.

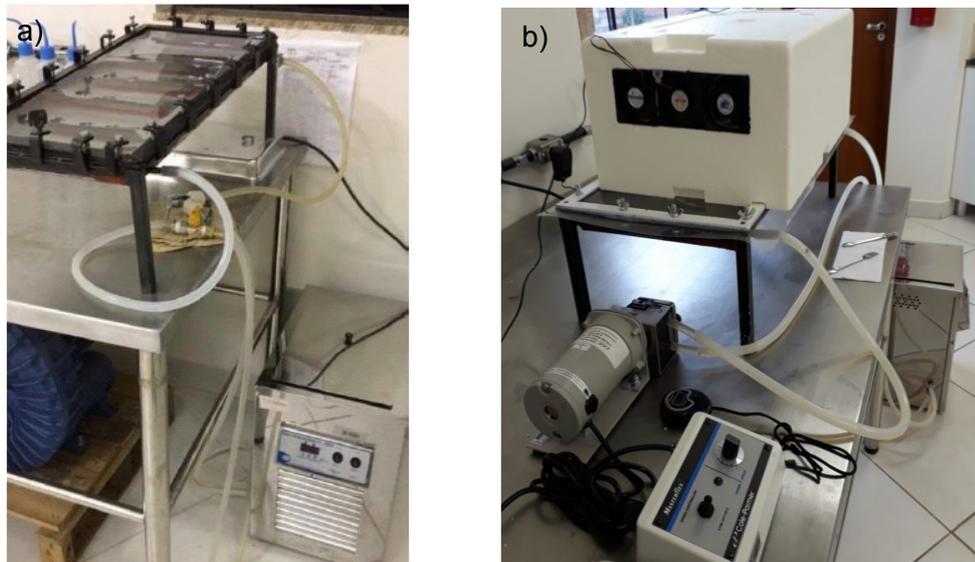
3.3 Secagem por *cast-tape drying*

Para a realização da secagem das amostras de hortelã foi utilizado o *cast-tape dryer*, disponível no laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias do curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia Química, no *Campus* Patos de Minas (MG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), utilizando o mesmo princípio do equipamento industrial.

O dispositivo consiste em um reservatório (bandeja de dimensões 0,8 m × 0,4 m × 0,05 m) com água quente circulando, proveniente de um banho ultra termostaticado (SOLAB, modelo SL152/18, Brasil). O filme polimérico transparente (*mylar*®, marca registrada de propriedade da Dupont Teijin Films), de espessura 0,25 mm é fixo no reservatório, de modo que sua face interna fique em contato com a água quente e sua superfície sirva de suporte para a pasta de hortelã que é seca. O

monitoramento da temperatura foi realizado com um termômetro de infravermelho (CAUTION, IR THERMOMETER MT-320, BRASIL), com o auxílio de uma tira de fita isolante colocada em uma determinada posição na face superior do filme, visando a medida exata da temperatura da superfície do *mylar*. Em todos os experimentos de secagem foi utilizado um sistema de exaustão, que proporcionou uma convecção forçada e auxiliou na retirada da água evaporada durante a secagem, contribuindo para a redução da umidade da amostra de hortelã. Na Figura 9 está apresentada a unidade experimental do *cast-tape dryer*.

Figura 8 – a) *cast-tape dryer* utilizado para a realização dos ensaios de secagem e b) *cast-tape dryer* com sistema de exaustão



Fonte: Autoria própria, 2019.

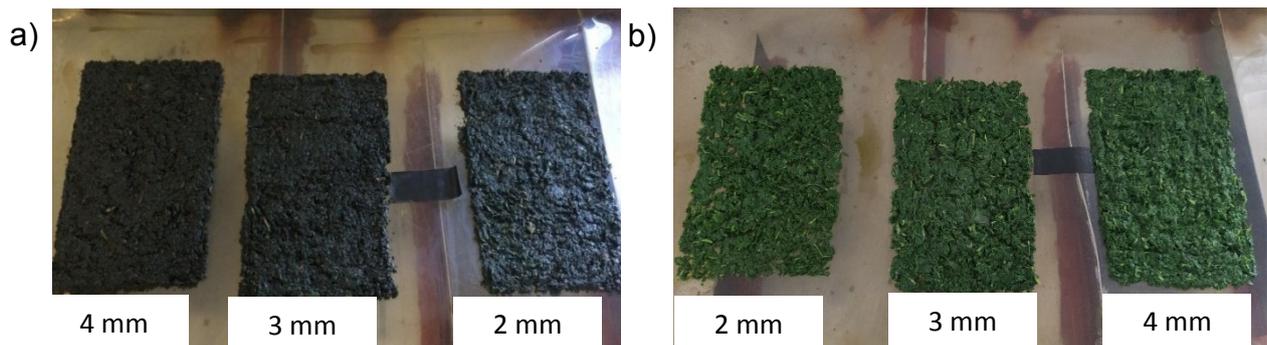
3.3.1 Cinética de secagem por *cast-tape drying*

A cinética de secagem das folhas de hortelã por *cast-tape drying* foi determinada por meio da retirada de amostras em triplicata de pontos distintos da parte central da pasta espalhada sobre o filme *mylar*, com intervalos de tempo pré-definidos. Para cada retirada, as amostras foram pesadas em balança analítica (Shimadzu do Brasil, modelo AUW320, Brasil) e a umidade foi determinada conforme metodologia AOAC (2012), descrita no item 3.4.1. As condições experimentais avaliadas para o processo de secagem foram: temperatura da água circulante de 55 °C, 72,5 °C e 90 °C, espessura de espalhamento da pasta de 2 mm, 3 mm e 4 mm,

com exaustão do ar de secagem. A camada de hortelã úmida, com a espessura definida pelo planejamento e massa padronizada, foi alcançada utilizando moldes de acrílico disponíveis no laboratório. Com base na densidade da hortelã e nas dimensões dos moldes de acrílico foi definido que seria utilizado em torno de 25,2 g de polpa de hortelã para os experimentos com 2mm de espessura, 37,8 g para os experimentos com 3 mm de espessura e 50,4 para os experimentos com 4 mm de espessura.

Na Figura 10 é mostrado um exemplo de camadas de hortelã sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) respectivamente, sobre o filme *mylar* com espessuras de 2, 3 e 4 mm.

Figura 9 – Camadas de hortelã sem branqueamento (SB) (a) e com branqueamento (CB) (b) espalhadas sobre o filme *mylar*.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Buscando encontrar a equação da literatura que melhor descrevesse a cinética de secagem da hortelã, foram testados os ajustes (estimativas de parâmetros) de alguns modelos, conforme apresentado na Tabela 2. Os parâmetros destes modelos (k , n , A , B e C) foram estimados pelo método dos mínimos quadrados (estimativa não-linear) e a melhor equação foi selecionada de acordo com o p-valor das estimativas dos parâmetros, a grandeza do valor do coeficiente de determinação (R^2) e o teste qui-quadrado (χ^2).

Para realizar a regressão não-linear os dados experimentais da cinética (variação de umidade do material ao longo do tempo de secagem) foram adimensionalizados conforme a Equação 7:

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \quad (7)$$

em que, MR é o adimensional de umidade, M é a umidade em um tempo qualquer (kg água/ kg sol. seco), M_0 é a umidade inicial (kg água/ kg sol. seco), M_{eq} é a umidade de equilíbrio (kg água/ kg sol. seco).

Tabela 2 - Equações de cinética de secagem da literatura.

Modelo	Equação	Referência
$MR = \exp(-kt)$	2	LEWIS (1921)
$MR = \exp(-kt^n)$	3	PAGE (1949)
$MR = A \exp(-kt)$	4	BROOKER et al. (1974)
$MR = A. \exp(-kt) + C$	5	LOGARÍTIMO (1999)
$MR = A. \exp(-kt^n) + Bt$	6	MIDILLI et al. (2002)

As equações matemáticas apresentadas foram ajustadas aos valores experimentais das cinéticas de secagem utilizando-se o programa computacional Statistica (Statsoft Inc., Tulsa, EUA).

3.3.2 Medida de temperatura

Durante a secagem a medida da temperatura do filme *mylar* e da polpa de hortelã em diferentes espessuras foi realizada com o termômetro digital portátil infravermelho (Instrutherm, modelo TI-550, Brasil), com valor de emissividade de 0,95. Estas medidas foram tomadas na região central do filme *mylar* da unidade experimental CTD sobre uma fita isolante preta e em diferentes regiões da polpa, conforme destacado na Figura 11. As medidas de temperatura ambiente e umidade relativa do ar foram realizadas com o termo-higrômetro digital (Incoterm, modelo 7663.02.0.00, Brasil) com precisão da temperatura de ± 1 % e com precisão da umidade relativa de ± 5 %.

Figura 10 - Medidas de temperatura: círculos em linha cheia mostram as regiões em que se monitorou a temperatura do produto, e círculo com linha pontilhada foi a região em que se monitorou a temperatura do filme *mylar*.



Fonte: Autoria própria, 2019.

3.4 Análises Realizadas

Com o intuito de verificar as propriedades da hortelã, a presença de compostos bioativos e o efeito das variáveis de processo sobre as características do material seco, foram realizadas uma série de análises físico-químicas. As folhas *in natura* (isto é, antes do processo de secagem) foram caracterizadas por meio das análises de cor, umidade, fenólicos, clorofila e carotenoides. Para as amostras que foram secas, foram realizadas análises de umidade, cor, higroscopicidade, distribuição de tamanho de partícula, fenólicos, clorofila, carotenoides totais e microscopia eletrônica de varredura. Todas as análises foram feitas em triplicata e os procedimentos estão descritos nos próximos itens.

3.4.1 Umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado segundo a metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012). As amostras de hortelã foram coletadas em cadinhos de metal com massa conhecida, aquecidos previamente em estufa convectiva (Nova Ética modelo 402-3D) a 105 °C por no mínimo 30 min, para evitar contaminação microbiológica, e resfriados em dessecadores até atingirem a temperatura ambiente. Na sequência, os cadinhos de metal contendo as amostras de hortelã foram pesados em balança analítica

(Shimadzu do Brasil, modelo AUW320, Brasil) e levados para a estufa convectiva (Ethik Technology, modelo 400-TD, Brasil) a 105 ± 2 °C por 24 h. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecadores para resfriamento, e em seguida pesadas.

A umidade das amostras em base úmida e base seca foi calculada por meio das Equações 8 e 9, respectivamente:

$$X_{bs} = \frac{M - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (8)$$

$$X_{bu} = \frac{M - M_s}{M} \cdot 100 \quad (9)$$

em que X_{bs} é a umidade do produto em base seca (Equação 8) e X_{bu} base úmida (Equação 9) [kg água/kg sólido úmido], M é a massa do sólido úmido; M_s é a massa do sólido seco. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.4.2 Cor

A cor foi avaliada por refletância com o colorímetro digital (CHROMA METER CR-400, Konica Minolta, Japão), com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As análises foram realizadas em ambiente com temperatura controlada a 25 °C. As medidas de coloração foram expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), e da cromaticidade definida por a^* (+60 a^* = vermelho e - 60 a^* = verde) e b^* (+ 60 b^* = amarelo e - 60 b^* = azul). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Os resultados experimentais de caracterização da hortelã seca foram analisados estatisticamente por regressão múltipla com suporte do *software Statistica* (Statsoft Inc., Tulsa, EUA), a um nível de significância de 10% ($p \leq 0,10$). A análise estatística realizada para cada um dos 3 planejamentos fatoriais investigados permitiu quantificar os efeitos de cada variável independente (temperatura da água circulante, espessura de espalhamento da amostra e a utilização do branqueamento) nas variáveis respostas analisadas. Os resíduos da regressão foram distribuídos de forma independente e aleatória de acordo com uma distribuição normal com média zero e variância constante.

3.4.3 Higroscopicidade

A higroscopicidade do produto seco foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações, baseadas no estudo de Tonon et al. (2009). Colocou-se aproximadamente 1 g de cada amostra em cadinhos de porcelana aquecidos previamente em estufa convectiva (Nova Ética modelo 402-3D) a 105 °C por no mínimo 30 min, e resfriados em dessecadores até atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, colocou-se as amostras em um recipiente hermético (dessecador) contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29 %) a 25° C e, após uma semana (7 dias), as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g 100 / g) e calculada conforme apresentado na Equação 10:

$$H = \frac{x}{m - m_s} \cdot 100 \quad (10)$$

em que, H representa a higroscopicidade (g de água adsorvida / 100 g de sólidos); x é a massa de umidade adsorvida (g); m é a massa da amostra úmida (g); m_s é a massa da amostra seca (g).

3.4.4 Tamanho de partícula

Para as amostras do produto seco, foi determinada a distribuição granulométrica e calculado o diâmetro médio de Sauter das partículas, após a desaglomeração delas por meio de pulsos de 2s, em um liquidificador industrial (Camargo, Brasil). Desta forma, amostras de aproximadamente 13 g foram pesadas em balança analítica e colocadas sobre um conjunto de peneiras padronizadas, de malhas (*mesh* Tyler): 10, 12, 14, 16, 18, 20, 30, 35, 45, 50, 60, 70 e 80. As peneiras foram colocadas sobre agitador vibratório (Haver & Boecker, modelo Haver EML Digital Plus, Alemanha), durante 10 min sob amplitude de vibração de 2 mm. O diâmetro médio de Sauter foi calculado a partir das frações mássicas de pó retidas em cada peneira por meio da Equação 11.

$$\bar{D} = 1 / \sum_i \frac{\Delta x_i}{D_i} \quad (11)$$

em que \bar{D} é o diâmetro médio de Sauter, Δx_i é a fração em massa retida em cada faixa e D_i é o diâmetro médio em cada faixa da distribuição (CREMASCO, 2012; PEÇANHA, 2014). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.4.5 Morfologia das partículas

Visando uma melhor análise dos materiais após a secagem, amostras de hortelã obtidas nas condições extremas de secagem, sendo 55 °C – 4 mm e 90 °C – 2 mm, sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura (MEV), em que foi possível observar a morfologia das mesmas e o impacto das diferentes condições das variáveis de processo na microestrutura física do material. As análises foram realizadas em microscópio eletrônico da fabricante Carl Zeiss, modelo EVO MA 10, localizado no Laboratório Multiusuário (LAMEV) da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). As amostras foram previamente fixadas em *stubs* com fita de carbono e recobertas com ouro no metabolizador da marca Leica, modelo SCD 050 e então submetidas a MEV. A voltagem de aceleração foi de 10KV, proporcionando ampliações de 50 a 10000 vezes do material utilizado.

3.4.6 Análises de Compostos Bioativos

Os compostos bioativos analisados neste estudo foram os fenólicos totais, clorofila e carotenoides. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Para realização destas análises, as amostras foram previamente trituradas em um liquidificador industrial até não haver mais grânulos e, então pesadas em balança com precisão de 10⁻⁴ g (Shimadzu do Brasil, modelo AUW320). Então, as amostras foram direcionadas para dois processos distintos de extração, de acordo com a natureza do bioativo analisado. Os compostos fenólicos totais foram extraídos das amostras

utilizando metanol 80%, enquanto a clorofila e os carotenoides usando acetona 80%. A seguir são descritas as metodologias detalhas de cada uma das análises realizadas.

3.4.6.1 Extração dos fenólicos totais

A extração metanólica foi realizada de acordo com o procedimento descrito por Kähkönen et al. (1999) com algumas modificações. Foram adicionados 10 mL de metanol 80% a 0,5 g de amostra de hortelã em um tubo Falcon e agitado em vórtex (Warmnest, modelo VX-38) por 1 min. Após a agitação, a mistura foi colocada em banho ultrassônico (Sanders, modelo Soniclean 6) por 5 min e centrifugada (Heal Force, modelo Neofuge 18R) por 10 min a 1500g. Posteriormente, a mistura foi filtrada em papel filtro e armazenada em um balão de 50 mL, para obtenção do filtrado que foi utilizado nas análises. O procedimento foi repetido até o resíduo se tornar incolor.

3.4.6.1.1 Quantificação dos fenólicos totais

Foi adicionado 1 mL do reagente Folin-Ciocalteu em 1 mL de extrato fenólico. A mistura foi deixada em repouso por 3 min no escuro. Logo após, foram adicionados 3,75 de solução de carbonato de cálcio e 0,5 mL de água destilada, nesta ordem. As soluções permaneceram 1 h em repouso no escuro. O branco foi preparado substituindo-se 1 mL do extrato fenólico por 1 mL dos solventes contidos no extrato, nas devidas proporções. As leituras espectrofotométricas da amostra e do branco foram realizadas a 760 nm. As análises foram feitas em triplicata. Os resultados foram calculados com base na curva-padrão de ácido gálico, preparada nas mesmas condições que a amostra (Apêndice A). O conteúdo fenólico total foi expresso em miligramas de equivalentes de ácido gálico por g de hortelã em pó em base seca (BERTOLDI, 2006).

3.4.6.2 Extração de clorofila e carotenoides

O conteúdo de clorofila e carotenoides foi determinado por meio da metodologia de Arnon (1949) adaptada. Para determinação, foram colocados em tubos Falcon aproximadamente 0,5 g de hortelã com adição de 10 mL de acetona 80%. Em seguida, a mistura foi centrifugada (Heal Force, modelo Neofuge 18R) a 5000 rpm por 5 min, o

sobrenadante foi filtrado, coletado em um balão e a extração foi repetida até o resíduo se tornar incolor. Posteriormente, foram realizadas as leituras de absorvância em espectrofotômetro (Spectronic Instruments, modelo Spectronic 20 Genesys) em três comprimentos de onda: 480, 645 e 663 nm. Todas as determinações foram realizadas em triplicata e o teor de clorofila total e carotenoides (expressos em mg / g de massa seca) foram calculadas usando as equações Equação 12 e 13 propostas por Arnon (1949):

$$Ct = 20,2A_{645} + 8,02A_{663} \quad (12)$$

$$C = [A_{480} + (0,114(A_{663}) - (0,638A_{645}))] \cdot \frac{V}{1000 * W} \quad (13)$$

sendo Ct : clorofila total; V : volume da amostra (mL); W : massa fresca da amostra (g); C : carotenoides e A : valores de absorvância nos componentes de ondas usados.

3.5 Planejamento Experimental

Os experimentos de secagem da hortelã sem e com branqueamento foram conduzidos de acordo com a metodologia de planejamento fatorial de experimentos (Box et al., 1978), por meio de um planejamento fatorial a três níveis (3^k), com duas réplicas no ponto central, com o objetivo de estimar os efeitos de dois fatores envolvidos no processo (temperatura da água circulante e espessura de espalhamento) sobre as variáveis resposta, higroscopicidade, cor, fenólicos, clorofila e carotenoides. Na Tabela 3 está apresentada a matriz do planejamento fatorial 3^2 executado, com os fatores e os níveis avaliados.

Tabela 3 - Planejamento fatorial 3².

Fator	Nível		
	-1	0	1
Temperatura da água circulante (°C)	55	72,5	90
Espessura do espalhamento da amostra (mm)	2	3	4

A partir desses dois planejamentos 3² (um SB e outro CB), após analisar os resultados obtidos até este estágio do trabalho, construiu-se um terceiro planejamento fatorial, agora um 2³, com o objetivo básico de verificar e quantificar o efeito do branqueamento (variável qualitativa). Vale enfatizar que para isso não se realizou novos experimentos, apenas se agrupou de forma conveniente um conjunto de ensaios pertencente àqueles dois planejamentos originais. Na Tabela 4 está apresentada a matriz do planejamento fatorial 2³ analisado, com os fatores e os níveis avaliados.

Tabela 4 - Planejamento fatorial 2³.

Fator	Nível	
	-1	1
Branqueamento	Sem Branqueamento	Com Branqueamento
Temperatura da água circulante (°C)	55	90
Espessura do espalhamento da amostra (mm)	2	4

O tratamento estatístico dos resultados dos planejamentos foi realizado com suporte do software Statistica (Statsoft Inc., Tulsa, EUA). A determinação dos efeitos significativos foi realizada por meio de um teste hipóteses (teste t de *Student*) com nível de significância de 10 % (foram desconsiderados os efeitos com p-valor maior que 0,1) em que: H0, não há diferença na resposta analisada; e H1, há diferença na resposta analisada.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da hortelã *in natura*

4.1.1 Umidade

Os resultados das análises de caracterização das folhas de hortelã *in natura*, moída, branqueada e branqueada moída para o teor de umidade são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização de umidade das folhas de hortelã (*Mentha spicata* L.).

Amostra	Umidade da amostra (b.s) (g água/g sol.seco)	Umidade da amostra (b.u) (%)
<i>In natura</i>	6,40 ± 0,82	86,33 ± 0,02
Moída	6,71 ± 0,15	87,03 ± 0,01
Branqueada	7,61 ± 0,14	88,92 ± 0,03
Branqueada moída	11,81 ± 0,71	92,17 ± 0,01

Pode-se observar que o valor de umidade das folhas de hortelã *in natura* encontrado foi, em média, de 86,33 % (b.u.). Doymaz (2006) ao investigar a secagem da hortelã (*Mentha spicata* L.) em um secador de bandejas, obteve valores de umidade das folhas *in natura* de 84,7 ± 0,5% (b.u.) e Scherer et al. (2013) no estudo da atividade antioxidante e antibacteriana e composição da hortelã, encontraram valores de umidade de 86,0 ± 0,4% (b.u.) para as folhas *in natura*. Através destes dados, pode-se perceber que os valores encontrados neste estudo se encontram próximos daqueles disponibilizados pela literatura.

Em relação a hortelã branqueada e branqueada moída percebe-se um aumento no valor do teor de umidade, o que pode ser explicado pelo processo de branqueamento, no qual as folhas de hortelã tiveram contato direto com a água aquecida, o que favoreceu o fluxo de massa da água do meio para o produto.

4.1.2 Cor

As medidas de coloração expressas em termos de (L^*) luminosidade, (a^*) em uma escala que vai de verde ao vermelho e (b^*) uma escala que vai de amarelo ao azul, das folhas de hortelã *in natura*, moída, branqueada e branqueada moída são apresentados na Tabela 6. A análise do material a ser seco foi realizada nessas diferentes condições buscando verificar o efeito do método de preparo nas características da polpa a ser submetida à CTD, de forma diminuir a perda (ou alterações indesejáveis) em propriedades da hortelã processada quando comparada à sua forma *in natura*.

Tabela 6 - Caracterização da cor das folhas de hortelã (*Mentha spicata* L.).

Hortelã	L^*	a^*	b^*
<i>In natura</i>	$14,59 \pm 0,06$	$- 9,80 \pm 0,02$	$14,50 \pm 0,01$
Moída	$7,96 \pm 0,05$	$- 0,75 \pm 0,02$	$2,92 \pm 0,04$
Branqueada	$7,96 \pm 0,06$	$- 6,50 \pm 0,02$	$8,89 \pm 0,08$
Branqueada moída	$7,79 \pm 0,03$	$-5,64 \pm 0,02$	$7,37 \pm 0,02$

As folhas de hortelã *in natura* apresentaram valores de $14,59 \pm 0,06$ para luminosidade (L^*); $-9,80 \pm 0,02$ para o parâmetro (a^*), o qual quanto mais negativo estiver, mais intenso é o verde; e $14,50 \pm 0,01$ para o parâmetro (b^*), o qual quanto mais positivo for, mais amarelado o produto. Valores semelhantes foram encontrados por Therdthai; Zhou (2008) no estudo da secagem da hortelã por micro-ondas. Os teores dos parâmetros de cor podem sofrer interferência de diversos fatores, como formas de cultivo, condições climáticas e geográficas de cada região em que a hortelã foi cultivada (Referência?).

Em relação a amostra moída, foi possível verificar que houve uma variação da cor das folhas de hortelã em relação a *in natura*, com uma diminuição de 92,35% do parâmetro a^* , que represente a cor verde. Essa alteração significativa provavelmente está associada ao processo de redução de tamanho, que desencadeou danos físicos e fisiológicos nas folhas de hortelã, levando a reações de escurecimento enzimático. Este escurecimento é provocado pela ação das enzimas polifenoloxidase (PPO) e

peroxidase (POD) que na presença de oxigênio, reagem com os compostos fenólicos (monofenol e o-difenol) (DORANTES-ALVAREZ et al., 2011).

Já a amostra branqueada moída apresentou os seguintes parâmetros de cor: $7,79 \pm 0,028$ para luminosidade (L^*), $-5,64 \pm 0,015$ para o parâmetro (a^*) e $7,37 \pm 0,021$ para o parâmetro (b^*), demonstrando que os valores de (a^*) e (b^*) se encontraram mais próximos dos valores da hortelã *in natura* (L^*) $14,59 \pm 0,064$, (a^*) $-9,80 \pm 0,021$ e (b^*) $14,50 \pm 0,014$, quando comparada a amostra moída sem prévio branqueamento. No que diz respeito ao parâmetro luminosidade (L^*), nota-se que tanto a amostra moída, branqueada e branqueada moída apresentaram valores próximos entre si, mas diferentes em relação à *in natura*.

Ao mesmo tempo, constatou-se que o processo de branqueamento como pré-tratamento térmico contribuiu na preservação dos parâmetros (a^*) e (b^*) da hortelã. Percebe-se que o parâmetro (a^*) que representa a cor verde para valores negativos, que é característica do produto, foi consideravelmente menos afetado em relação ao seu valor *in natura*, durante o processo de preparação da amostra (redução de tamanho) com a realização do branqueamento, o que se torna muito atrativo, visto ser um atributo relevante para este produto (Referência?). Na Figura 12 são mostradas as folhas de hortelã *in natura*, moída e branqueada moída. Assim, visualmente, foi possível perceber que o branqueamento auxiliou na manutenção da cor verde da folha de hortelã.

Figura 11 - Folhas de hortelã *in natura* (a), moída (b) e branqueada moída (c).



Fonte: Autoria própria, 2019.

4.1.3 Teor de compostos bioativos

Os resultados obtidos na caracterização da hortelã preparada para a secagem sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) para a presença de compostos bioativos estão expressos na Tabela 7:

Tabela 7 – Teores de compostos bioativos da hortelã (*Mentha spicata* L.) antes da secagem sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB).

Amostra	Compostos fenólicos totais (mg ácido gálico / 100 g*)	Teor de clorofila total (mg / 100 g*)	Carotenoides (mg / 100 g*)
Sem branqueamento (SB)	1509,99 ± 236,00	988,75 ± 19,86	126,55 ± 0,35
Com branqueamento (CB)	11974,99 ± 1143,51	768,25 ± 4,11	128,96 ± 2,90

*valores em base seca

Quanto aos teores de compostos bioativos, a hortelã (*Mentha Spicata* L.) apresentou resultados que mostram o seu potencial de aplicação. De acordo com Vasco (2009), materiais que possuem um teor de compostos fenólicos totais acima de 1000 mg ácido gálico / 100 g (base seca) apresentam concentrações altas de compostos fenólicos, classificação na qual se encaixa a hortelã deste estudo (1509,99 mg ácido gálico / 100 g base seca). Os resultados foram coerentes aos relatados por Uribe et al. (2016) que encontraram 1243 mg ácido gálico / 100 g em hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) e por Kanatt et al. (2007) que reportaram cerca de 2560 mg ácido gálico / 100 g em extrato de *Mentha spicata* L. De acordo com Benabdallah et al. (2016) o conteúdo de fenólicos totais em ervas como a hortelã, considerando diferentes espécies, pode variar de 1470 a 4320 mg ácido gálico / 100 g em peso seco.

A quantidade de compostos fenólicos totais obtidos para as amostras de hortelã *in natura* sem branqueamento (SB) foi de 1509,99 mg ácido gálico / 100 g), enquanto que para a amostra *in natura* com branqueamento (CB) foi de 11974,99 mg ácido gálico / 100 g, cerca de 8 vezes mais. Oboh (2005) no estudo do efeito do branqueamento nas propriedades antioxidantes de alguns vegetais de folhas verdes observou que a realização do branqueamento por imersão em água quente causou um aumento significativo no teor de fenólicos totais. Em espécies de *Structium sparejanophora* o autor observou que aumento do conteúdo de fenólicos totais após

a realização do branqueamento foi cerca de 200% maior (OBOH, 2005). Deng et al. (2019) realizou o branqueamento por impacto de ar quente de alta umidade (HHAIB), um processo de branqueamento relativamente recente, e observou que o teor de fenólicos na amostra de damasco fresca foi de 7,22 mg ácido gálico / 100 g (massa seca) e com a realização do branqueamento por 150 s este valor foi aumentado para 11,88 mg ácido gálico / 100 g (massa seca).

O menor teor de compostos fenólicos da amostra de hortelã *in natura* sem branqueamento (SB) em relação a amostra com branqueamento (CB) pode ser explicado pela liberação da enzima polifenoxidase durante o processo de preparação da amostra (moagem), que leva a uma maior oxidação dos compostos fenólicos. A realização do branqueamento anteriormente ao processo de moagem inibe a ativação da enzima, preservando melhor os compostos fenólicos e evitando a oxidação pela polifenoxidase (DENG et al., 2019).

O teor de clorofila encontrado para a hortelã *in natura* sem branqueamento (SB) foi de 988,75 mg / 100 g, valor maior em comparação com a hortelã com branqueamento (CB), que foi de 768,25 mg / 100 g. Rubinskienė et al. (2015) encontraram um teor de clorofila de 1207,14 mg / 100 g para folhas frescas de hortelã-pimenta (*Mentha piperita*). O menor teor de clorofila para a amostra com branqueamento (CB), possivelmente se deve, principalmente a lixiviação que ocorreu durante o branqueamento, visto que, o processo de tratamento térmico causa uma modificação na estrutura celular do material, que no caso da hortelã possibilitou uma liberação dos componentes que são solúveis em água, como a clorofila. Resultado semelhante foi encontrado por Teng e Chen (1999), que realizaram o processo de tratamento térmico por branqueamento em folhas de espinafre e notaram que, este processo causou degradação da clorofila. Os autores, explicam que a aparência verde brilhante dos vegetais pode ser convertida em uma cor verde-oliva opaca como resultado do tratamento térmico.

O teor de carotenoides obtido foi de 126,55 mg / 100 g para a hortelã *in natura* sem branqueamento (SB) e 128,96 mg / 100 g para a hortelã com branqueamento (CB), indicando que o tratamento térmico não causou aumento significativo de carotenoides. Straumite, Kruma; Galoburda (2015) observaram um teor de carotenoides em folhas de *Mentha Spicata* de 73,57 mg / 100 g (base seca). De acordo com vários autores, o conteúdo de carotenoides varia de 36 a 186 mg / 100 g em vegetais folhosos (BEN-AMOTZ; FISCHLER, 1998; KMIĘCIK; LISIEWSKA, 1999).

Deng et al. (2019) observaram que o valor de carotenoides do damasco foi maior com o aumento do tempo de branqueamento. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato de que o branqueamento pode aumentar a capacidade de extração de carotenoides da matriz devido à desnaturação de proteínas e à ruptura da estrutura da matriz durante o processo de tratamento térmico (DEWANTO et al., 2002 ; WACHTELGALOR, WONG, & BENZIE, 2008).

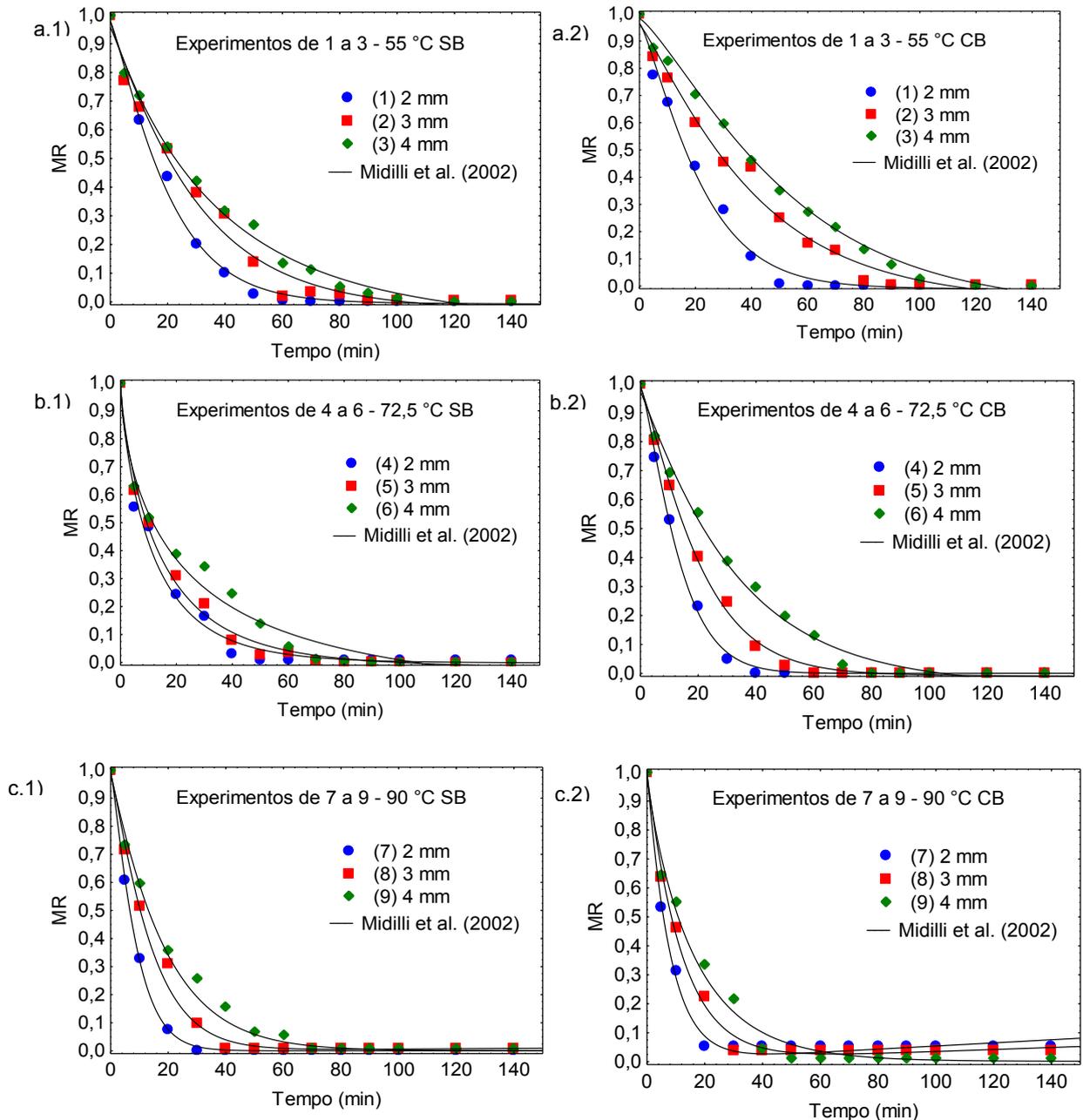
4.2 Caracterização da hortelã seca

4.2.1 Cinética de secagem por *cast-tape drying*

As curvas de secagem permitem avaliar o comportamento do teor de umidade do material ao longo do processo de secagem até que a massa da amostra permaneça constante, ou seja, até que se atinja a umidade de equilíbrio para as condições de secagem operadas (MOREIRA, 2000).

Os experimentos realizados para secagem da hortelã sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) seguiram o planejamento fatorial conforme descrito no item 3.5, verificando a influência da temperatura da água circulante e a espessura de espalhamento da amostra. As curvas de cinética de secagem para a pasta de hortelã mostrando a variação do adimensional de umidade (MR) em função do tempo de secagem nas temperaturas da água circulante de 55 °C, 72,5 °C e 90 °C e espessuras de 2, 3 e 4 mm, sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) estão apresentadas na Figura 13.

Figura 12 - Cinética de secagem da hortelã por CTD: a.1) experimentos de 1 a 3 – 55 °C sem branqueamento (SB) e a.2) experimentos de 1 a 3 – 55 °C com branqueamento (CB); b.1) experimentos de 4 a 6 – 72,5 °C sem branqueamento (SB) e b.2) experimentos de 4 a 6 – 72,5 °C com branqueamento (CB); c) experimentos de 7 a 9 – 90 °C sem branqueamento (SB) e c.2). experimentos de 7 a 9 – 90 °C com branqueamento (CB).



Por meio das curvas de cinética de secagem apresentadas na Figura 13, pôde-se observar que o aumento da temperatura da água circulante contribuiu para diminuição do tempo de secagem em todas as condições analisadas.

A determinação do tempo necessário para cada uma das condições, foi definida com base na umidade média final, na faixa entre 7 a 13% (b.u). A menor espessura de espalhamento da polpa (2 mm), combinada com a maior temperatura (90 °C) foi a condição que conduziu ao menor tempo de secagem, cerca de 20 min para as amostras CB, e em torno de 25 min para as amostras SB. Já para as demais espessuras, de 3 e 4 mm, mantendo a mesma temperatura, os tempos necessários foram em torno de 35 e 50 min para as amostras CB e cerca de 40 e 55 min para as amostras SB, respectivamente.

A condição que apresentou o maior tempo de secagem, cerca de 140 min para a amostra SB e 130 min para a amostra CB foi a maior espessura 4 mm, combinada com a menor temperatura 55 °C (Figura 11 a.1 e a.2). Nessa mesma temperatura 55 °C, foram requeridos tempos de 70 e 100 min para as amostras SB e 60 e 90 min para as amostras CB, considerando 2 e 3 mm de espessura da camada espalhada. Em relação a temperatura intermediária, 72,5 °C, foram requeridos tempos de secagem de 50, 70 e 90 min para as amostras SB e cerca de 40, 60 e 80 min para as amostras CB, considerando as espessuras de 2, 3 e 4 mm, respectivamente.

Em todas as condições analisadas, umidades inferiores a 0,14 g água/g sólidos secos (11 % b.u) foram alcançadas nos tempos de secagem apresentados. Através destes resultados, pode-se observar que ocorreu uma diminuição de cerca de 60 % no tempo de secagem para a espessura de 2 mm com o aumento da temperatura de 55 °C para 90 °C, em ambos os processos SB e CB. Quanto menor a temperatura, mais tempo leva para migração da água do centro para as extremidades do material (MARTINS et al., 2018).

Com a análise dos resultados, verifica-se que as amostras CB apresentaram menor tempo de secagem quando comparadas com as amostras SB nas mesmas condições de temperatura e espessura analisadas. Conforme explica Kshetrimayum et al. (2015), o branqueamento modifica favoravelmente a estrutura inicial do material, causando um amolecimento no tecido, resultando posteriormente em uma remoção mais fácil de umidade e menor tempo de secagem. Observações semelhantes foram também reportadas por Shete et al. (2015) em ervilhas verdes, Bishnoi et al. (2020) em folhas de feno-grego e Manzoor et al. (2019) em vagem.

Dos modelos de cinética avaliados (Tabela 2), constata-se que todos podem ser utilizados na estimativa das curvas de secagem, uma vez que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,9921. Porém, o modelo que mais se

adequou aos dados experimentais foi o de Midilli et al. (2002), visto que, apresentou o maior coeficiente de determinação, R^2 médio de 0,9961 para as amostras sem branqueamento (SB) e R^2 médio de 0,9966 para as amostras com branqueamento (CB), e os menores valores no teste qui-quadrado (χ^2), para todas as condições analisadas,

Na Tabela 8 são apresentados os parâmetros estimados do modelo de Midilli et al. (2002) ajustado aos dados para a secagem da hortelã sem branqueamento (SB) e na Tabela 9 para a secagem da hortelã com branqueamento (CB). Os parâmetros dos demais modelos avaliados, encontram-se disponíveis no Apêndice B.

Tabela 8 - Parâmetros obtidos pelo modelo de Midilli et al. (2002) na secagem da hortelã sem branqueamento (SB) por CTD.

Experimento	K	n	A	B	R^2	χ^2
1	0,0270	1,1861	0,9782	-0,000048	0,9976	0,000329
2	0,0235	1,1008	0,9570	-0,000196	0,9927	0,000113
3	0,0343	0,9465	0,9795	-0,000372	0,9972	0,000023
4	0,1308	0,8043	0,9901	-0,000012	0,9948	0,000131
5	0,1126	0,8032	0,9904	-0,000110	0,9968	0,000031
6	0,1328	0,6589	0,9874	-0,000538	0,9908	0,000385
7	0,0711	1,1980	0,9990	0,000004	0,9999	0,000001
8	0,0445	1,1609	0,9886	0,000062	0,9958	0,000002
9	0,0430	1,0695	0,9831	0,000005	0,9959	0,000005
10	0,0400	1,0660	0,9871	-0,000062	0,9981	0,000010
11	0,0139	1,3096	0,9708	0,000050	0,9968	0,000001
R^2 médio					0,9961	

Tabela 9 - Parâmetros obtidos pelo modelo de Midilli et al. (2002) na secagem da hortelã com branqueamento (CB) por CTD.

Experimento	K	n	A	B	R^2	χ^2
1	0,0198	1,2521	0,9669	-0,000083	0,9963	0,000000
2	0,0131	1,1711	0,9609	-0,000329	0,9938	0,000001
3	0,0066	1,2649	0,9619	-0,000406	0,9980	0,000052
4	0,0332	1,2841	0,9930	0,000002	0,9993	0,000040
5	0,0249	1,2084	0,9860	-0,000065	0,9987	0,000078
6	0,0235	1,0785	0,9722	-0,000270	0,9963	0,000008
7	0,1158	1,0328	0,9989	0,000541	0,9976	0,000019
8	0,0781	1,0218	0,9941	0,000350	0,9976	0,000007
9	0,0744	0,9277	0,9825	0,000008	0,9942	0,000033
10	0,0245	1,1602	0,9649	-0,000045	0,9952	0,000172
11	0,0058	1,5298	0,9452	-0,000062	0,9955	0,000007
R^2 médio					0,9966	

De um modo geral, o modelo de Midilli apresenta um bom ajuste aos dados de secagem de folhas de plantas, aromáticas, medicinais ou condimentares, visto que, este também foi o modelo de melhor ajuste aos dados experimentais de secagem de folhas e caules de coentro com branqueamento (SILVA et al., 2006), folhas de capim limão (MUJAFFAR; JOHN, 2018) e folhas de alecrim (ARSLAN; MUSA ÖZCAN, 2008).

Segundo Goneli et al. (2014), nos estágios iniciais do processo de secagem de plantas medicinais ocorre rápida perda de água, caracterizando uma curva com maior declínio, o que justifica o ajuste do modelo de Midilli aos dados experimentais. No entanto, segundo Radünz et al. (2011), o ajuste da equação matemática depende das características de cada espécie vegetal, sendo necessária a realização de estudos individuais para as diversas espécies.

As taxas de secagem observadas no período de taxa de secagem constante são apresentadas Tabela 10.

Tabela 10 - Taxas de secagem das pastas de hortelã sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB).

Temperatura da água circulante (°C)	Espessura da pasta (mm)	Taxa de secagem SB (g água/ g sól. seco. min)	Taxa de secagem CB (g água/ g sól. seco. min)
55 (-1)	2 (-1)	0,13 ± 0,03	0,22 ± 0,02
55 (-1)	3 (0)	0,11 ± 0,02	0,14 ± 0,03
55 (-1)	4 (1)	0,09 ± 0,00	0,11 ± 0,02
72,5 (0)	2 (-1)	0,15 ± 0,01	0,27 ± 0,01
72,5 (0)	3 (0)	0,11 ± 0,07	0,23 ± 0,00
72,5 (0)	4 (1)	0,09 ± 0,04	0,15 ± 0,02
90 (1)	2 (-1)	0,22 ± 0,00	0,38 ± 0,03
90 (1)	3 (0)	0,16 ± 0,01	0,29 ± 0,02
90 (1)	4 (1)	0,13 ± 0,01	0,21 ± 0,02
72,5 (0)	3 (0)	0,09 ± 0,01	0,22 ± 0,01
72,5 (0)	3 (0)	0,09 ± 0,02	0,23 ± 0,01

Nota-se que a temperatura da água circulante, a espessura da amostra e a realização do branqueamento influenciaram nas taxas de secagem da hortelã por CTD. As maiores taxas de secagens foram obtidas para as maiores temperaturas, menores espessuras e para as amostras pré-tratadas termicamente. Lebert et al. (1991) no estudo da cinética de secagem da hortelã (*Mentha spicata* Huds.) relataram

que o aumento da temperatura propiciou maiores taxas de secagem e que a realização do branqueamento, anteriormente ao processo de secagem, possibilitou taxas de secagem até cinco vezes maiores.

Além disso, observou-se pelos resultados da Tabela 7, que quando a espessura é aumentada de 2 para 4 mm, as taxas de secagem das amostras de hortelãs secas SB e CB foram até 40 % inferiores, considerando as diferentes temperaturas da água circulante. Comportamento semelhante foi observado por Frabetti et al. (2018), na secagem de polpa de goiaba por CTD com temperatura da água circulante de 98 °C, trabalho no qual camadas mais finas de espalhamento da polpa apresentaram maiores taxas de secagem e capacidade evaporativa. As camadas espalhadas de polpa de hortelã com maior espessura possuem maior resistência à transferência de calor e transferência de massa (difusão de água), mesmo com o aumento da temperatura (FRABETTI et al., 2018).

4.2.2 Umidade

Alguns autores relataram que um conteúdo de umidade menor que 10% (b.u) para alimentos em pó é seguro para longos períodos de armazenamento (DOYMAZ, 2006). Angel et al. (2009) cita que a umidade em torno de 10% (b.u) é um valor adequado para os parâmetros de qualidade de um produto seco. Diante disso, definiu-se que a umidade final (umidade ao término da secagem) das amostras de hortelã secas por CTD deveria estar entre 7 e 13 % (b.u).

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados de umidade em base úmida (b.u) (%), base seca (b.s) e os tempos necessários de secagem obtidos em cada um dos experimentos realizados sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB), respectivamente. Todos os experimentos seguiram o planejamento fatorial conforme o item 3.2.3, verificando a influência da temperatura da água circulante e a espessura de espalhamento da amostra em três níveis.

Tabela 11 - Resultados da caracterização de umidade da pasta de hortelã seca sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) e os tempos de secagem.

Experimento	Umidade final (SB) (b.u) (%)	Umidade da amostra (SB) (b.s) (g água/g sol.seco)	Tempo de secagem (min)	Umidade final (CB) (b.u) (%)	Umidade da amostra (CB) (b.s) (g água/g sol.seco)	Tempo de secagem (min)
1	9,11 ± 0,02	0,10 ± 0,02	70	7,41 ± 0,01	0,07 ± 0,01	60
2	10,31 ± 0,05	0,11 ± 0,05	100	10,97 ± 0,04	0,12 ± 0,04	90
3	7,50 ± 0,01	0,08 ± 0,01	140	8,72 ± 0,02	0,09 ± 0,02	130
4	10,98 ± 0,04	0,13 ± 0,04	50	7,26 ± 0,03	0,08 ± 0,03	40
5	7,41 ± 0,04	0,07 ± 0,04	70	9,50 ± 0,04	0,10 ± 0,04	60
6	7,48 ± 0,03	0,08 ± 0,03	90	10,88 ± 0,04	0,13 ± 0,05	80
7	9,09 ± 0,03	0,10 ± 0,04	25	10,21 ± 0,03	0,11 ± 0,03	20
8	8,85 ± 0,03	0,09 ± 0,03	40	8,74 ± 0,04	0,09 ± 0,04	35
9	7,28 ± 0,05	0,07 ± 0,05	55	8,50 ± 0,02	0,07 ± 0,02	50
10 C	7,47 ± 0,02	0,08 ± 0,02	70	7,90 ± 0,01	0,08 ± 0,01	60
11 C	9,55 ± 0,01	0,10 ± 0,01	70	7,57 ± 0,02	0,08 ± 0,02	60

Os resultados mostraram que o teor de umidade da pasta de hortelã seca por CTD variou de 7,26 a 10,98 % (b.u), esta variação está na faixa estipulada para o produto seco (entre 7 e 13 %) e é semelhante à relatada para outros pós alimentícios (BHANDARI; HOWES, 1999; RODRIGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2005). Moller et al. (1989) no estudo da secagem da hortelã relatou um conteúdo de umidade final da amostra de cerca de 11 % (b.u). Akpinar (2006) realizou experimentos de secagem da hortelã a céu aberto e obteve um conteúdo de umidade final de cerca de 10% (b.u).

4.2.3 Cor

Os resultados dos parâmetros de cor da hortelã seca por *cast-tape drying* (CTD) sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) são mostrados na Tabela 12, por meio das caracterizações feitas em triplicatas. Nota-se que após a secagem por CTD, com as diferentes condições de temperatura da água circulante e espessura de espalhamento da polpa, os parâmetros L*, a* e b* da hortelã seca apresentaram-se próximos aos valores da hortelã *in natura* moída, considerando as amostras sem e com tratamento térmico. Por conseguinte, de uma forma geral, as alterações mais intensas nos parâmetros de cor da hortelã *in natura* foram verificadas após a preparação da amostra para a secagem, e não após obter o produto seco.

Tabela 12 - Parâmetros de cor da hortelã seca sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) obtidos em diferentes condições de secagem por CTD.

Amostra/ Exp.	Sem branqueamento			Com branqueamento		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Hortelã <i>in natura</i>	14,59 ± 0,06	-9,80 ± 0,02	14,50 ± 0,01	7,96 ± 0,07	- 6,50 ± 0,02	8,89 ± 0,08
Moída	7,96 ± 0,05	-0,75 ± 0,02	2,92 ± 0,04	7,79 ± 0,03	-5,64 ± 0,02	7,37 ± 0,02
1	6,90 ± 0,04	- 0,75 ± 0,06	4,39 ± 0,06	8,03 ± 0,05	- 3,49 ± 0,07	6,81 ± 0,03
2	7,18 ± 0,04	- 1,02 ± 0,06	5,87 ± 0,17	8,70 ± 0,01	- 4,36 ± 0,06	8,09 ± 0,05
3	6,77 ± 0,03	- 0,58 ± 0,12	5,50 ± 0,01	8,20 ± 0,02	- 3,36 ± 0,08	7,45 ± 0,02
4	8,43 ± 0,09	- 0,30 ± 0,07	6,57 ± 0,03	8,37 ± 0,03	- 4,13 ± 0,10	7,83 ± 0,04
5	6,86 ± 0,03	- 0,07 ± 0,05	5,55 ± 0,01	11,08 ± 0,04	- 4,82 ± 0,08	10,46 ± 0,08
6	9,11 ± 0,04	- 0,10 ± 0,01	7,03 ± 0,02	15,42 ± 0,02	- 4,42 ± 0,04	10,47 ± 0,02
7	7,64 ± 0,02	- 0,64 ± 0,04	2,73 ± 0,03	7,47 ± 0,02	- 3,57 ± 0,02	7,16 ± 0,03
8	7,33 ± 0,02	- 0,38 ± 0,05	2,68 ± 0,03	6,84 ± 0,03	- 3,11 ± 0,03	6,70 ± 0,06
9	8,08 ± 0,02	- 0,24 ± 0,01	2,94 ± 0,01	7,76 ± 0,03	- 3,22 ± 0,07	7,20 ± 0,09
10	5,86 ± 0,04	- 0,02 ± 0,04	5,67 ± 0,03	10,97 ± 0,04	- 4,57 ± 0,08	9,65 ± 0,05
11	6,05 ± 0,07	- 0,05 ± 0,01	5,88 ± 0,03	10,87 ± 0,08	- 4,08 ± 0,04	9,74 ± 0,04

Observando os valores apresentados na Tabela 12, pode ser notado que em relação ao parâmetro (a*), o qual indica a tendência ao vermelho quanto mais positivo for esse parâmetro, e tendência ao verde quando mais negativo estiver (CHITARRA; CHITARRA, 2005), embora a variação entre os valores obtidos nas diferentes condições do planejamento não tenha sido muito intensa, percebe-se que a hortelã seca SB e CB que apresentou coloração mais verde foi para a menor temperatura 55 °C e espessura 3 mm, o que mostra que essa condição foi a mais propensa em preservar a cor verde, característica da hortelã.

Já a hortelã seca SB e CB que apresentou maior valor de luminosidade (parâmetro L*), ou seja, obteve a amostra com coloração mais clara, foi a temperatura de 72,5 °C e espessura de 4 mm. Provavelmente isso se deve ao fato de que nessa temperatura intermediária, o efeito do calor é menos intenso de que a 90 °C, e o tempo de exposição ao calor é menor em comparação a 55°C. A hortelã branqueada seca a 55 °C e 72,5 °C apresentou valores de luminosidade ligeiramente maiores do que a hortelã *in natura*. Este comportamento assemelha-se ao obtido por Uribe et al. (2016) na secagem da hortelã-pimenta a vácuo.

Com relação ao parâmetro b*, a hortelã seca tanto SB quanto CB que apresentou coloração mais amarelada foi a temperatura de 72,5 °C e espessura de 4 mm. Embora a associação dos três parâmetros (L*, a* e b*) seja interessante na

avaliação da cor de um produto, no caso da hortelã cuja cor predominante é o verde, o parâmetro a^* é um dos mais interessantes a ser utilizado para distinção das diferenças de cor resultantes do processo de secagem desse produto (RUBINSKIENÉ et al., 2015).

De forma geral, as amostras secas CB apresentaram melhor preservação de cor em todos os parâmetros avaliados (L^* , a^* e b^*), ou seja, valores mais próximos da hortelã *in natura*. Segundo Thamkaew; Sjöholm; Galindo, (2020), o principal benefício do branqueamento é a redução da degradação da cor, devido a destruição das enzimas que causam reações de escurecimento enzimático durante o processo de tratamento térmico. Os resultados estão de acordo com os obtidos por Pathare et al. (2013).

Na Tabela 13, para os 3 planejamentos analisados, encontram-se os valores dos efeitos significativos obtidos para o parâmetro L^* (luminosidade) de cor, sendo B (branqueamento), T (temperatura da água circulante) e E (espessura da camada espalhada).

Tabela 13 - Efeitos significativos no parâmetro L^* .

Fator	Planejamento					
	2^3		3^2			
	Efeito	p-valor	Sem Branqueamento		Com Branqueamento	
Efeito			p-valor	Efeito	p-valor	
B	0,945	0,062	*	*	*	*
T	-	-	1,880	0,024	-	-
E	-	-	0,900	0,090	-	-
BT	-1,190	0,035	*	*	*	*
BE	*	*	*	*	*	*
TE	*	*	-	-	-	-
EE	*	*	5,026	0,008	-3,022	0,029
TT	*	*	-3,700	0,017	-3,091	0,027

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1.

No planejamento 2^3 , a partir do qual se quantificou os efeitos para as 3 variáveis em 2 níveis, nota-se que branqueamento, temperatura e espessura apresentam efeitos significativos de forma isolada ou por meio de interação no valor do parâmetro L^* . O sinal positivo do efeito da variável branqueamento, em sua forma isolada, indica

que o valor do parâmetro L^* teve tendência a aumentar com a utilização do branqueamento (nível +1). Porém, esse comportamento não pode ser afirmado devido ao efeito significativo ($p < 0,1$) e de maior valor em módulo da interação entre temperatura e branqueamento. O coeficiente de determinação (R^2) de regressão obtido foi de 0,9093.

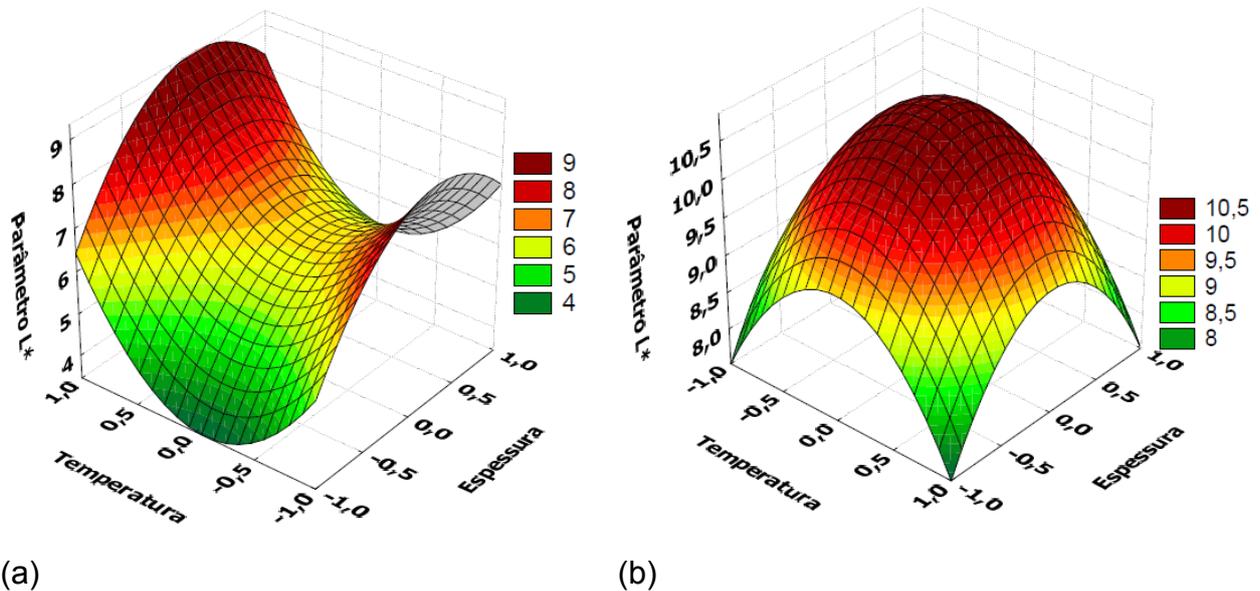
No planejamento 3^2 sem branqueamento, no qual se analisou para as variáveis quantitativas, temperatura e espessura, os efeitos em 3 níveis, verifica-se que um maior efeito dos termos quadráticos quando comparados aos efeitos principais. O coeficiente de determinação (R^2) de regressão obtido foi de 0,9557. Analisando o planejamento 3^2 com branqueamento, nota-se que as duas variáveis tiveram efeitos significativos somente por meio dos termos quadráticos. Foi encontrado um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9320. Nos dois planejamentos os efeitos de interação não foram significativos.

As equações empíricas obtidas por regressão múltipla, para representar a variação do parâmetro L^* em função das variáveis independentes estudadas são apresentadas nas Equações 14 e 15, respectivamente, para os resultados do planejamento SB e CB. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas, respectivamente, por meio da Figura 14 (a) e 14 (b). Nota-se que para a operação com branqueamento é observada uma região de máximo em níveis centrais das faixas estudadas, ou seja, temperaturas e espessuras intermediárias simultaneamente conduziram à maiores luminosidades. Neste caso, o efeito do calor é menos intenso do que a $90\text{ }^\circ\text{C}$, e o tempo de exposição ao calor é menor em comparação a 55° . Por outro lado, a secagem sem prévio branqueamento, tendeu a levar a maiores valores de L^* em níveis extremos de temperatura (90°C) associados com níveis intermediários de espessura (3 mm), condição que necessita de um menor tempo de secagem.

$$L_{SB}^* = 6,25 + 0,94 \cdot T + 0,45 \cdot E - 1,85 \cdot T^2 + 2,51 \cdot E^2 \quad (14)$$

$$L_{CB}^* = 10,86 - 1,69 \cdot T^2 - 1,66 \cdot E^2 \quad (15)$$

Figura 13 – Superfícies de resposta para o parâmetro de cor L* em função de temperatura da água circulante e espessura da camada: (a) SB; e, (b) CB.



Na Tabela 14 encontra-se os fatores com os efeitos significativos para o parâmetro a^* , para os 3 planejamentos fatoriais analisados.

Tabela 14 - Efeitos significativos no parâmetro a^* .

Fator	Planejamento					
	2^3		3^2			
	Efeito	p-valor	Sem Branqueamento		Com Branqueamento	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
B	-2,833	0,000	*	*	*	*
T	0,302	0,010	0,597	0,002	-	-
E	-	-	-	-	-	-
BT	0,302	0,010	*	*	*	*
BE	-0,273	0,012	*	*	*	*
TE	0,253	0,022	-	-	-	-
EE	*	*	-	-	-	-
TT	*	*	-1,016	0,001	1,775	0,033

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1.

Pelos resultados da quantificação dos efeitos para o planejamento 2^3 apresentados na Tabela 14, percebe-se que todas as variáveis influenciam de forma significativa no parâmetro a^* (considerando 0,1 o nível de significância) seja

isoladamente ou por meio de interação. Verifica-se ainda que o parâmetro a^* foi fortemente afetado pelo efeito principal da variável branqueamento, sendo que o sinal negativo desse efeito e o fato dele ser significativamente maior em módulo que o efeito dessa variável em interação branqueamento e temperatura, permite afirmar que quando amostra é submetida ao branqueamento obtêm-se hortelã seca com menor valor do parâmetro a^* , ou seja, com coloração mais verde. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,9998.

Por outro lado, analisando os resultados estatísticos (quantificação dos efeitos) dos planejamentos em três níveis sem e com branqueamento, expostos na Tabela 14, observa-se que, em geral, nas condições investigadas, somente a temperatura da água circulante apresentou efeito significativo no parâmetro b^* , e, ainda assim, não muito intenso. Este resultado está de acordo com a baixa variação nos valores desta resposta nos 2 planejamentos fatoriais 3^2 (Tabela 14) e também com o resultado da análise do planejamento fatorial 2^3 que revelou que para a alteração na cor verde o maior efeito foi causado pelo branqueamento, que conduziu a um pó com uma cor mais próxima aquela verificada nas amostras *in natura* e moída, quando comparado com a secagem sem o prévio tratamento térmico. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,9449 e 0,9302, respectivamente para os experimentos SB e CB.

Na Tabela 15, para os 3 planejamentos analisados, encontram-se os valores dos efeitos significativos (fatores com p-valor menor que 0,1) para o parâmetro b .

Tabela 15 - Efeitos significativos no parâmetro b^* .

Fator	Planejamento					
	2^3		3^2			
	Efeito	p-valor	Sem Branqueamento		Com Branqueamento	
Efeito			p-valor	Efeito	p-valor	
B	3,265	0,001	*	*	*	*
T	-1,030	0,014	-	-	-	-
E	0,500	0,057	-	-	-	-
BT	1,080	0,013	*	*	*	*
BE	*	*	*	*	*	*
TE	-0,375	0,095	-	-	-	-
EE	*	*	3,533	0,014	-	-
TT	*	*	-5,820	0,003	-5,536	0,002

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1.

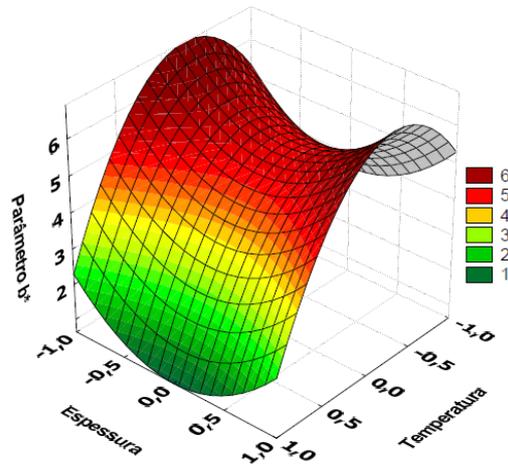
Analisando os efeitos obtidos para o planejamento 2³, nota-se que as 3 variáveis (branqueamento, temperatura e espessura) influenciaram de forma significativa, isoladamente ou como interação considerando 0,1 de nível de significância nas alterações de amarelamento (parâmetro b*) da hortelã. Porém, o efeito principal do branqueamento teve valor relativamente maior em comparação com o efeito de interação branqueamento e temperatura, apresentando sinal positivo, o que mostra a uma tendência de aumento do parâmetro b* com a realização do tratamento térmico previamente à secagem. O coeficiente de determinação (R²) encontrado foi de 0,9977.

No que diz respeito aos efeitos encontrados o valor do parâmetro b*, para os planejamentos 3² sem e com branqueamento, percebe-se que para os experimentos SB temperatura e espessura afetaram os resultados por meio do termo quadrático. Já para os experimentos CB, somente a temperatura foi significativa, por meio de um termo quadrático negativo, mostrando que níveis intermediários desta variável, levaram a um pó mais amarelo (maior valor de a*). O coeficiente de determinação (R²) encontrado foi de 0,9743e de 0,9416, para os planejamentos SB e CB, respectivamente.

A Equação 16, obtida por regressão múltipla, mostra a variação do parâmetro b* em função das variáveis independentes estudadas (temperatura e espessura) nos experimentos realizados SB. Na superfície de resposta da Figura 15, tem-se a representação gráfica desta Equação 16. Observa-se que a secagem SB, tendeu a conduzir a valores de b* mais elevados com experimentos realizados em níveis extremos de espessura combinados com níveis intermediários de temperatura, isso quer dizer que, a exposição ao calor não foi tão intensa e foi necessário um menor tempo de secagem.

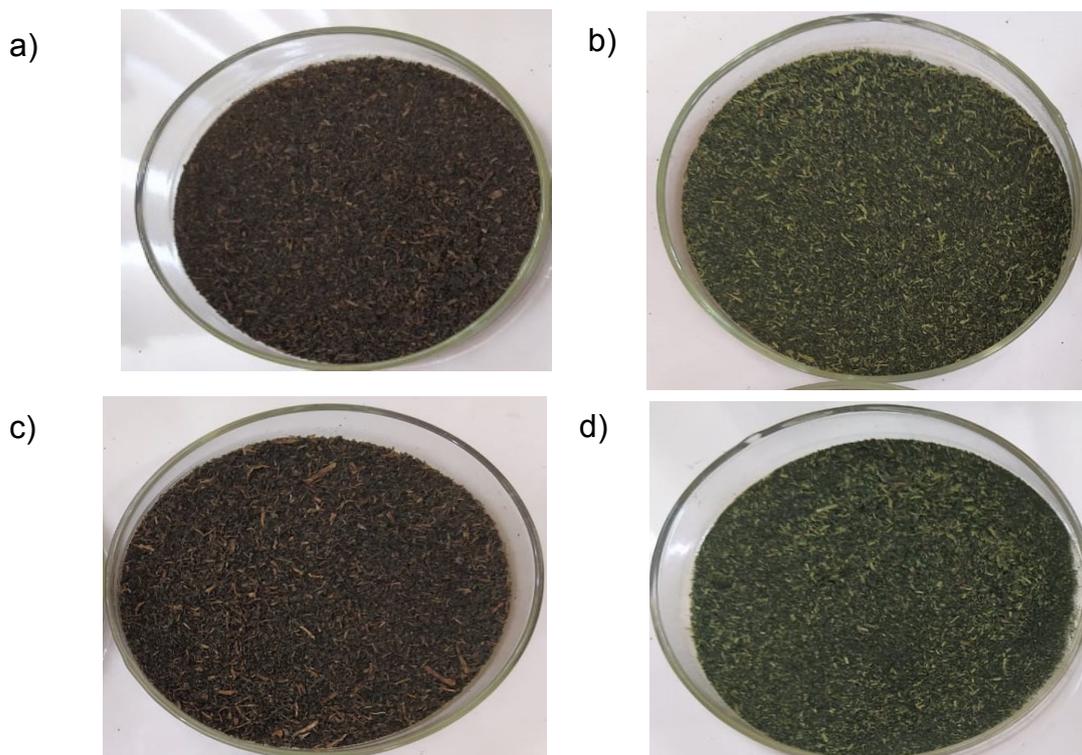
$$b_{SB}^* = 5,03 - 1,5 \cdot T - 2,91 \cdot T^2 + 1,67 \cdot E^2 \quad (16)$$

Figura 14 - Superfície de resposta para o parâmetro de cor b^* em função de temperatura da água circulante e espessura da camada espalhada: (a) SB.



Através das análises de cor, pode-se observar que de forma geral, as amostras secas com branqueamento (CB) apresentaram coloração mais verde (menores valores do parâmetro a^* - Tabela 12) e tonalidades mais claras (maiores valores do parâmetro L^* - Tabela 12). Na Figura 16 estão apresentadas imagens da hortelã seca nos pontos extremos dos planejamentos 3^2 : a) 55 °C – 4mm (SB); b) 55 °C – 4mm (CB); c) 90 °C – 2mm (SB) e d) 90 °C – 2mm (CB).

Figura 15 – a) Hortelã seca a 55 °C – 4mm sem branqueamento (SB); b) Hortelã seca a 55 °C – 4mm com branqueamento (CB); c) hortelã seca a 90 °C – 2mm sem branqueamento (SB) e d) hortelã seca a 90 °C – 2mm com branqueamento (CB).



4.2.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade é um fator importante para alimentos desidratados em pó, visto que é a capacidade que certos materiais possuem em adsorver água em sua superfície, podendo ser influenciada pela própria umidade do produto. Alimentos em pó com altas higroscopicidades promovem um fenômeno conhecido como *caking*, que dificulta a utilização desses produtos (CARLOS et al., 2005).

Na Tabela 16 são apresentados os valores da higroscopicidade da hortelã seca sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) por CTD, obtida em diferentes condições de processo de acordo com os experimentos do planejamento experimental.

Tabela 16 - Higroscopicidade da hortelã seca sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) obtidas em diferentes condições de secagem por CTD.

Experimento	Temperatura da água circulante (°C)	Espessura (mm)	Higroscopicidade SB (%)	Higroscopicidade CB (%)
1	55	2	15,22 ± 0,04	11,31 ± 0,02
2	55	3	12,47 ± 0,03	9,94 ± 0,03
3	55	4	14,39 ± 0,02	11,09 ± 0,05
4	72,5	2	18,03 ± 0,01	14,94 ± 0,002
5	72,5	3	17,86 ± 0,02	12,57 ± 0,018
6	72,5	4	18,07 ± 0,03	14,80 ± 0,019
7	90	2	19,04 ± 0,01	16,77 ± 0,04
8	90	3	21,83 ± 0,04	18,64 ± 0,04
9	90	4	19,08 ± 0,05	16,94 ± 0,05
10 C	72,5	3	18,05 ± 0,04	12,18 ± 0,05
11 C	72,5	3	17,37 ± 0,04	13,08 ± 0,03

De acordo os resultados apresentados na Tabela 16, o menor valor de higroscopicidade (9,94 %) foi obtido para a hortelã seca a 55 °C - 3 mm com branqueamento (CB). Em todas as condições de secagem avaliadas, os valores de higroscopicidade para as amostras com tratamento térmico foram relativamente menores, o que indica que o branqueamento produziu hortelãs secas menos higroscópicas. Já o maior valor de higroscopicidade (21,83 %) foi observado para o

experimento sem branqueamento (SB) com maior temperatura 90 °C e espessura de 3 mm. Braga et al. (2020) evidenciou que maiores temperaturas de secagem provocaram valores de higroscopicidade mais elevados durante a secagem do suco de abacaxi com hortelã por *spray drying*. Caparino et al. (2012) também notou que temperaturas mais altas costumam produzir pós mais higroscópicos na secagem da manga por CTD.

Foi realizada a análise estatística a um nível de significância de 10 % ($p \leq 0,10$), visando analisar os efeitos de cada variável independente (temperatura da água circulante, espessura de espalhamento da amostra e a utilização do branqueamento) em relação a higroscopicidade. Os fatores com os efeitos significativos e os respectivos p-valor encontram-se na Tabela 17, para os 3 planejamentos analisados.

Tabela 17 - Efeitos significativos na higroscopicidade.

Fator	Planejamento					
	2 ³		3 ²			
	Efeito	p-valor	Sem Branqueamento		Com Branqueamento	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
B	-2,905	0,000	*	*	*	*
T	4,955	0,000	4,256	0,001	5,440	0,000
E	-	-	-	-	-	-
BT	0,700	0,033	*	*	*	*
BE	-	-	*	*	*	*
TE	-	-	-2,235	0,027	-1,042	0,186
EE	*	*	-	-	3,806	0,005
TT	*	*	0,195	0,692	-	-

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1.

Considerando o conjunto de experimentos dado pelo planejamento 2³, nota-se que temperatura e branqueamento influenciaram de forma significativa, isoladamente ou como interação, considerando 0,1 de nível de significância. No entanto, a higroscopicidade foi mais afetada pela temperatura, sendo que pelo fato do efeito principal desta variável ser relativamente maior em comparação ao efeito da interação e em razão do sinal positivo do efeito deste fator, pode-se afirmar que ao submeter a amostra a níveis mais altos de temperatura obteve-se hortelãs secas com maiores valores de higroscopicidade. Já o sinal negativo do efeito da variável branqueamento, e o fato do módulo do efeito principal ser relativamente maior em relação ao efeito da

interação, mostrou que as amostras de hortelã secas que passaram pelo processo de tratamento térmico tiveram uma tendência de apresentarem menores valores de higroscopicidade. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,9943.

Analisando o planejamento 3^2 sem branqueamento verifica-se que as variáveis temperatura e espessura (somente por interação) influenciaram significativamente na higroscopicidade. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,9838. Em relação ao planejamento 3^2 com branqueamento também se notou efeito significativo das duas variáveis investigadas e, mais uma vez, verificando interação entre temperatura e espessura nos valores de higroscopicidade. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,9723.

4.2.5 Compostos Bioativos

Na Tabela 18 estão apresentados os valores dos compostos bioativos analisados neste estudo, que foram os fenólicos totais, clorofila e carotenoides totais para a polpa *in natura* sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) e para a hortelã desidratada obtida nas condições extremas de secagem, sendo: 55 °C e 4 mm (menor temperatura com maior espessura) e 90 °C e 2 mm (maior temperatura com menor espessura), ambos sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB).

Tabela 18 - Teores de compostos bioativos da hortelã (*Mentha spicata* L.) *in natura* e seca por CTD.

Amostra	Compostos fenólicos totais (mg ácido gálico / 100 g*)	Teor de clorofila total (mg / 100 g*)	Carotenoides (mg / 100 g*)
Sem branqueamento (SB)	1509,99 ± 236,00	988,75 ± 19,86	126,55 ± 0,35
Com branqueamento (CB)	11974,99 ± 1143,51	768,25 ± 4,11	128,96 ± 2,90
55 °C – 4 mm SB	4810,81 ± 346,83	192,48 ± 4,32	11,48 ± 0,10
55 °C – 4 mm CB	35723,88 ± 2197,44	757,41 ± 6,99	42,63 ± 0,64
90 °C – 2 mm SB	2713,57 ± 400,37	446,02 ± 5,90	31,36 ± 0,78
90 °C – 2 mm CB	21626,83 ± 2542,52	1065,20 ± 55,44	54,76 ± 5,79

* base seca

4.2.5.1 Teor de Fenólicos Totais

Em relação a hortelã desidratada, o maior valor encontrado de compostos fenólicos foi para as amostras com branqueamento (CB), nas condições de secagem avaliadas. Segundo Deng et al. (2019) alimentos secos pré-tratados por branqueamento geralmente apresentam um teor de fenólicos totais maior do que aqueles sem branqueamento. Heras-Ramírez et al. (2012) também observaram que o processo de branqueamento causou uma maior retenção de fenólicos do bagaço de maçã seco.

Observa-se que o aumento da temperatura de 55 °C para 90 °C causou uma redução nos teores de compostos fenólicos da hortelã, a níveis de 43% para as amostras secas sem branqueamento SB e 39% para as amostras secas com branqueamento CB. Dessa forma, a secagem a 55 °C e 4 mm permitiu uma melhor retenção de compostos fenólicos quando comparada com a secagem a 90 °C e 2 mm, indicando que uma temperatura mais baixa mesmo necessitando de um maior tempo de secagem (cerca de 140 min para amostras SB e 130 min para amostras CB), prejudicou menos os teores de compostos fenólicos da hortelã.

Comportamento semelhante foi observado por Lahnine et al. (2016) no estudo da secagem do tomilho por convecção solar, onde os autores relataram uma degradação dos compostos fenólicos totais com o aumento da temperatura. A diminuição do teor de compostos fenólicos em altas temperaturas de secagem podem estar associadas a três possíveis mecanismos, degradação parcial da lignina, liberação de compostos fenólicos ligados e início da degradação térmica dos compostos fenólicos (MÉNDEZ-LAGUNAS et al., 2017).

Os maiores teores de compostos fenólicos encontrados na hortelã desidratada em comparação com a hortelã fresca podem ser explicados pela maior eficiência no processo de extração, o que possibilitou que o solvente extrator (Metanol, 80%) penetrasse melhor nas partículas do material. Além disso, durante o processo de secagem ocorre uma perda de textura do alimento, o que leva a um amolecimento da matriz vegetal e um rompimento da membrana celular, promovendo a liberação de compostos fenólicos da matriz durante o processo de secagem (ARSLAN; MUSA ÖZCAN, 2008).

4.2.5.2 Clorofila

O teor de clorofila encontrado para a hortelã *in natura* sem branqueamento (SB) foi de 988,75 mg 100 / g, valor maior em comparação com a hortelã com branqueamento (CB), que foi de 768,25 mg / 100 g. Possivelmente isso se deve, principalmente a lixiviação que ocorreu durante o branqueamento, visto que, o processo de tratamento térmico causa uma modificação na estrutura celular do material, que no caso da hortelã possibilitou uma liberação dos componentes que são solúveis em água, como a clorofila. Resultado semelhante foi encontrado por Teng; Chen (1999), que realizaram o branqueamento em folhas de espinafre e notaram que, este processo causou degradação da clorofila. Os autores, explicam que a aparência verde brilhante dos vegetais pode ser convertida em uma cor verde-oliva opaca como resultado do tratamento térmico.

O branqueamento resultou em melhor retenção de clorofila nos produtos secos em comparação com produtos secos não branqueados, para as condições de secagem avaliadas. Resultado semelhante foi relatado por Manzoor et al. (2019) na secagem da vagem. A secagem a 55 °C com espessura de 4 mm teve maior impacto na redução do teor de clorofila da hortelã, o que pode ser explicado pela utilização de uma baixa temperatura associada a uma maior espessura do material, que acarretou em um maior tempo de secagem, cerca de 140 min para a amostra sem branqueamento e em torno de 130 min para a amostra com branqueamento. Quando a temperatura é aumentada para 90 °C e a espessura é reduzida para 2 mm, o tempo de secagem da hortelã é reduzido, cerca de 25 min para a hortelã sem branqueamento e 20 min para a hortelã com branqueamento, o que neste caso, proporcionou uma melhor preservação da clorofila, visto que é um pigmento sensível ao calor. Resultados semelhantes foram obtidos durante a secagem da folha de hortelã por micro-ondas investigada por Kripanand; ; Korra (2015).

4.2.5.3 Carotenoides

Foi observada uma diminuição no teor de carotenoides em todas as condições de secagem avaliadas (Tabela 18) em relação a hortelã *in natura* sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB), revelando um efeito do calor durante o processo. Ao mesmo, constata-se, porém, que as amostras de hortelã secas branqueadas apresentaram uma melhor preservação de carotenoides em comparação com as amostras secas não branqueadas. A diminuição dos carotenoides durante a secagem

pode ser atribuída ao fato de que este componente é muito propenso à oxidação por serem altamente insaturados (FRATIANNI et al., 2017).

Verificou-se que a secagem em temperaturas mais elevadas combinada a menores espessuras (90 °C com espessura de 2 mm), levou a uma maior preservação dos carotenoides, provavelmente diante do menor tempo de exposição do material ao calor. Em contraste, a degradação dos carotenoides foi acentuada com uma menor temperatura e maior espessura (55 °C – 4mm). Kripanand; Guruguntla e Korra (2015) no estudo da secagem da hortelã (*Mentha Spicata* L.) utilizando vários métodos de secagem, notaram uma tendência de degradação dos carotenoides com o aumento do tempo de exposição de secagem.

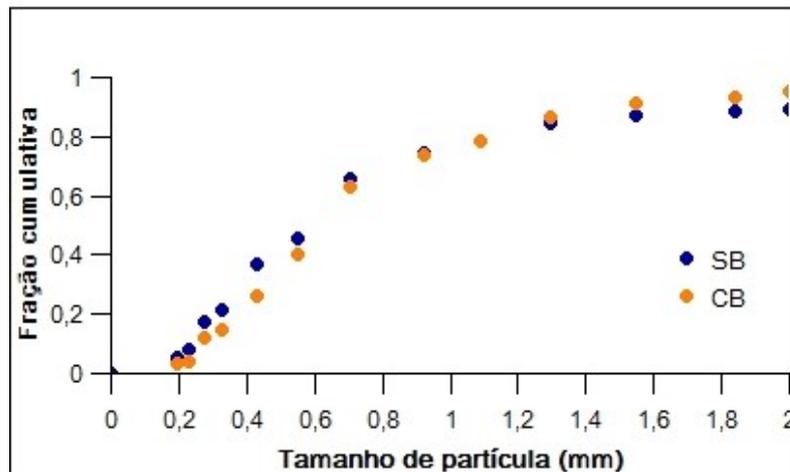
De uma forma geral, no que diz respeito às condições de secagem, nota-se que os teores de clorofila e carotenoides foram melhores preservados a 90 °C – 2mm em ambas as amostras SB e CB, porém com maiores teores para as amostras tratadas termicamente.

4.2.6 Distribuição do tamanho de partícula

Na Figura 17 está apresentada a distribuição granulométrica da hortelã seca pelo método CTD, sem e com branqueamento. Ao final da realização do planejamento experimental (item 3.5), os pós obtidos foram coletados e homogeneizados para obtenção do tamanho médio de partícula, visto ser um material heterogêneo.

A granulometria do material foi modificada na etapa de redução de tamanho, na preparação da amostra para secagem, e não na operação de secagem por CTD. Neste sentido, essa caracterização visa conhecer o tamanho de partícula do material particulado obtido, e não o efeito das variáveis da secagem.

Figura 16 - Distribuição granulométrica das amostras de hortelã sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) após secagem por CTD.



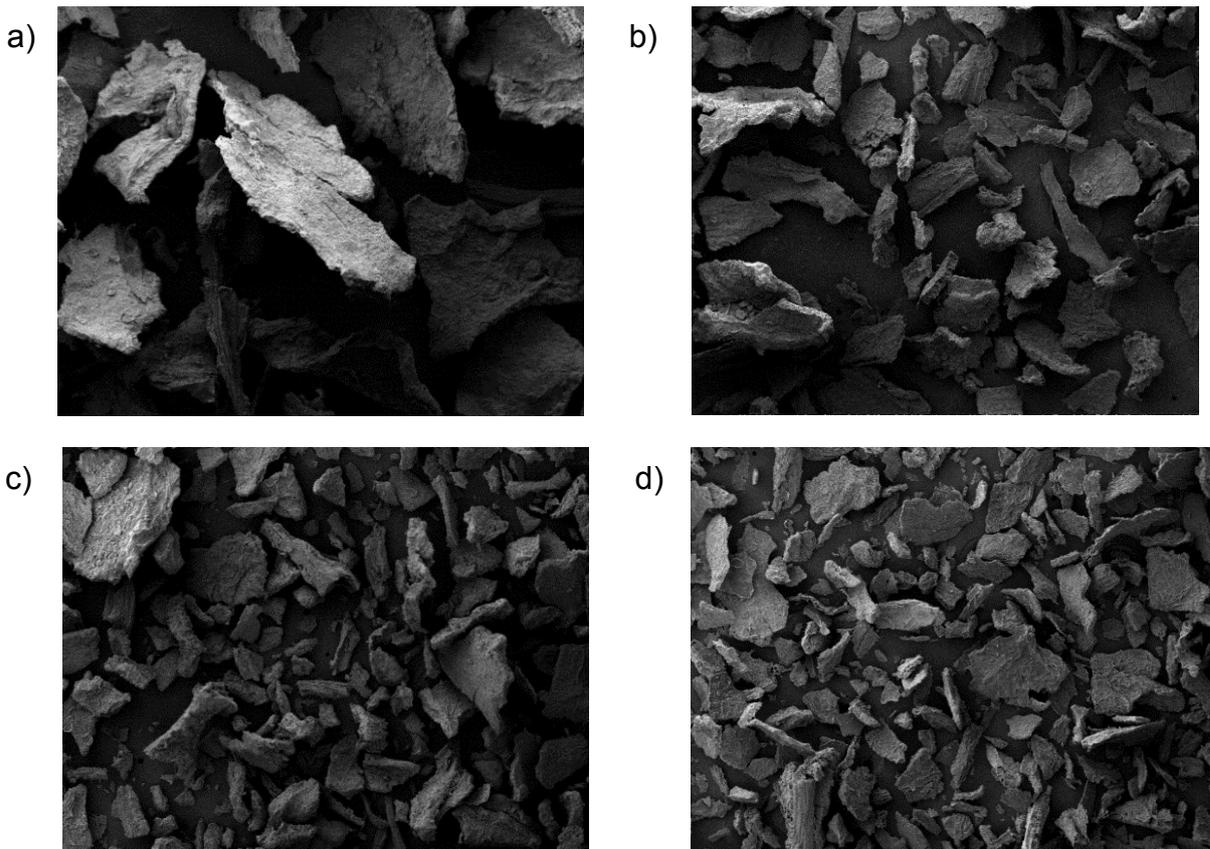
A distribuição cumulativa apresentada na Figura 17, mostra que a hortelã seca (SB) e (CB) obtida apresentou uma distribuição granulométrica ampla, com diâmetro de peneira entre 0,2 e 2 mm, porém aproximadamente 50 % das partículas são menores que 0,6 mm. O diâmetro médio de Sauter calculado foi de $0,500 \pm 0,029$ mm para as amostras (SB) e de $0,587 \pm 0,035$ mm para as amostras (CB). Uma distribuição de tamanho de partícula mais ampla, possivelmente se deve ao fato de que durante a operação de redução de tamanho (preparação das amostras para serem secas) as partículas são lançadas à parede do equipamento e devido à baixa elasticidade do choque dessas partículas (pouco densas) e sua dificuldade de deslizamento na parede, as mesmas tendem a se concentrar na região próxima à parede, diminuindo seu contato com o meio cortante.

4.2.7 Microestrutura Eletrônica de Varredura (MEV)

Mudanças físicas ao longo do processo de secagem podem alterar de diferentes formas a estrutura do material. Por meio da microscopia podem ser avaliados os impactos causados, como enrugamento, endurecimento, formação de poros ou fraturas (CHEN, 2008; SABLANI; RAHMAN, 2008). Sendo assim, amostras de hortelã obtidas nas condições extremas de secagem, sendo estas: $55\text{ }^{\circ}\text{C} - 4\text{ mm}$ e $90\text{ }^{\circ}\text{C} - 2\text{ mm}$, (SB) e (CB), foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura (MEV), com o intuito de verificar alguma alteração morfológica e estrutural do produto obtido. Nas Figuras 18 e 19 estão apresentadas as microscopias da hortelã

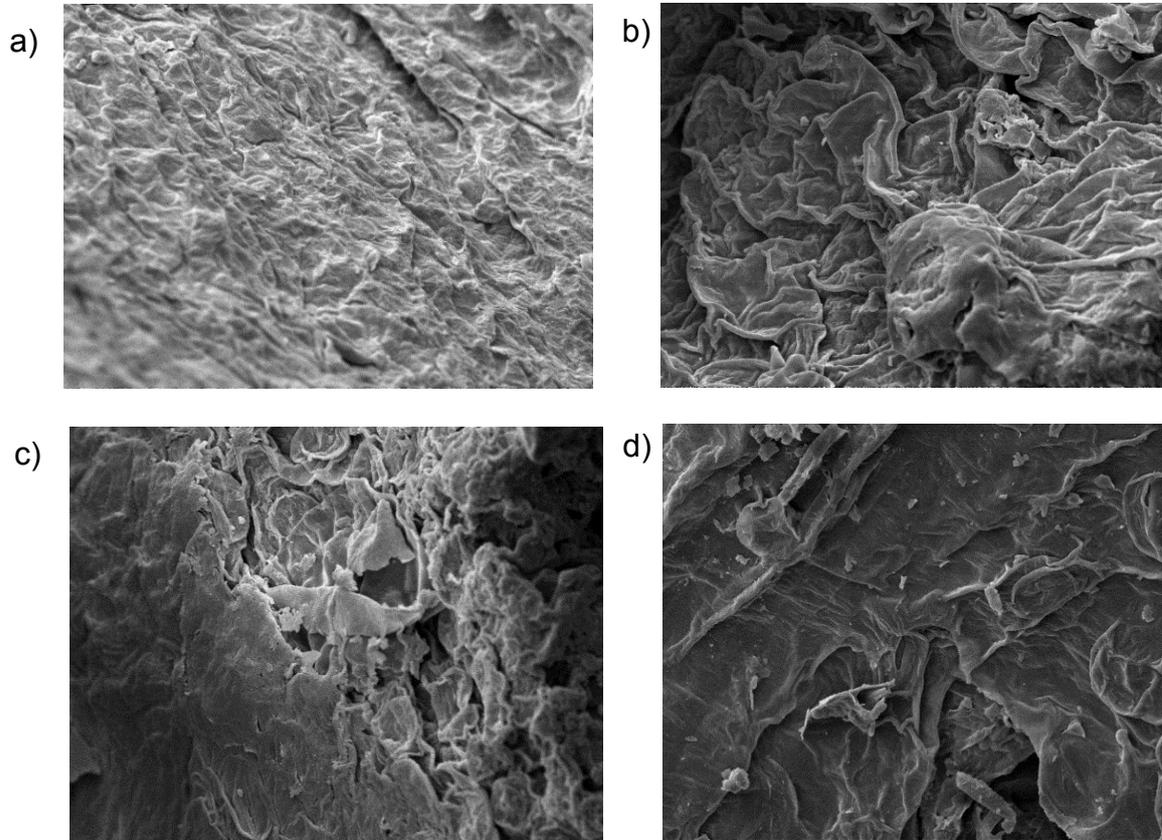
desidratada por *cast-tape drying* sem e com branqueamento com ampliação de 100 vezes e 2000 vezes, respectivamente.

Figura 17 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com ampliação de 100 vezes para a) amostra de hortelã seca em CTD à 55 °C – 4 mm sem branqueamento; b) 55 °C – 4 mm com branqueamento; c) 90 °C – 2 mm sem branqueamento; d) 90 °C – 2 mm com branqueamento.



Conforme se pode observar na Figura 18, a hortelã desidratada tanto SB quanto CB apresentaram formatos irregulares, ou seja, com uma grande variedade de tamanhos e formas, caracterizando um material heterogêneo, o que está de acordo com a análise granulométrica (Figura 17). Este fato se deve ao processo de moagem antes da operação de secagem, ao qual o material foi submetido.

Figura 18 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com ampliação de 2000 vezes para a amostra de hortelã seca em CTD à 55 °C – 4 mm sem branqueamento; b) 55 °C – 4 mm com branqueamento; c) 90 °C – 2 mm sem branqueamento; d) 90 °C – 2 mm com branqueamento.



Analisando a Figura 19, que traz a ampliação em 2000 vezes, pode-se notar que as amostras de hortelã desidratada sem branqueamento (SB) e com branqueamento (CB) apresentaram uma superfície enrugada. Além disso, de forma geral pode-se observar que o material não se mostrou poroso.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A secagem da hortelã foi possível e satisfatória pelo método *cast-tape drying* (CTD), sendo que a metodologia de preparo das amostras se mostrou viável para obtenção da pasta, de modo a permitir o espalhamento do material sobre o filme de poliéster. Os resultados apresentados neste trabalho confirmam o potencial de aplicação do método CTD, visto que foi possível obter a hortelã desidratada com elevados teores de compostos bioativos, em tempos de processo satisfatórios.

A utilização do branqueamento empregado nas folhas de hortelã, como pré-tratamento térmico, contribuiu para a preservação da cor, resultou em uma secagem mais rápida e teve uma melhor preservação nutricional em comparação com amostras não branqueadas. As taxas de secagem mais elevadas foram alcançadas nas condições de secagem de maior temperatura da água circulante (90 °C) e menor espessura de espalhamento da amostra (2 mm) e para as amostras pré-tratadas termicamente. Quando a espessura foi aumentada de 2 para 4 mm, as taxas de secagem das amostras de hortelãs secas SB e CB foram até 40 % inferiores, considerando as diferentes temperaturas da água circulante.

De forma geral, o branqueamento seguido de secagem a 90 °C com espessura de 2 mm, apresentou um curto período de secagem (cerca de 20 min) e resultou em folhas de hortelã com melhores teores de clorofila e carotenoides, no entanto provocou maiores perdas de compostos fenólicos. Em todas as condições de secagem avaliadas a umidade da hortelã desidratada ficou em torno de 7,26 a 10,98% (b.u).

Quanto à cor da hortelã seca produzida por CTD, a menor variação verificada em relação a amostra úmida foi a condição de secagem com a menor temperatura da água circulante (55 °C) e espessura intermediária (3 mm) tanto SB quanto CB. Já em relação a higroscopicidade observou-se que maiores temperaturas de secagem (90 °C) provocaram valores de higroscopicidade mais elevados e que as amostras branqueadas apresentaram hortelãs secas menos higroscópicas em todas as condições de secagem avaliadas.

Dessa forma, concluiu-se que a secagem da hortelã foi possível por CTD, se mostrando uma opção atrativa para obtenção da erva desidratada. As condições de

operação propostas neste trabalho permitiram um melhor conhecimento de suas variações e impactos, o que foi fundamental para obter um produto seco de qualidade e com alto potencial comercial.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização das análises desenvolvidas (fenólicos, clorofila e carotenoides) para todas as condições do planejamento fatorial.
- Caracterização da hortelã desidratada por *cast-tape drying* quanto a suas isotermas de sorção de umidade, atividade de água, teores de vitamina C, flavonoides totais, entre outros.
- Análise nutricional e sensorial das melhores condições de processo, com o intuito de avaliar a aplicação da hortelã desidratada em alimentos.
- Avaliação do *shelf-life* da hortelã desidratada.
- Secagem da hortelã por outras metodologias de desidratação, como a liofilização, para comparação de métodos de secagem.

REFERÊNCIAS

ABONYI, B. I.; FENG, H.; TANG, C. G.; EDWARDS, B. P.; MATTINSON, D. S., & FELLMAN, J. K. Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window™ System. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1051-1056, abr. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>.

AGUILERA, Y.; MARTIN-CABREJAS, M. A.; GONZÁLEZ DE MEJIA, E. Phenolic compounds in fruits and beverages consumed as part of the mediterranean diet: Their role in prevention of chronic diseases. **Phytochemistry Reviews**, v. 15, n. 3, p. 405-423, out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9443-z>

AHMED, J. **Drying of vegetables**: principles and dryer design. In: Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, SINHA, N. K. Ed. USA: Blackwell Publishing Ltd, 2011. v. 1, cap. 13, p. 279-298.

AKPINAR, E. K. Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 864-870, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.014>

ANGEL, R. M. C. et al. Spray-drying of passion fruit juice using lactose maltodextrina blend as the support material. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p. 1011-1018, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000400026>

ANTAL, T., A. FIGIEL, B. KERÉKES, AND L. SIKOLYA. Effect of drying methods on the quality of the essential oil of spearmint leaves (*Mentha spicata*). **Drying Technology**, v. 29, n.15, p. 1836–44, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.606519>

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. (19th ed.), AOAC international, Gaithersburg, MD, USA, 2012.

ARAÚJO, W. M. C.; BOTELHO, R. B. A.; MONTEBELLO, N. P. **Alquimia dos alimentos**. Brasília: Editora Senac DF, 2009.

ARROQUI, C.; RUMSEY, T. R.; LOPEZ, A.; VIRSEDA, P. Effect of different soluble solids in the water on the ascorbic acid losses during water blanching of potato tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p. 123-126, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00107-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00107-2)

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**. Maryland, v.24, n.1, p. 1-15, jan. 1949. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>

ARSLAN, D.; MUSA ÖZCAN, M. Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. **Energy Conversion and Management**, v.49, n.5, p.1258–1264, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.08.005>

ARSLAN, D.; MUSA ÖZCAN, M.; MENGES, H. O. Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). **Energy Conversion and Management**, v. 51, p.2759–2775, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.229>

AYADI, M.; MABROUK, S. B.; ZOUARI, I.; BELLAGI, A. Kinetic study of the convective drying of spearmint. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.13, n.1, p. 1-7, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.04.004>

BABY, R.; CABEZAS, M.; CASTRO, E.; FILIP, R; WALSÖE DE RECA, N. E. Quality control of medicinal plants with an electronic nose. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 106, n. 1 SPEC. ISS., p. 24–28, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.05.049>

BAEGHBALI, V.; NIAKOUSARI, M.; FARAHNAKY, A. Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. **Journal of Food Science and Technology**, v. 66, p. 34-40, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.017>

BAHÇEÇI, K.; SERPEN, A.; GÖKMEN, V.; ACAR, J. Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 289-296, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.004>

BEHSNILIAN, D.; MAYER-MIEBACH, E. Impact of blanching, freezing and frozen storage on the carotenoid profile of carrot slices (*Daucus carota* L. cv. Nutri Red). **Food Control**, v. 73, p. 761-767, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.09.045>

BENABDALLAH, A.; RAHMOUNE, C.; BOUMENDJEL, M.; AISSI, O.; MESSAOUD, C. Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (*Lamiaceae*) from northeast of Algeria. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 6, p. 760–766, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.06.016>

BEN-AMOTZ, A.; FISCHLER, R. Analysis of carotenoids with emphasis on 9-cis β -carotene in vegetables and fruits commonly consumed in Israel. **Food Chemistry**, v. 62, p. 515–520, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00196-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00196-9)

BERTOLDI, M. C. **Atividade antioxidante *in vitro* da fração fenólica, das oleorresinas e do óleo essencial de pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi)**. 2006. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/2913>. Acesso em: 11 mar. 2021.

BHANDARI, B. R.; ADHIKARI, B. P. Water activity in food processing and preservation. In: CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S. **Drying Technologies in Food**

Processing. Inglaterra: Blackwell Publishing Ltd: John Wiley & Sons, 2008. Cap. 2, p. 55-89.

BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. **Journal of Food Engineering**, v. 40, n. 1-2, p. 71-79, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00039-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00039-4)

BIAGI, J.; BERTOL, R. **Secagem de grãos.** Faculdade de Engenharia Agrícola. Unicamp, Campinas, 1993.

BIESK, I. G. C. **Plantas medicinais e aromáticas no sistema único de saúde da região sul de Cuiabá-MT.** 2005. 92f. Monografia (Mestrado em Plantas Mediciniais) – Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

BISHNOI, S., CHHIKARA, N., SINGHANIA, N., RAY, A. B. Effect of cabinet drying on nutritional quality and drying kinetics of fenugreek leaves (*Trigonella foenum-graecum* L.). **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 2, n. September, p. 100072, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100072>

BOADI, W. Y.; IYERE, P. A; ADUNYAH, S. E. Effect of quercetin and genistein on copper-and iron-induced peroxidation in methyl linolenate. **Journal Applied Toxicology**, v.23, p. 363-369, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/jat.933>

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química dos alimentos.** 2 ed. São Paulo: Vereda, p. 223, 1992.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit híbrido em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabólitos incolores.** 2009.125 f. Tese (Doutorado em Bromotologia) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.9.2009.tde-25092009-150741>. Acesso em: 11 mar. 2021.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereals grains.** USA: Westport. CT. 265 p, 1974.

ELTAWILL, M. A; AZAM, M. M; ALGHANNAM, A. O. Energy analysis of hybrid solar tunnel dryer with PV system and solar collector for drying mint (*Mentha Viridis*). **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 352-364, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.229>

BORGES, S. V. **Análise higroscópica e microestrutural de flocos de frutas desidratadas.** 151 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG, 1988.

BOX, G. E. P., HUNTER, W. G.; HUNTER, J.S. Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, **Data Analysis and Model Building.** John Wiley and Sons Inc., New York, USA., ISBN-13: 9780471093152, p. 653,1978.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**. v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>

CARLOS, L. A.; RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J. Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares constituintes de frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, p.163- 173, 2005.

CELLI, G. B.; KHATTAB, R.; GHANEM, A.; BROOKS, M. S. Refractance Window™ drying of haskap berry - Preliminary results on anthocyanin retention and physicochemical properties. **Food Chemistry**, v. 194, p. 218-221, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.012>

CHAVES, M. C. V.; GOUVEIA, J. P. G; ALMEIDA, F. A. C.; LEITE, J. C. A.; SILVA, F. L. H. Caracterização físico-química do suco de acerola. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2004.

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Biological changes during food drying processes. Em: CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S., **Drying Technologies in Food Processing**, Cap 3, p. 90-112, Blackwell Publishing Ltd, John Wiley & Sons, Inglaterra, 2008.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005, 785 p.

CHONG, C. H. et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3889-3896, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.042>

COSTA, A. G.; CHAGAS, J. H.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K.V. Crescimento e produção de óleo essencial de hortelã-pimenta cultivada sob malhas. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 534-540, 2012.

COSTA, B. R.; RODRIGUES, M. C. K.; ROCHA, S. F.; POHNDORF, R. S.; LARROSA, A. P. Q.; PINTO, L. A. A. Optimization of Spirulina sp. Drying in heat pump: Effects on the physicochemical properties and color parameters. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, p. 934-942, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12672>

CUQ, B.; RONDET, E.; ABECASSIS, J. Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. **Powder Technology**. v. 208, p. 244–251, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.012>

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.; FENNEMA, O. R. **Fennema's food chemistry**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 1144 p.

DECAREAU, R. V. **Microwaves in the food processing industry**. Academic Press, Orlando, United States of America, p.102, 1985.

DECAREAU, R.V. **Encyclopaedia of Food Science and Technology**, v.3, p. 1772–1778, Wiley, New York, USA, 1992.

DENG, L.; PAN, Z.; MUJUMDAR, A. S.; ZHANG, Q.; GAO, Z.; YANG, X; WANG, J.; ZHENG, Z.; GAO, Z.; XIAO, H. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes – a comprehensive review. **Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 9, p.1408-1432, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192>

DENG, L. Z.; PAN, Z.; MUJUMDAR, AS.; ZHAO, J. ZHENG, Z.; GAO, Z.; XIAO, H. High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying quality of apricots by inactivating the enzymes, reducing drying time and altering cellular structure. **Food Control**, v. 96, n. September 2018, p. 104–111, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.008>

DESMORIEUX, H.; DECAEN, N. Convective drying of spirulina in thin layer. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 497-503, 2005. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.021>

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K. K.; LIU, R. H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food**, v. 50, n. 10, p. 3010-3014, p. 2002. DOI:

<https://doi.org/10.1021/jf0115589>

DISSA, A. O.; DESMORIEUX, H.; SAVADOGO, P. W.; SEGDA, B. G.; KOULIDIATI, J. Shrinkage, porosity and density behavior during convective drying of spirulina.

Journal of Food Engineering, v. 97, p. 410-418, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.036>

DOKE JR., J. M. An Improved and Efficient Method for the Extraction of Phycocyanin from Spirulina sp. **International Journal of Food Engineering**, v. 1, n.5, p. 1-13, 2005. DOI:

<https://doi.org/10.2202/1556-3758.1037>

DORANTES-ALVAREZ, L. et al. Blanching peppers using microwaves. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 178-183, 2011. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.028>

DOYMAZ, I. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 3, p. 370–375, 2006. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.009>

DURIGON, A.; SOUZA, P. G.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 145-155, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>

ERTEKIN, C.; HEYBELI, N. Thin-layer infrared drying of mint leaves. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, p. 1480-1490, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12107>

EVРАНУЗ, E. O. Drying vegetables: new technology, equipment and examples. **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Ed. Sinha, N. K. Blackwell Publishing Ltd, 299-315, 2011.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FOUST, A. S., WENZEL, L. A., CLUMP, C. W., Maus, L., & Andersen, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. John Wiley & Sons, Inc, 1982.

FRABETTI, A. C. C.; DURIGON, A.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying of guava pulp by cast-tape drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 96, p. 620-626, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.021>

FRATIANNI, A.; NIRO, S.; MESSIA, M. C.; CINQUANTA, L.; PANFILI, G.; ALBANESE, D. Kinetics of carotenoids degradation and furosine formation in dried apricots (*Prunus armeniaca*, L.). **Food Research International**, v. 99, p. 862-867, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.009>

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Process and Unit Operations**. 3 th ed. New Jersey: Simon & Schuster, p. 508–571, 1983.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C; VILHASANTI, H. 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, 2014.

GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS, INC. **Herbal supplements and remedies – Global Market Trajectory & Analytics**, 2021. Disponível em: <https://www.strategyr.com/market-report-herbal-supplements-and-remedies-forecasts-global-industry-analysts-inc.asp>. Acesso em: 05. mar. 2021.

GONÇALVES, E. M.; PINHEIRO, J.; ABREU, M.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. **Journal of Food Engineering**, v. 97. n.4, p. 574–581. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.005>

GOND, V.; DEPURY D. G. G.; VEROUSTRAETE F.; CEULEMANS, R. Seasonal variations in leaf area index, leaf chlorophyll, and water content; scaling up to estimate fapar and carbon balance in a multilayer, multispecies temperate forest. **Tree Physiology**, v.19, n. 10, p.673-679, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/19.10.673>

GRISI, M. C. C., **Avaliação de Genótipos de Menta (*Mentha spp*) nas condições do Distrito Federal**, Brasília. Ver. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.8, n.4, p.33-39, 2006.

HASSAN, L. G.; UMAR, K. J.; ATIKU, I. Nutritional Evaluation of Albizia lebbeck (L.) Pods as Source of Feeds for Livestock. **American Journal of Food Technology**, v.2, p. 435-439, 2007. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajft.2007.435.439>

HALPIN, B.E.; LEE, C.Y. Effect of blanching on enzyme activity and quality changes in green peas. **Journal of Food Science**, v. 52, n 4, p. 1002-1005, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb14261.x>

HERAS-RAMÍREZ, M. E.; QUINTERO-RAMOS, A.; CAMACHO-DÁVILA, A. A.; BARNARD, J.; TALAMÁS-ABBUD, R.; TORRES-MUÑOZ, J. V. Effect of blanching and drying temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2201-2210, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0583-x>

HINNEBURG, I.; DORMAN, D.; HILTUNEN, R. Antioxidant activities of extracts from selected culinary herbs and spices. **Food Chemistry**, v. 97, p.122-129, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.028>

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p.1841-1856, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf030723c>

IBRAHIM, H. M. Evaluation of genetic diversity and relationships of five *Mentha* species using RAPD markers. **Journal of Current Science**. v.6, p. 271-27, 2017.

JABBARI, M.; BULATOVA, R.; TOK, A. IY; BAHİ, C. RH.; MITSOULIS, E.; HATTEL, J.H. Ceramic tape casting: A review of current methods and trends with emphasis on rheological behaviour and flow analysis. **Materials Science and Engineering: B**, v. 212, p.39-61, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2016.07.011>

JANGAM, S. V.; MUJUMDAR, A. S. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1*. Ed. Jangam, S. V.; Law, C. L.; Mujumdar, A. S. Singapura, 2010.

JAYARAMAN, K.S.; GUPTA, D. K. D. *Drying of fruits and vegetables*. **Handbook of Industrial Drying**. 3 th ed. Taylor & Francis: Publishers, 2006.

KANATT, S. R; CHANDER, R.; SHARMA, A. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation-processed lamb meat. **Food Chemistry**, v. 100, p. 451-458, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.066>

KÄHKÖNEN, M.P., HOPIA, A.I., VUORELA, H.J., RAUHA, J.-P., PIHLAJA, K., KUJALA, T.S., HEINONEN, M. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agr. Food Chem.* v. 47, p. 3954–3962, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf990146i>

KEIFER, D.; ULBRICHT C.; ABRAMS, T. R.; BASCH, E.; GIESE, N.; GILES, M.; KIRKWOOD, C. F.; MIRANDA, M.; WOODS J. Peppermint (*Mentha piperita*): an evidence-based systematic review by the Natural Standard Research Collaboration.

Journal of Herbal Pharmacotherapy, v.7, p. 91-143, 2009. DOI: https://doi.org/10.1080/J157v07n02_07

KIANI, S.; MINAEI, S.; GHASEMI-VARNAMKHASTI, M. Real-time aroma monitoring of mint (*Mentha spicata* L.) leaves during the drying process using electronic nose system. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 124, n. July 2017, p. 447–452, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.033>

KMIECIK, W.; LISIEWSKA, Z. Effect of pretreatment and conditions and period of storage on some quality indices of frozen chive (*Allium schoenoprasum* L.). **Food Chemistry**, v. 67, n.1, p. 61-66, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00111-9)

KOSAR, M. Screening for free scavenging components in water extracts of *Mentha* samples using a postcolumn derivatization method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 16, p. 5004-5010, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0496189>

KURZ, C.; CARLE, R.; SCHIEBER, A. HPLC-DAD-MSn characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity. **Food Chemistry**, London, v. 110, p. 522-530, 2008.

KRIMM, S. **Infrared spectra of high polymers**. Fortschritte der Hochpolymeren-Forschung. Springer, Berlin Heidelberg, p. 51-172, 1960.

KRIPANAND, S. M.; GURUGUNTLA, S.; KORRA, S. Effect of various drying methods on quality and flavor characteristics of mint leaves (*Mentha spicata* L.). **Journal of Food and Pharmaceutical Sciences**, v. 3, p. 38-45, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14499/jfps>

KSHETRIMAYUM, R., SHUKLA, R.N., MISHRA, A. Study on drying and quality characteristics of tray and microwave dried guava slices. **International Journal of Science, Engineering and Technology**, v.3, p. 2395-4752, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2348/ijset07150965>

KUMAR, P.; MISHRA, S.; MALIK, A.; SATYA, S. **Insecticidal properties of *Mentha* species**: A review. *Industrial Crops and Products*, v. 34, p. 802-817, 2011.

LAHNINE, L.; IDLIMAM, A.; MAHROUZ, M.; MGHAZLI, S.; HIDAR, N.; HANINE, H.; KOUTIT, A. Thermophysical characterization by solar convective drying of thyme conserved by an innovative thermal-biochemical process. **Renewable Energy**, v. 94, p. 72-80, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.014>

LEBERT, A.; THARRAULT, P.; ROCHA, T.; MARTY-AUDOUIN, C. The Drying kinetics of Mint (*Mentha spicata* Huds.). **Journal of Food Engineering**, v. 17, p.15-28, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(92\)90062-B](https://doi.org/10.1016/0260-8774(92)90062-B)

LEWIS, W. K. **The rate of drying of solid materials**. *Indian Chemical Engineer*, v.13, p.427, 1921.

LIN, Y. M., ANDERSON, H., FLAVIN, M. T., PAI, Y. H. S. In vitro anti-HIV activity of biflavonoids from *Rhus succedanea*. **Journal of Natural Products**, v. 60, p. 884-888, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1021/np9700275>

MAGOON, R.E. **Method and apparatus for drying fruit pulp and the like**. US Patent: v. 4, p. 631,837, 1986.

MAHBOUBI, M. *Mentha spicata* L. essential oil, phytochemistry and its effectiveness in flatulence. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 8, p. 341-436, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.08.011>

MANZOOR, M. S.; AHMAD, N.; AHMED, Z. Novel extraction techniques and pharmaceutical activities of luteolin and its derivatives. **Journal of Food Biochemistry**, v.43, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.12974>

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 220p.

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. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p570-576>

MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. **Food process design**. Marcel Dekker, New York, p. 243, 2003.

MAZZA, G. Dehydration of carrots: Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. **Journal of Food Technology**, v. 18, p. 113-123, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb00249.x>

MÉNDEZ-LAGUNAS, L.; RODRÍGUES-RAMÍREZ, J.; CRUZ-GRACIDA, M.; SANDOVAL-TORRES, S.; BARRIADA-BERNAL, G. Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. **Food Chemistry**, v. 230, n. 1, p. 174-181, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.010>

MIDILLI, A., KUCUK, H., YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying technology**, v.20, n.7, p.1503-1513, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>

MOLLER, J.; KISGECI, J.; CROPS, V. Development of a greenhouse-type solar dryer for medicinal plants and herbs. **Solar & Wind Technology**, v. 6, n. 5, p. 523-530, 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0741-983X\(89\)90086-6](https://doi.org/10.1016/0741-983X(89)90086-6)

MOURE, A.; CRUZ, J.; FRANCO, D.; DOMÍNGUEZ, J.; SINEIRO, J.; DOMÍNGUES, H.; NÚÑEZ, M.; PARAJÓ, J. Natural antioxidants from residual sources. **Food Chemistry**, v. 72, p. 145-171, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00223-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00223-5)

- MOSES, J. A.; NORTON, T.; ALAGUSUNDARAM, K.; TIWARI, B. K. Novel Drying Techniques for the Food Industry. **Food Engineering Reviews**, v. 6, p. 43-55, 2014.
- MORDOR INTELLIGENCE. **Mints market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021 - 2026)**, 2020. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/mints-market>. Acesso em: 05. mar. 2021.
- MOREIRA, M. F. P. **Secagem de gel Agar**, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos-SP, 104 p., 2000.
- MUJAFFAR, S.; JOHN, S. Thin-layer drying behavior of West Indian lemongrass (*Cymbopogon citratus*) leaves. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.642>
- MUJUMDAR, A. S. Principles, Classification and Selection of Dryers. Em: MUJUMDAR, A. S., **Handbook of Industrial Drying**, 3 th ed, CRC Press - Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA, 2007.
- NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v. 1054, p. 95-111, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>
- NINDO, C.I.; SUN, T.; WANG, S. W.; TANG, J.; POWERS, J. R. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 5, p. 507–516, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)
- NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; BOLLAND, K. Energy consumption during Refractance Window® evaporation of selected berry juices. **International Journal of Energy Research**, v. 28, p. 1089-1100, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/er.1017>
- NINDO, C. I., & TANG, J. Cast-tape drying Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, v.25, p. 37-48, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>
- OBOH, G. Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. **LWT - Food Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 513-517, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.007>
- OLIVEIRA, E. G.; ROSA, G. S.; MORAES, M. A.; PINTO, L. A. A. Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. **Journal of Food Process Engineering**, v. 31, p. 34-50, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00143.x>
- ORTIZ-JEREZ, M. J.; GULATI, T.; DATTA, A. K.; OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. Quantitative understanding of Refractance Window™ drying. **Food and Bioprocess Processing**, v. 95, p. 237-253, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.05.010>

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layer**. Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 1949.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, p. 75-81, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.024>

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. **Estudo de secagem de pêra bartlett (pyrusp.) em fatias**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.3, 2001.

PARRY, J. L. Mathematical modeling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: A Review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 32, n.1, p. 1-29, 1985. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90116-7](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90116-7)

PATHARE, P. B.; UMEZURUIKE, L.; OPARA, L. U.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. **Food Bioprocess Technology**, v.6, p. 36-60, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>

PEÇANHA, R. P. **Sistemas particulados – operações unitárias envolvendo partículas e fluidos**. Elsevier, 2014.

PELEG, H.; BODINE, K. K.; NOBLE, A. C. The influence of acid on adstringency of alum and phenolic compounds. **Chemical Senses**, v. 23, p. 371-378, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1093/chemse/23.3.371>

PIETTA, P.G. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, n. 7, p. 1035-1042, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1021/np9904509>

PUENTE, L.; VEGA-GÁLVEZ, A.; AH-HEN, K. S.; CRODRÍGUEZ, A.;BPASTEN, A.; BPOBLETE, J.; BPARDO-ORELLANA, C.; BMUÑOZ, M. Refractance Window drying of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pulp: A comparison of quality characteristics with respect to other drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v.131, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109772>

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S. do.; MOSSI, A. J.; MELO, E. de C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na agricultura**, v.19, n.1, p.19–27, 2011. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i1.147>

RAGHAVI, L. M.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Cast-tape drying drying of foods: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 222, p. 267-275, 2018.

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. CRC Press, 1995.

- RAHMAN, M. S.; PERERA C.O. Drying and food preservation. In: RAHMAN, M. S., editor. **Handbook of Food Preservation**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. cap. 18, p. 403-432.
- RITA, I.; PEREIRA, C.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I.C. *Mentha spicata* L. infusions as sources of antioxidant phenolic compounds: emerging reserve lots with special harvest requirements. **Food & Function**, v.10, p. 4188-4192, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1039/c6fo00841k>
- RODRIGUEZ-HERNÁNDEZ, G.R.; GONZÁLEZ-GARCÍA, R.; ABUD-ARCHILA, M.A.; GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M.A. Spray drying of cactus pear juice: Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology**, v. 23, p. 955-973, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/DRT-200054251>
- ROSS, C.W. **Plant Physiology Laboratory Manual**. Belmont, CA, USA: Wadsworth Publishing Company, 1974.
- RUBERTO, G.; BARATTA, T. M. Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. **Food Chemistry**, v. 69, p.167-174, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00247-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00247-2)
- RUBINSKIENĖ, M.; VIŠKELIS, P.; DAMBRAUSKIENĖ, E.; VIŠKELIS, J.; KARKLELIENĖ, R. Effect of drying methods on the chemical composition and colour of peppermint (*Mentha × piperita* L.) leaves. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 102, n. 2, p.223-228, 2015. DOI: [10.13080/z-a.2015.102.029](https://doi.org/10.13080/z-a.2015.102.029)
- SABAREZ, H.T.; CHESSARI, C. High quality fruit and vegetable ingredients for functional foods: modeling and optimisation of refractance window drying technology. Unpublished Report Prepared by CSIRO for Nutradry Pty Ltd, Brisbane, Australia, 2006.
- SABLANI, S. S.; RAHMAN, M. S. Fundamentals of Food Dehydration. Em: HUI, Y. H.; CLARY, C.; FARID, M. M.; FASINA, O. O.; NOOMHORM, A.; WELTI-CHANES, J. **Food Drying Science and Technology**, Cap. 1, p. 1-42, DEStech Publication, Inc, Lancaster-EUA, 2008.
- SANTOCONO, M.; ZURRIA, M.; BERRETTINI, M.; FEDELI, D.; FALCIONI, G. Lutein, zeaxanthin and astaxanthin protect against DNA damage in SK-N-SH human neuroblastoma cells induced by reactive nitrogen species. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 88, n.1, p. 1-10, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2007.04.007>
- SCHERER, R.; LEMOS, M.; LEMOS, M.; MARTINELLI, G.; MARTINS, J.; SILVA, A. Antioxidant and antibacterial activities and composition of Brazilian spearmint (*Mentha spicata* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 408-413, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.007>
- SEVERINI, C; BAIANO, A; PILLI, T. D.; CARBONE, B. F.; DEROSI, A. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. **Journal of Food**

Engineering, v. 68, p. 289-296, 2005. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.045>

SHAFIQL ISLAM, A. K. M.; ISMAIL, Z.; SAAD, B.; OTHMAN, A. R.; AHMAD, M. N.; SHAKAFF, A. Y. Md. Correlation studies between electronic nose response and headspace volatiles of *Eurycoma longifolia* extracts. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 120, n. 1, p. 245–251, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.02.020>

SILVA, A. S, ALMEIDA, F. de A. C., LIMA, E. E., SILVA, F. L. H, GOMES, J. P. Drying kinetics of coriander (*coriandrum sativum*) leaf and stem cinéticas de secado de hoja y tallo de cilantro (*Coriandrum sativum*). **Ciencia y Tecnologia Alimentaria**, v. 6, n. 1, p.13-19, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/11358120809487622>

SILVA, J. P. S. **Utilização de Energia Solar para Secagem de Microalgas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, 95 p., 2017.

SILVA, N. C. **Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando a preservação de compostos bioativos**. 2019. 209F. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, 2019.

SMITH, P.G. **Introduction to Food Process Engineering**. 2 ed., New York: Editorial Springer-Verlag, 2011.

SOUZA, T.P., MARTINEZ-PACHECO, R., GOMEZ-AMOZA, J.L., PETROVICK, P.R. Eudragit E as excipient for production of granules and tablets from *Phyllanthus niruri* L. spray dried extract. **AAPS PharmSciTech** 8, E1–E7, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1208/pt0802034>

SOYSAL, Y. Mathematical modeling and evaluation of microwave drying kinetics of mint (*Mentha spicata* L.). **Journal of Applied Sciences**, v. 5, p. 1266-1274, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3923/jas.2005.1266.1274>

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Ambigaipalan. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820-897, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications. **Lancaster**: Technomic. 1995.

SHETE, Y. V.; MORE, M. M; DESHMUKH, S. S.; KARNE, S.C. Effects of pre-treatments and drying temperatures on the quality of dried green peas. **International Journal of Agricultural Engineering**, v. 8, p. 220-226, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15740/HAS/IJAE/8.2/220-226>

SOUZA, Paula Gimenez de. **Produção e caracterização de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) desidratado em pó por *cast-tape drying***. 2015. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2015.

STRAUMITE, E.; KRUMA, Z.; GALO BURDA, R. Pigments in mint leaves and stems. **Agronomy Research**, v. 13, n. 14, p. 1104-1111, 2015.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; FILHO, P. A. P. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**; 1ª Edição; Volume 2; Rio de Janeiro; Editora LTC, 2016.

TAPIERO, H.; TEW, K. D.; NGUYEN BA, G.; MATHÉ G. Polyphenols: do they play a role in the prevention of human pathologies? **Biomedicine & Pharmacotherapy**. v. 56, p. 200-2007, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00178-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00178-6)

TLILI, N; ELFALLEH, W.; HANNACHI, H.; YAHIA, Y.; KHALDI, A.; FERCHICHI, A.; NASRI, N. Screening of natural antioxidants from selected medicinal plants. **International Journal of Food Properties**, v. 16, p. 1117–1126, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.576360>

TELIS, V.; MAURO, M. Desidratação. In: TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; FILHO, P. A. P. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. cap.16, p. 77 – 147.

TENG, S. S.; CHEN, B. H. Formation of pyrochlorophylls and their derivatives in spinach leaves during heating. **Food Chemistry**, v. 65, n. 3, p. 367-373, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00237-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00237-4)

THEOHRIDES, T. C.; ALEXANDRAKIS, M.; KEMPURAJ, D.; LY TINAS, M. Antiinflammatory actions of flavonoids and structural requirements for new design. **International Journal of Pharmacology**. v. 14, n.3, p. 119-127, 2001.

THERDTHAI, N., ZHOU, W. (2009-04). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 482-489, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.031>

TONON, R. V.; BARONIB, A. F.; BRABET, C.; GIBERTC, O.; PALLECTC, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice. **Journal of Food Engenharia**, v. 94, p. 215-221, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.009>

TONTUL, I.; ERGIN, F.; EROGLU, E. KUÇUKÇETIN, K.; TOPUZ, A. Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. **International Dairy Journal**, v. 85, p. 169-176, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002>

URIBE, E.; MARÍN, D.; VEGA-GÁLVEZ, A.; QUISPE-FUENTES, I.; RODRÍGUES, A. Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita* L.) as a source

of natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 190, p. 559-565, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.108>

VACCAREZZA, L.; CHIRIFE, J. On the mechanism of moisture transport during air-drying of sugar beetroot. **Journal of Food Science**, v. 40, n.6, p. 1286-1289, 1974. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb01074.x>

VASCO, C. **Phenolic compounds in Ecuadorian fruits**. Tese de Doutorado. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, 2009.

VITHU, P.; MOSES, J. A. Machine vision system for food grain quality evaluation: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 13-20, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.011>

VYANKATRAO, N. P. Effect of drying methods on nutritional value of some vegetables. **Proceeding of the national conference on conservation of natural resources & biodiversity for sustainable development**, p. 72-79, 2014.

WACHTEL-GALOR, S.; WONG, K.W.; BENZIE, I.F.F. The effect of cooking on Brassica vegetables. **Food Chemistry**, v. 110, p. 706-710, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.056>

XIAO, H. W.; PAN, Z.; DENG, L. Z; EL- MASHAD, H. M.; YANG, X. H; MUJUMDAR, A. S; GAO, Z. J.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching - A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**. v. 4, p. 101-127, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>

YAGCIOGLU, A.; DEGIRMENCIOGLU, A.; CAGATAY, F. **Drying characteristics of laurel leaves under different conditions**. In: BAS CETINCELIK A, (ed.) Proceedings of the seventh international congress on agricultural mechanization and energy, 26-27 May, Adana, Turkey. Faculty of Agriculture, Cukurova University; 1999. p. 565-569.

ZAREIN, M., SAMADI, S. H.; GHOBADIAN, B. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. **Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences**. v. 14, p. 41-47, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>

ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A.S; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, v.17, p.524-534, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.011>

ZHANG, J.; WIDER, B.; SHANG, H.; LI, X.; ERNST, E. Quality of herbal medicines: Challenges and solutions. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 20, n. 1-2, p. 100–106, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2011.09.004>

ZHAO, D. et al. Variation of essential oil of *Mentha haplocalyx* Briq. and *Mentha spicata* L. from China. **Industrial Crops and Products**, v. 42, n. 1, p. 251–260, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.010>

ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, v. 69, p. 410–417, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>

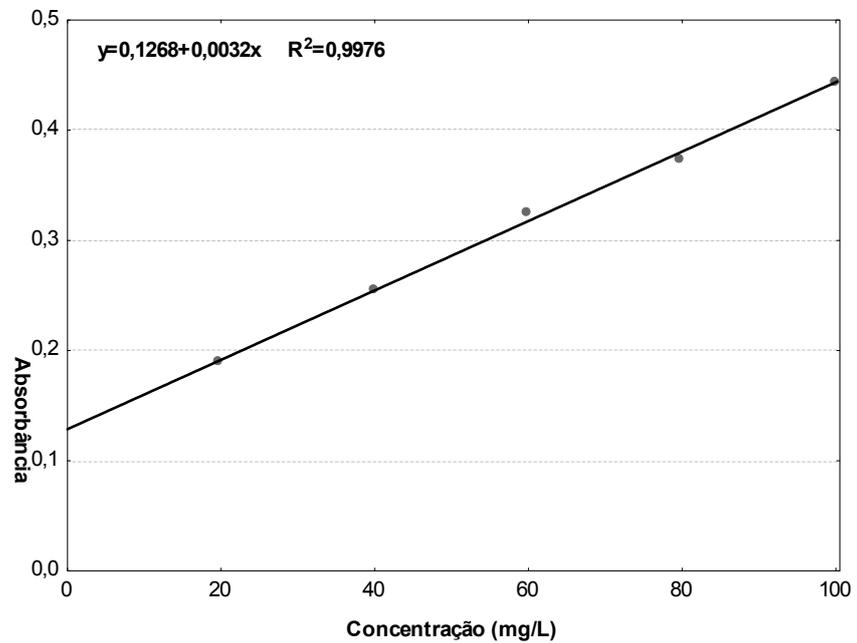
ZOTARELLI, M. F.; SILVA, V. M.; DURIGON, A.; HUBINHRT, M. D.; LAURINDO, J. B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v. 305, p. 447-454, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>

APÊNDICES

APÊNDICE A - Curva padrão de ácido gálico

Nesta seção é apresentada a curva padrão de ácido gálico utilizada para a quantificação dos compostos fenólicos totais, bem como a equação e o coeficiente de correlação.

Figura A.1 - Curva padrão de ácido gálico utilizada para quantificação dos compostos fenólicos totais com reagente Folin-Ciocalteu.



APÊNDICE B - Parâmetros obtidos pelos modelos da literatura

Nesta seção são apresentados os parâmetros para os demais modelos da literatura para as cinéticas de secagem avaliadas. Estão representados também os coeficientes de determinação de cada modelo (R^2) e os valores do teste-quadrado (χ^2). O nível de significância adotado foi de 95 % ($\alpha=0,05$).

Tabela B.1 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Lewis para as amostras de hortelã sem branqueamento (SB) (1921).

Experimento	K	R^2	χ^2
1	0,0503	0,99575	0,000393
2	0,0366	0,99104	0,000176
3	0,0309	0,99566	0,000568
4	0,0776	0,99064	0,000169
5	0,0648	0,99246	0,000072
6	0,0466	0,97527	0,000059
7	0,1113	0,99855	0,000000
8	0,0702	0,99458	0,000000
9	0,0544	0,99565	0,000000
10	0,0505	0,99767	0,000000
11	0,0408	0,99300	0,000000
	R^2 médio	0,9928	

Tabela B.2 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Lewis (1921) para as amostras de hortelã com branqueamento (CB).

Experimento	K	R^2	χ^2
1	0,0475	0,9931	0,000229
2	0,0281	0,9895	0,000077
3	0,0218	0,9896	0,000473
4	0,0724	0,9956	0,000169
5	0,0496	0,9959	0,000072
6	0,0338	0,9943	0,000059
7	0,1211	0,9871	0,000222
8	0,0809	0,9940	0,000111
9	0,0611	0,9933	0,000008
10	0,0440	0,9939	0,000001
11	0,0394	0,9870	0,000000
	R^2 médio	0,9921	

Tabela B.3 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Logarítimo para as amostras de hortelã sem branqueamento (SB)

Experimento	A	K	C	R ²	χ ²
1	1,0185	0,0513	-0,0209	0,9959	0,000323
2	1,0185	0,0513	-0,0209	0,9959	0,000092
3	0,9782	0,0302	-0,0437	0,9960	0,000017
4	0,9506	0,0728	0,0090	0,9919	0,000036
5	0,9466	0,0605	0,0035	0,9940	0,000006
6	0,8968	0,0408	-0,0102	0,9822	0,000108
7	1,0146	0,1129	-0,0052	0,9986	0,000002
8	1,0150	0,0713	-0,0037	0,9947	0,000011
9	0,9983	0,0543	-0,0079	0,9957	0,000014
10	1,0035	0,0507	-0,0147	0,9977	0,000019
11	1,0324	0,0421	-0,0225	0,9936	0,000072
R² médio				0,9942	

Tabela B.4 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Logarítimo para as amostras de hortelã com branqueamento (CB).

Experimento	A	K	C	R ²	χ ²
1	1,0429	0,0447	-0,0299	0,9948	0,000118
2	1,0810	0,0228	-0,0913	0,9937	0,000004
3	1,1763	0,0158	-0,1767	0,9972	0,000135
4	1,0439	0,0727	-0,0120	0,9966	0,000116
5	1,0475	0,0478	-0,0243	0,9974	0,000041
6	1,0384	0,0293	-0,0532	0,9966	0,000011
7	0,9588	0,1371	0,0466	0,9979	0,000002
8	0,9709	0,0877	0,0298	0,9972	0,000004
9	0,9647	0,0591	0,0018	0,9939	0,000004
10	1,0186	0,0413	-0,0230	0,9947	0,000077
11	1,0803	0,0363	-0,0479	0,9907	0,000148
R² médio				0,9955	

Tabela B.5 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Brooker et al. (1974) para as amostras de hortelã sem branqueamento (SB).

Experimento	A	K	R ²	χ ²
1	1,0185	0,0513	0,9959	0,000430
2	0,9879	0,0361	0,9911	0,000186
3	0,9782	0,0302	0,9960	0,000053
4	0,9506	0,0728	0,9919	0,000152
5	0,9466	0,0605	0,9940	0,000080
6	0,8968	0,0408	0,9822	0,000064
7	1,0146	0,1129	0,9986	0,000000
8	1,0150	0,0713	0,9947	0,000006
9	0,9983	0,0543	0,9957	0,000003
10	1,0035	0,0507	0,9977	0,000000
11	1,0324	0,0421	0,9936	0,000057
		R² médio	0,9942	

Tabela B.6 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Brooker et al. (1974) para as amostras de hortelã com branqueamento (CB).

Experimento	A	K	R ²	χ ²
1	1,0217	0,0485	0,9934	0,000189
2	1,0117	0,0284	0,9896	0,000069
3	1,0303	0,0225	0,9903	0,000452
4	1,0347	0,0750	0,9962	0,000152
5	1,0306	0,0511	0,9964	0,000080
6	1,0008	0,0338	0,9943	0,000064
7	0,9974	0,1208	0,9871	0,000222
8	0,9920	0,0801	0,9941	0,000110
9	0,9658	0,0587	0,9939	0,000006
10	1,0027	0,0441	0,9939	0,000002
11	1,0448	0,0410	0,9881	0,000000
		R² médio	0,9925	

Tabela B.7 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Page para as amostras de hortelã sem branqueamento (SB).

Experimento	K	n	R²	χ²
1	0,0310	1,1531	0,9975	0,0003
2	0,0297	1,0587	0,9914	0,0002
3	0,0320	0,9904	0,9957	0,0000
4	0,1346	0,7984	0,9948	0,0001
5	0,1115	0,8149	0,9965	0,0000
6	0,1116	0,7398	0,9874	0,0004
7	0,0714	1,1965	0,9999	0,0000
8	0,0481	1,1360	0,9957	0,0000
9	0,0457	1,0585	0,9957	0,0000
10	0,0423	1,0557	0,9980	0,0000
11	0,0188	1,2295	0,9965	0,0000
		R² médio	0,9954	

Tabela B.8 – Parâmetros obtidos pelo modelo de Page para as amostras de hortelã com branqueamento (CB).

Experimento	K	n	R²	χ²
1	0,0253	1,1942	0,9958	0,000001
2	0,0155	1,1576	0,9918	0,003221
3	0,0076	1,2650	0,9958	0,011219
4	0,0347	1,2717	0,9993	0,001681
5	0,0269	1,1926	0,9985	0,000001
6	0,0250	1,0835	0,9950	0,002126
7	0,1429	0,9230	0,9873	0,000097
8	0,0909	0,9545	0,9942	0,000071
9	0,0809	0,9064	0,9942	0,000002
10	0,0315	1,1006	0,9948	0,000005
11	0,0113	1,3625	0,9945	0,000001
		R² médio	0,9946	