



PAMELLA PRISCILLA DE OLIVEIRA

**Obtenção e caracterização de hortelã em pó em spray
*dryer***

Patos de Minas - MG

2021

PAMELLA PRISCILLA DE OLIVEIRA

Obtenção e caracterização de hortelã em pó em *spray dryer*

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Marta Fernanda Zotarelli

Coorientador: Prof. Ricardo Corrêa de Santana

Coorientadora: Profa. Vivian Consuelo Reolon Schmidt

Patos de Minas - MG

2021

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

O48	Oliveira, Pamella Priscilla de, 1992-
2021	Obtenção e caracterização de hortelã em pó em spray dryer [recurso eletrônico] / Pamella Priscilla de Oliveira. - 2021.
<p>Orientador: Marta Fernanda Zotarelli. Coorientador: Ricardo Corrêa de Santana. Coorientadora: Vivian Consuelo Reolon Schmidt. 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.2021.337 Inclui bibliografia.</p>	
<p>1. Alimentos - Indústria. I. Zotarelli, Marta Fernanda,1985-, (Orient.). II. Santana, Ricardo Corrêa de,1981-, (Coorient.). III. Schmidt, Vivian Consuelo Reolon,1980-, (Coorient.). IV. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. V. Título.</p>	
CDU: 664	

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o

AACR2: Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos			
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 06/2021 - PPGEA			
Data:	Vinte e dois de julho de dois mil e vinte e um	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:
Matrícula do Discente:	41912EAL010			
Nome do Discente:	Pamella Priscilla de Oliveira			
Título do Trabalho:	Obtenção e caracterização de hortelã em pó em spray dryer			
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: Marta Fernanda Zottarelli (Orientadora - UFU), Beatriz Cristina Silvério (UFTM) e Danylo de Oliveira Silva (UFU).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Marta Fernanda Zottarelli, 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, a senhora 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 **Marta Fernanda Zottarelli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/07/2021, às 15:52, 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 22/07/2021, às 15:52, 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 **Danylo de Oliveira Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/07/2021, às 15:52, 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 **2912276** e o código CRC **23BADE39**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por ter me dado fé e força, e em me guiar para chegar até aqui, foram dias de muita luta, e graças a Ele consegui vencer mais essa etapa. À minha mãe Cleusa que sempre me apoiou nas minhas escolhas e nunca mediu esforços para me ajudar, agradeço pelo amor incondicional, carinho e incentivo a toda minha família por estarem ao meu lado, até mesmo quando distantes. Em especial agradeço à minha avó Terezinha por ser meu grande exemplo, pelas lições e ensinamentos de sempre e por todas suas orações.

À Universidade Federal de Uberlândia e a todos do programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. À CAPES pelo apoio financeiro.

À minha orientadora Dra. Marta Fernanda Zotarelli e aos meus coorientadores Dr. Ricardo Corrêa de Santana e Dra. Vivian Consuelo Reolon Schmidt por seus ensinamentos, paciência, pelo carinho, apoio, atenção e disponibilidade em todas as etapas desse trabalho, tenho um carinho e admiração por todos vocês, gratidão imensa!

Aos membros da banca, por aceitarem avaliar este trabalho e por suas sugestões.

Aos demais professores que ajudaram direta ou indiretamente com seus ensinamentos concedidos para realização desse trabalho, em especial à professora Letícia Rocha Guidi pelo auxílio na realização de análises e sugestões para melhoria.

Aos técnicos do laboratório, em especial Betânia e Leandro, obrigada pelos ensinamentos, pela paciência e auxílio na realização dos experimentos. Agradeço aos técnicos da Faculdade de Engenharia Química - UFU pelas contribuições experimentais.

A todos meus colegas pelas contribuições e amizade, em especial à minha colega Jaqueline pela amizade que foi construída que vou levar para vida, pelo auxílio e pelos bons momentos de todos esses anos.

Aos meus amigos que me incentivaram e ajudaram com palavras motivadoras, contribuindo para concluir e vencer os desafios.

São várias as pessoas que fizeram parte dessa minha caminhada e que colaboraram, apesar de que não consiga citar o nome de todas essas pessoas, gostaria de agradecer a contribuição de cada um.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1	4
 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
 1.1.1 Hortelã	4
 1.1.2 Composição química.....	5
 1.1.3 Atividade antioxidante.....	7
 1.1.4 Compostos Fenólicos	7
 1.1.5 Clorofila	8
 1.1.6 Carotenoides	9
 1.1.7 Branqueamento	10
 1.1.8 Secagem.....	11
 1.1.8.1 Secagem em <i>spray dryer</i>	12
 1.1.8.2 Secagem de hortelã.....	14
 1.1.9 Produtos em pó	15
 1.1.9.1 Higroscopicidade	16
 1.1.9.2 Cor.....	16
REFERÊNCIAS.....	18
2 CAPÍTULO 2.....	24
CARACTERIZAÇÃO DA HORTELÃ FRESCA E EM PÓ OBTIDA POR SPRAY DRYING	24
 2.1 INTRODUÇÃO.....	24
 2.2 MATERIAL E MÉTODOS	25

2.2.1 Obtenção da matéria-prima	25
2.2.2 Preparo das amostras	25
2.2.3 Branqueamento	27
2.2.4 Secagem	27
2.2.5 Planejamento experimental	28
2.2.6 Caracterização físico-química das folhas frescas e do produto em pó	28
2.2.6.1 Determinação da umidade	28
2.2.6.2 Determinação da cor	29
2.2.6.3 Determinação da concentração de clorofila total e carotenoides	29
2.2.6.4 Determinação do teor de compostos fenólicos totais	30
2.2.6.4.1 Extração dos fenólicos totais	30
2.2.6.4.2 Quantificação dos fenólicos totais	30
2.2.6.5 Determinação da higroscopicidade	31
2.2.6.6 Determinação da densidade <i>bulk</i>.....	31
2.2.6.7 Rendimento.....	32
2.2.6.8 Determinação da distribuição de tamanho das partículas	32
2.2.6.9 Determinação da microscopia eletrônica de varredura	32
2.2.6.10 Determinação do tempo de molhamento	33
2.2.7 Análise estatística.....	33
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
2.3.1.1 Umidade.....	35
2.3.1.2 Cor.....	38
2.3.1.3 Determinação da concentração de clorofila total	42
2.3.1.4 Determinação da concentração de carotenoides	46
2.3.1.5 Determinação da concentração de fenólicos totais	49
2.3.1.6 Higroscopicidade	53
2.3.1.7 Densidade <i>bulk</i>	55

2.3.1.8 Rendimento.....	58
2.3.1.9 Determinação da distribuição do tamanho de partículas	60
2.3.1.10 Microscopia eletrônica de varredura	63
2.3.1.11 Determinação do tempo de molhamento	67
2.4 CONCLUSÃO	70
2.5 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
REFERÊNCIAS.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química da hortelã verde (<i>Mentha spicata</i>).....	6
Tabela 2 – Planejamento fatorial a dois níveis completo com 4 variáveis (2^4).	28
Tabela 3- Resultados da caracterização de umidade das folhas frescas e dos pós de hortelã com e sem o branqueamento.....	35
Tabela 4- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para umidade....	37
Tabela 5- Resultados da caracterização da cor dos pós das folhas de hortelã frescas com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.....	39
Tabela 6- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para parâmetro a*. ..	42
Tabela 7- Resultados da concentração de clorofila total dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.....	43
Tabela 8- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para concentração de clorofila total.	45
Tabela 9- Resultados da concentração de carotenoides dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.....	47
Tabela 10- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para concentração de carotenoides.	49
Tabela 11- Resultados da concentração de fenólicos totais dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.....	50
Tabela 12- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para concentração de fenólicos totais.....	52
Tabela 13- Resultados da caracterização da higroscopidade dos pós de hortelã obtidos por <i>spray drying</i> com e sem o processo de branqueamento.	53
Tabela 14- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para higroscopidade.	54

Tabela 15- Resultados da caracterização de densidade <i>bulk</i> dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.....	56
Tabela 16- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para densidade <i>bulk</i>	57
Tabela 17- Resultados do rendimento dos pós das folhas de hortelã, com e sem o processo de branqueamento, obtidos pelo processo de <i>spray drying</i>	58
Tabela 18- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para rendimento.	59
Tabela 19- Valores do diâmetro médio dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.....	62
Tabela 20- Resultados do tempo de molhamento dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental. ..	67
Tabela 21- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para o tempo de molhamento.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hortelã <i>Mentha spicata</i>	4
Figura 2 – Esquema de um <i>spray-dryer</i>	13
Figura 3 – Fluxograma do preparo das amostras.....	26
Figura 4 – Suco de hortelã preparado a) sem branqueamento e b) com branqueamento.	26
Figura 5 – <i>Spray dryer</i> utilizado para a secagem de suco de hortelã, em que: (1 e 2) representam a localização do bico atomizador e a entrada de ar e solução; (3) o ciclone, (4) representa a localização da câmara de secagem e (5) a exaustão de ar e partículas mais finas (não coletadas).	27
Figura 6 – Esquema do dispositivo usado para determinar o tempo de molhamento.	33
Figura 7 – a) Folhas de hortelã frescas antes do processo de branqueamento e b) pós obtidos, após processo de secagem por <i>spray drying</i> , sem branqueamento (experimento 8) e c) pós obtidos após processo de secagem por <i>spray drying</i> , com branqueamento, (experimento 16).	41
Figura 8- Distribuição do tamanho de partícula dos pós de hortelã sem e com branqueamento, obtido pelo processo de <i>spray drying</i> nos Experimentos 3, 6, 11 e 15.	61
Figura 9- Resultados da microscopia eletrônica de varredura dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos (a) 3, (b) 6, (c) 11 e (d) 15 do planejamento experimental, com ampliação de 5000x respectivamente. ..	63
Figura 10 – Microscopia do óleo essencial de tomilho seco por <i>spray drying</i> , com ampliação de 1000x.	66

RESUMO

A hortelã (*Mentha spicata L.*) é uma planta típica herbácea que pertence à família *Lamiaceae*, possuindo inúmeras variedades. Suas folhas podem ser empregadas frescas para a produção de chás, na culinária para o preparo de molhos, na produção de balas e bebidas, na indústria do tabaco para a aromatização de cigarros e usadas como matéria-prima para a obtenção do mentol para uso farmacêutico. As folhas frescas possuem elevada umidade em sua composição química, possibilitando o crescimento microbiano e tornando-a perecível. Desse modo, a secagem de plantas aromáticas, como a hortelã, é uma alternativa para aumentar a sua vida útil. Essa operação tem por objetivo retirar um percentual elevado de água livre, evitando os processos de degradação enzimática e microbiológica, proporcionando a sua conservação e prolongando sua durabilidade. Portanto, esse trabalho tem como objetivo a obtenção da hortelã em pó, com e sem pré-tratamento térmico, em *spray dryer* e avaliar as características físico-químicas do pó obtido. O pré-tratamento utilizado foi o branqueamento. Assim, além do efeito do uso ou não do branqueamento, investigou-se a influência da temperatura, da vazão do ar de secagem e da vazão de alimentação da solução. Os resultados demonstraram que o material particulado obtido com branqueamento apresentou, em geral, menor valor de umidade quando comparado com o material particulado obtido sem passar pelo processo de branqueamento. Além disso, as amostras submetidas ao branqueamento nos experimentos com a temperatura menor associada com vazão de alimentação e vazão do ar de secagem também menores resultaram num material particulado menos higroscópico. Quanto à cor, as amostras submetidas ao pré-tratamento (branqueamento) apresentaram menor perda da coloração, resultando em partículas mais verdes e com maior luminosidade. Os menores resultados de densidade *bulk* do pó obtido com e sem branqueamento foram em condições de temperaturas de entrada de secagem mais elevadas. O branqueamento contribuiu para maior retenção de pigmentos de carotenoides e altos teores de clorofila e fenólicos totais. O maior valor de rendimento observado foi de 50,24%, para o pó obtido com branqueamento produzido com menores temperaturas associadas à elevada vazão de alimentação da solução. Em relação ao diâmetro médio, o maior valor mencionado dos pós com e sem branqueamento foi de 3,018 µm. É evidenciado que os pós com branqueamento apresentaram estruturas esféricas e lisas, e com menores tempo de molhamento.

Palavras-Chave: Plantas aromáticas. Secagem. Tratamento térmico.

ABSTRACT

The spearmint (*Mentha Spicata L.*) is a typical herbaceous plant that belongs to Lamiaceae Family, possessing numerous varieties. Their leaves can be used fresh to produce tea, in cooking for preparation of sauces, in the production of candies and beverages, in the tobacco industry to aromatization of cigarettes and can be used as raw material to obtain menthol for pharmaceutical purposes. The dried leaves possess a high humidity chemical moisture composition, enabling microbial growth and making it perishable. Therefore, the drying of aromatic plants, such as spearmint, is an alternative to increase their shelf life. This procedure aims to remove a certain percentual of free water, avoiding the enzymatic and microbiological degradation processes, providing the conservation and extending their durability. Therefore, this work aims to obtain powder spearmint, with or without thermal pre-treatment, using spray dryer and to evaluate the physicochemical characteristics of the powder obtained. The pre-treatment used was the blanching process. Thereby, in addition to the effect of using or not the blanching process, the influence of temperature, drying air flow rate, and solution feed flow were also investigated. The results showed that the particulate material obtained with the blanching process presented, in general, a lower moisture value when compared to the particulate material obtained without going through the blanching process. Besides, the samples submitted to blanching process in the experiments with the lower temperature associated with lower feed flow and drying air flow also resulted in a less hygroscopic particulate material. As for color, the samples submitted to pre-treatment (blanching process) showed minor loss of color, resulting in greener particles with greater luminosity. The lowest *bulk* density results of the powder obtained with and without blanching were in conditions of higher entry drying temperatures. Blanching contributed to greater retention of carotenoid pigments and high levels of chlorophyll and total phenolics. The highest yield value observed was 50.24%, for the powder obtained with blanching produced at lower temperatures associated with high solution feed flow. Regarding the average diameter, the highest value mentioned for the powders with and without blanching was 3.018 μm . It is evident that the blanching powders presented spherical and smooth structures, with shorter wetting times.

Key words: Aromatic plants. Drying. Thermal treatment.

INTRODUÇÃO

A hortelã (*Mentha spicata* L.), é uma planta pertencente à família das *Lamiaceae*, espécie de erva aromática (SCHERER et al., 2013), nativa da África, Ásia temperada e Europa. É uma planta herbácea, rizomatosa, perene, com crescimento de 40 a 130 cm de altura (KEDIA et al., 2014).

As folhas de hortelã podem ser empregadas frescas para a produção de chás, como agente de sabor e aroma na culinária para o preparo de molhos, balas, bebidas, e na indústria do tabaco para a aromatização de cigarros, e para a extração da essência de menta, usada como matéria-prima para a obtenção do mentol para uso farmacêutico (remédios e em artigos de higiene pessoal) e como compostos para uso de bioinseticidas (KUMAR et al., 2011; COSTA et al., 2012). Segundo Nazem et al. (2019), as espécies pertencentes ao gênero *Mentha* possuem muitas propriedades farmacológicas e alimentares.

O mercado global de produtos medicinais e aromáticos aumentou consideravelmente de 5 a 15% anual de 2017 a 2018, sobretudo devido às propriedades desses produtos benéficas à saúde (KIANI; MINAEI; GHASEMI-VARNAMKHASTI, 2018). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção mundial de hortelã referente ao ano de 2019, foi de 74.232 toneladas, sendo a África o maior produtor com 70.599,73 toneladas (FAO, 2019). Do mesmo modo, o consumo de plantas medicinais pela população tem sido significativo nos últimos tempos. É uma prática tradicional existente entre os povos de todo o mundo, que tem inclusive incentivos da Organização Mundial de Saúde (OMS) (FERNANDES et al., 2013).

A busca da população pelas plantas incentivou os pesquisadores e a indústria farmacêutica a investirem mais nas pesquisas de novos fármacos. Com o objetivo de minimizar a carência de informações sobre as plantas medicinais, campos de conhecimento formando equipes multidisciplinares de pesquisadores e, com o apoio da OMS têm investigado melhores condições para manter a qualidade, a eficácia e a segurança desses medicamentos (CUNHA; DA SILVA; ROQUE, 2003; SOARES et al., 2006).

As indústrias, principalmente as farmacêuticas, têm um interesse pelos extratos secos, já que as formas farmacêuticas sólidas apresentam precisão de dosagem e facilidade de manuseio, transporte e armazenagem, bem como permitem uma melhor

conservação, além destas apresentarem maior estabilidade química, física, microbiológica e farmacológica (PACHÚ, 2007).

Segundo Hertwig (1986), a secagem de plantas medicinais e aromáticas possui objetivo de diminuir um percentual elevado de água das células e dos tecidos, evitando os processos de degradação enzimática e microbiológica, e proporcionando a sua conservação, com manutenção da qualidade em composição química. Ainda de acordo com o autor, a alta sensibilidade do princípio biologicamente ativo e sua preservação no produto final é o maior desafio na secagem e no armazenamento de plantas medicinais e aromáticas desidratadas.

São vários os métodos de secagem que podem ser utilizados para secar extratos e ervas medicinais, como liofilização, secagem em estufa e *spray drying* (ou atomização), sendo este último um dos mais escolhidos devido a sua capacidade de, a partir de uma solução aquosa, emulsão, dispersão ou suspensão, obter um pó com especificações de: umidade, tamanho de partículas, morfologia, densidade e estabilidade físico-química, em uma operação contínua e relativamente econômica (CORTÉS-ROJAS; OLIVEIRA, 2012; GALLO et al., 2015).

No processo de secagem por *spray drying*, o líquido a ser transformado em pó é bombeado até um bico atomizador, formando uma nuvem de pequenas gotículas da solução (*spray*). Essas gotas entram em contato com uma corrente de ar aquecido e secam quase instantaneamente. Posteriormente à atomização, a corrente de ar carreia o pó para um ciclone, de maneira que o produto em pó seja separado de partículas muito pequenas (GAVA; SILVA; FRIAS, 2008).

A secagem em *spray dryers* é uma operação bastante empregada nas indústrias de alimentos para o processamento de leite, sucos, café dentre outros produtos. Segundo Fellows (2006), as principais vantagens desse método são a possibilidade de produção contínua, o baixo custo de mão de obra e a manutenção simples.

Os alimentos desidratados em pó têm se destacado nas indústrias, podendo ressaltar a estendida vida útil, o baixo custo de armazenamento e facilidade no transporte. Atualmente tem-se disponível no mercado ampla variedade de produtos desidratados na forma de pó, como leite, café solúvel, sucos, bolos, frutas, ovo, entre outros. Trata-se de ingredientes convenientes e seguros na formulação de diversos outros produtos, por exemplo, sopas, sorvetes, sucos, maioneses e alimentos infantis.

Tendo em vista todas essas vantagens, é de suma importância o estudo de secagem em alimentos (FELLOWS, 2006).

Nesse contexto, percebe-se a relevância do estudo da secagem de hortelã por *spray drying*, assim como a avaliação das características físico-químicas do pó obtido de acordo com as condições das variáveis de processo, buscando um melhor aproveitamento da planta. O presente trabalho tem como objetivo investigar as condições de secagem por *spray drying* da hortelã com e sem branqueamento e avaliar as características físico-químicas dos pós obtidos no processo.

Os objetivos específicos são:

- estudar as propriedades bioativas (concentração de ácido ascórbico, compostos fenólicos e concentração de clorofila) da hortelã fresca;
- investigar o efeito do branqueamento como pré-tratamento na secagem por *spray drying*;
- investigar a influência das condições operacionais (temperatura do ar, vazão de entrada, vazão de alimentação etc.) na secagem da hortelã por *spray drying* e nas características do produto seco;
- caracterizar o pó de hortelã obtido pelo processo de secagem em *spray dryer*.

O trabalho foi estruturado e dividido em capítulos da seguinte forma:

Capítulo 1 – Revisão Bibliográfica.

Capítulo 2 – Caracterização da hortelã fresca e em pó obtida por *spray drying*.

CAPÍTULO 1

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1.1 Hortelã

A hortelã ou menta é uma típica planta herbácea que pertence à família *Lamiaceae*, possuindo inúmeras variedades atualmente cultivadas (PRAKASH OM et al., 2016). Segundo Russomano; Kruppa; Figueiredo (2005), as espécies mais comuns no território brasileiro são a *Mentha piperita* L., *Mentha arvensis* e *Mentha spicata*, representada na Figura 1.

Figura 1 – Hortelã *Mentha spicata*.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A hortelã (*Mentha sp.*) é originária da Europa, de onde foi trazida para o Brasil no período de colonização do país. É uma erva aromática, anual ou perene, com 30 cm de altura aproximadamente, semiereta, com galhos de cor verde escura a roxa-purpúrea, folhas denteadas e muito aromáticas, sendo muito cultivada em jardins e quintais. Seu cultivo ocorre por meio de pedaços dos ramos subterrâneos, necessitando ser replantado a cada seis meses para garantir a qualidade apropriada da planta (LORENZI HARRI; F. J. ABREU MATOS, 2008).

A *Mentha spicata* L., usualmente chamada de hortelã-verde, gênero *Mentha*, compreende de 25 a 30 espécies, sendo uma das variedades de hortelã mais

cultivadas no Brasil, cuja espécie é bem adaptada ao clima subtropical (SCHERER et al., 2013).

A hortelã-verde é uma planta rica em substâncias essenciais, compostos ativos, caracterizando-a como uma planta aromática e medicinal, com propriedades estimulantes, digestivas e analgésicas (AYADI et al., 2014). A erva como um todo, seus óleos essenciais, ou principais constituintes químicos são utilizados pelo seu sabor em vários tipos de alimentos, confeitoria, conservantes de alimentos e agentes antimicrobianos para controlar os patógenos de origem alimentar, além do uso em cosméticos (PRAKASH, OM et al., 2016).

Desde a antiguidade, a *Mentha spicata* L., devido ao aroma característico, tem sido utilizada em diversos produtos como: aromatizantes, temperos, remédios etc. É também usada para o tratamento de algumas doenças como analgésico estomacal e intestinal e estimulante das funções cardíacas (KIANI; MINAEI; GHASEMI-VARNAMKHASTI, 2018). O principal produto da planta, o óleo essencial, é rica fonte de mentol, o que possibilita sua aplicação na indústria de alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos (GRISI et al., 2006). O interesse pelo cultivo da *Mentha* está relacionado principalmente à importância comercial do seu óleo essencial, que está entre os 10 produtos mais vendidos no mundo (SCHERER et al., 2013).

A hortelã pode ser aproveitada em sua forma fresca, seca, como extrato, bem como óleos essenciais que, é frequentemente utilizada para elaboração de perfumes, temperos e também como agentes flavorizantes em alimentos (DIAS; SOUZA; ALSINA, 2012). Precisamente suas folhas, são de comum uso na culinária em combinação com vários vegetais e pratos como tomate, batata, salada de fruta, salada de vegetais, molhos, sucos dentre outras (CEYLAN; GÜREL, 2016). Portanto, as folhas de hortelã e/ou seus óleos essenciais são utilizados tradicionalmente devido a suas características sensoriais e suas diversas propriedades nutricionais benéficas (URIBE et al., 2016).

1.1.2 Composição química

Dentre os principais componentes das folhas de hortelã estão os ácidos graxos, como o ácido linoleico, linolênico e palmítico (URIBE et al., 2016). As diferentes espécies de *Mentha* apresentam considerável diversidade na composição química do óleo essencial (SCHERER et al., 2013). De acordo com De Sousa Barros et al. (2015),

que analisou a composição química dos óleos essenciais de várias espécies de *Mentha*, foram identificados 10 a 27 compostos nos óleos essenciais de *Mentha spicata*.

No Brasil os principais componentes encontrados no óleo essencial de *M. spicata* foram carvona (0 a 60,07%), pulegona (0 a 53,95%) e 1,8-cineol (2,04 a 28,81%) (MAHBOUBI, 2018). O óleo essencial da *Mentha spicata*, rico em carvona, proporciona boa atividade antimicrobiana (SCHERER et al., 2013). A presença de pulegona na composição do óleo está diretamente relacionada às suas propriedades antifúngicas (DE SOUSA BARROS et al., 2015). O componente 1,8-cineol da *M. spicata*, tem sido bastante investigado quanto à atividade inseticida (KEDIA et al., 2014).

Na Tabela 1 está apresentada a composição química média da hortelã verde (*Mentha spicata*).

Tabela 1 – Composição química da hortelã verde (*Mentha spicata*).

Composição	Valor para 100 g
Água (g)	85,55
Proteínas (g)	3,29
Gorduras totais (g)	0,73
Carboidratos (g)	8,41
Cinzas (g)	2,03
Fibra alimentar (g)	6,8
Cálcio (mg)	199
Ferro (mg)	11,87
Magnésio (mg)	63
Potássio (mg)	458
Vitamina C (mg)	13,3
Valor energético (kcal)	44

Fonte: Tabnut (2019).

1.1.3 Atividade antioxidante

Existe uma demanda na indústria de alimentos por compostos que inibam efetivamente a oxidação lipídica, que é uma das causas de deterioração dos alimentos. Este processo de auto-oxidação pode ser retardado ou inibido por agentes antioxidantes, devido a sua capacidade de eliminação de radicais livres, aumentando assim o prazo de validade dos alimentos durante processamento e armazenamento (KIVILOMPOLO; HYOTYLAINEN, 2007).

A maioria dos estudos relacionados aos compostos antioxidantes da família *Lamiaceae* é direcionada a diterpenos fenólicos, flavonoides e ácidos fenólicos (KIVILOMPOLO; HYOTYLAINEN, 2007). Esta família é rica em fonte de compostos polifenólicos e, por isso, pode possuir propriedades antioxidantes (KANATT; CHANDER; SHARMA, 2007).

As atividades antioxidantes e antimicrobianas de ervas são consideradas pela presença de óleos essenciais, compostos bioativos e compostos fenólicos (MAJHENIČ; ŠKERGET; KNEZ, 2007). As fontes vegetais podem originar novos produtos naturais para a indústria de alimentos com antioxidantes efetivos e mais seguros, fornecendo adequada proteção contra os danos oxidativos, que ocorrem tanto no corpo humano quanto nos alimentos processados (KANATT; CHANDER; SHARMA, 2007).

Os compostos naturais com atividades antioxidantes são intensivamente estudados devido à crescente demanda atual das indústrias farmacêutica e alimentícia, evidenciada em compostos bioativos naturais que possuem benefícios à saúde (KANATT; CHANDER; SHARMA, 2007).

1.1.4 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos são classificados como interruptores de radicais livres, sendo muito eficientes na prevenção da auto-oxidação do tecido humano (SHAHIDI; JANITHA; WANASUNDARA, 1992). Os compostos fenólicos são as principais classes de antioxidantes naturais presentes nas plantas. O consumo de produtos vegetais com alto teor fenólico pode proteger a oxidação do tecido humano, eliminando os radicais livres, assim impedindo problemas causados pelo excesso de consumo de

aditivos sintéticos e melhorando a qualidade nutricional dos alimentos (SCHERER et al., 2013).

O mecanismo de ação dos antioxidantes, presentes em extratos de plantas, tem papel importante na redução da oxidação lipídica em tecidos vegetal e animal, uma vez que associado à alimentação humana não conserva apenas a qualidade do alimento, mas também diminui o risco de desenvolvimento de patologias, como arteriosclerose e câncer (JADHAV et al., 1995; NAMIKI, 1990).

A hortelã (*Mentha spicata* L.) é uma fonte rica em polifenóis e, portanto, possuindo fortes propriedades antioxidantes (Gulluce et al., 2007).

Os principais compostos fenólicos encontrados em extratos *Mentha spicata* L. são eriocitrina, luteolina, ácido rosmariníco e ácido cafeico (SCHERER et al., 2013).

Benabdallah et al. (2016) relataram concentrações de compostos fenólicos totais em diferentes espécies de *Mentha* entre 14,7 e 43,2 mg·g⁻¹ de extrato em equivalente de ácido gálico. Já o valor de compostos fenólicos totais na *Mentha spicata*, de acordo com Scherer et al. (2013), foi de 76,3 mg·100g⁻¹ de ácido gálico.

1.1.5 Clorofila

Os compostos de clorofila estão envolvidos na reação química fotossintética das plantas. Eles são divididos em duas classes principais, clorofilas não polares *a* e *b*, e clorofilas polares C1, C2, C3. As clorofilas *a* e *b* são encontradas nos cloroplastos de folhas de plantas, enquanto as polares são encontradas em fitoplâncton marinho. As clorofilas *a* e *b* são constituídas de um anel do tipo porfirina, composto por quatro anéis pirrol ligados por pontes de metino. No centro do anel de porfirina há um íon de magnésio (Mg²⁺) e são esterificados por um terpeno, chamado cadeia fitol, no carbono 17. Um grupo vinílico está localizado no carbono 3 e um éster metílico no carbono 13. As clorofilas *a* e *b* diferem pela natureza do substituinte no carbono 7, que para a clorofila *a* apresenta um grupo metil e para a clorofila *b*, um grupo aldeído (LEFEBVRE et al., 2020).

Esses pigmentos são responsáveis pela cor verde dos vegetais ou extratos vegetais, que é um atributo de qualidade dos alimentos, e sua degradação pode ser prejudicial à qualidade dos produtos. No entanto, a estrutura química da clorofila pode se alterar durante processos variados como secagem, congelamento, extração etc.,

aplicados às plantas, que produzem compostos de degradação e uma cor indesejada (LEFEBVRE et al., 2020).

Segundo Ferruzzi e Blakeslee (2007), acredita-se que a clorofila e seus vários derivados estejam entre a família de compostos fitoquímicos que são potencialmente responsáveis à prevenção de doenças crônicas como o câncer, incluindo atividade antioxidante e antimutagênica.

O conteúdo de clorofila na folha é um indicador das condições fisiológicas e do estado nutricional de uma planta (MAHAJAN; PAL, 2016). A determinação da concentração de clorofila tem sido usada como uma medida de qualidade em ervas verdes (URIBE et al., 2016).

1.1.6 Carotenoides

Os carotenoides são uma subclasse de metabólitos isoprenóides, que são produzidos em todas as plantas fotossintéticas, algas e cianobactérias. Fornecem as cores outonais de muitas folhas (quando as clorofilas são degradadas) e desempenham um papel como pigmentos, na faixa do amarelo ao vermelho (RODRIGUEZ-CONCEPCION et al., 2018). São pigmentos encontrados em quase todas as frutas coloridas e vegetais de folhas verdes (EGGERSDORFER; WYSS, 2018).

São essenciais para as plantas e importantes produtos naturais para os seres humanos (SUN; LI, 2020). Nutricionalmente, os carotenoides são os precursores da biossíntese da vitamina A (retinol) (HERMANNNS et al., 2020). Desempenham também vários papéis na saúde humana e são promissores bioativos da cadeia alimentar. Como antioxidantes, os carotenoides como o licopeno e β -caroteno podem reduzir o risco de várias doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares e cânceres (EGGERSDORFER; WYSS, 2018).

Devido à importância dos carotenoides para a nutrição e saúde humana, juntamente com uma demanda crescente por alimentos saudáveis, tem havido esforços consideráveis para biofortificar as plantações de alimentos com carotenoides como uma estratégia sustentável para maximizar seus benefícios à saúde (ZHENG; GIULIANO; AL-BABILI, 2020).

Segundo Raju et al. (2007), que estudaram a composição de carotenoides em vegetais, a concentração de carotenoides totais em folhas de *Mentha spicata* foi de

33,21 mg·100 g⁻¹. Já Rodriguez-Amaya et al. (2008), que apresentaram a composição de carotenoides de diversos alimentos, registraram a concentração de carotenoides de 5,3 mg·100 g⁻¹ para a *Mentha piperita*.

1.1.7 Branqueamento

Nos processos de preservação dos alimentos normalmente há uma etapa anterior à secagem, congelamento, fritura e conservas, que é o branqueamento (ARROQUI et al., 2003a; ARROQUI et al., 2003b). O branqueamento é uma técnica de pré-tratamento térmico com objetivo de preservar a qualidade do produto durante o armazenamento a longo prazo, proporcionando a inativação das enzimas responsáveis pelas reações de deterioração, como alterações indesejáveis de cor, sabor ou textura no produto, e destruindo microrganismos que estejam na superfície dos alimentos e que podem contaminar vegetais e frutas cruas durante a produção, colheita e transporte (CRUZ; VIEIRA; SILVA, 2006; MUKHERJEE; CHATTOPADHYAY, 2007).

O branqueamento pode ser realizado de diferentes modos, sendo o mais comum submergir o alimento em água aquecida, em torno de 90 a 100°C, por 5 a 10 min, seguido de um resfriamento rápido. O tempo gasto para branquear o alimento depende do tempo necessário para a inativação das enzimas peroxidase (POD) e polifenol oxidase (PPO), bem como da geometria do produto, seu grau de maturação, do método de branqueamento utilizado etc. (XIAO et al., 2017). Além do uso da água aquecida, pode ser utilizado também o vapor como meio de aquecimento. Tanto o branqueamento com a água quente, quanto com vapor são aplicados em muitos processamentos de alimentos, inclusive domesticamente, apesar de utilizarem muita energia, produzirem águas residuais altamente poluidoras e poderem reduzir o valor nutricional dos alimentos pela lixiviação de compostos solúveis (especialmente no uso da água). Existem outros métodos em relação ao branqueamento térmico, como branqueamento por micro-ondas, ôhmico e infravermelho que por sua vez também apresentam vantagens e desvantagens (XIAO et al., 2017).

A tendência das tecnologias atuais para o branqueamento em alimentos é usar processos com a maior eficiência energética, minimizar perda de nutrientes, impactos ambientais visando a sustentabilidade do processo, e o custo de produção, assim produzindo produtos de melhor qualidade. Devido às mudanças das propriedades dos

alimentos, nenhuma tecnologia de branqueamento único pode ser efetivamente aplicada a todos os produtos. Para eleger um método de branqueamento adequado, é crucial entender os mecanismos de diferentes tecnologias de branqueamento, propriedades físicas e químicas dos produtos, e o efeito de diferentes tecnologias nos atributos de qualidade dos produtos e no meio ambiente (XIAO et al., 2017).

1.1.8 Secagem

A secagem se trata de uma operação unitária que tem como objetivo a remoção total ou parcial de umidade do produto. É um dos métodos mais antigos empregados para a conservação de alimentos como carnes, frutas e leite. Diversas são as vantagens pertinentes à aplicação da secagem, entre as quais destacam-se: redução da massa do alimento, do custo de transporte e redução das condições para crescimento microbiológico (FELLOWS, 2006).

A secagem de produtos alimentícios é amplamente empregada com a finalidade de remover sua umidade, diminuindo a atividade de água, a fim de inibir o crescimento microbiano, impedindo assim a deterioração deles. Esta remoção passou a ter importância na redução dos custos energéticos, de transporte, embalagem e armazenagem destes alimentos. Deste modo, a secagem possibilita o aumento da vida útil, a redução do peso e do volume dos alimentos, facilitando o consumo e diversificando a oferta de produtos (LOPES, 2013).

Assim, por definição, a secagem é a aplicação de calor com condições controladas para retirar a maior parte da água normalmente presente em um material ou alimento, ocorrendo simultaneamente transferência de calor e de massa (LUIZ, 2012).

Deste modo, como técnica de preservação a secagem é uma alternativa para processamento de frutas e hortaliças e demais produtos alimentícios (ARBALLO; CAMPAÑONE; MASCHERONI, 2010; MESTRY; MUJUMDAR; THORAT, 2011). É um processo que reduz a umidade dos alimentos a níveis baixos para preservar e melhorar sua vida útil, prolongando sua durabilidade (OKOS et al., 2016).

São vários os métodos de secagem, que abrangem a secagem solar, secadores convectivos, liofilização, *spray drying*, *drum drying*, leito fluidizado etc. O método empregado dependerá, entre outros fatores, do produto que se deseja secar, em termos de sensibilidade e formato dele, podendo ser inteiro, em pedaços, pastosos

ou líquidos. No caso de um produto inteiro ou seco em pedaços (como uma fruta fatiada), geralmente é diretamente consumido, ou então pode ser incorporado como ingrediente de outro produto, como as frutas secas que podem ser incorporadas em cereais ou pães, por exemplo. Quando o produto está na forma de pó, na maioria das vezes seu uso pretendido será a reidratação (GAVA; SILVA; FRIAS, 2008).

Dentre os diferentes métodos de secagem, a atomização (*spray drying*) é um processo amplamente utilizado na indústria alimentícia para o processamento de líquidos em pó, por ser econômico, flexível e poder operar de forma contínua (IGNÁRIO; LANNES, 2007; YOUSEFI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2010).

1.1.8.1 Secagem em *spray dryer*

A secagem por atomização, pulverização ou *spray-drying* é um processo no qual um líquido é transformado em produto seco, caracterizando-se pelo tempo de secagem relativamente curto (GAVA; SILVA; FRIAS, 2008).

A secagem em *spray dryer* de frutas, hortaliças ou algum outro item de interesse, leva a um produto com alto valor agregado, necessitando de cuidados prévios, já que o pó resultante do alimento possui grande capacidade de retenção de água (alto poder higroscópico), levando ao *caking* ou aglomeração do pó, resultando em mudanças físicas indesejáveis (CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005).

O processo baseia-se na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente. A rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas de modo que a alta temperatura do ar de secagem não afete demasia o produto (OETTERER; REGITANO-D' ARCE; SPOTO, 2006). A evaporação da água é efetivada pela transferência de calor entre o ar quente e o líquido atomizado. A separação do produto seco do ar úmido ocorre quando as partículas mais densas são recuperadas na base da câmara de secagem, enquanto as mais leves passam por um ciclone, em que elas são separadas do ar úmido (TADINI et al., 2016).

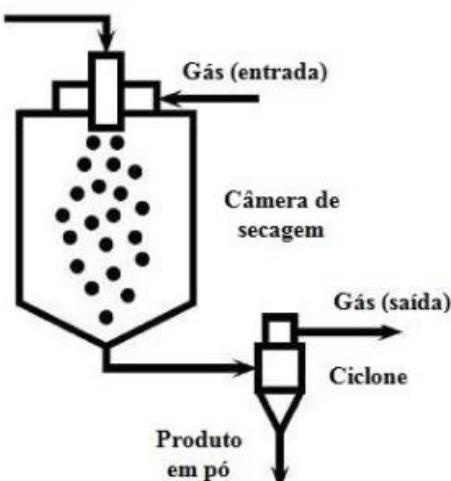
No geral, a secagem por atomização apresenta quatro fases distintas: atomização do líquido (formação das gotículas de *spray*), contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem (OETTERER; REGITANO-D' ARCE; SPOTO, 2006). Como tais fases da atomização interferem nas características do pó final, a maneira de atomizar (afetada

por vazão de alimentação da solução, velocidade do ar de secagem, etc) e as propriedades do líquido atomizado (viscosidade, quantidade de sólidos, etc) influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade (GAVA; SILVA; FRIAS, 2008).

Deste modo, de acordo com Gava, Silva e Frias (2008), as variáveis importantes de controle das propriedades do pó final são: líquido atomizado; atomizador e ar de secagem. Na Figura 2 está ilustrado o esquema de um equipamento *spray dryer*.

Figura 2 – Esquema de um *spray-dryer*.

Alimentação do líquido



Fonte: Almeida (2012).

As principais vantagens desses secadores são a secagem rápida, a possibilidade da produção contínua em larga escala, baixos custos de mão de obra e operação, e manutenção relativamente simples. Por outro lado, existem certas limitações como o alto custo inicial do equipamento e a necessidade de produtos com elevada umidade e viscosidade adequada para facilitar o bombeamento da solução até o atomizador e sua própria atomização, o que resulta em custos de energia mais altos (para remover a umidade) e maiores perdas de voláteis (FELLOWS, 2006). Além disso, esse tipo de equipamento apresenta limitações para alimentos ricos em açúcares e ácido orgânicos, uma vez que estes geralmente têm uma temperatura de transição vítreia (T_g) baixa, o que acarreta problemas de aderência do material nas paredes do equipamento, reduzindo o rendimento. Para esse tipo de produto geralmente são utilizados agentes carreadores com elevada massa molecular, de

forma a aumentar a temperatura de transição vítreia do material e minimizar os efeitos indesejáveis.

Na literatura são diversos os trabalhos que utilizaram o *spray dryer* para produzir alimentos em pó. Moser (2016) realizou a atomização do suco de uva em *spray dryer*, com o objetivo da obtenção do suco em pó, utilizando misturas de maltodextrina e proteínas de soja e de soro de leite como agentes carreadores, devido à pegajosidade, visando proteger as antocianinas e obter um produto com boa estabilidade em relação às alterações físicas e químicas. O autor avaliou também a influência das condições do processo sobre o rendimento, umidade, solubilidade e cor do suco em pó. Os sucos atomizados com os carreadores selecionados foram avaliados quanto à distribuição de tamanho das partículas, pegajosidade, isotermas de sorção de umidade, temperatura de transição vítreia (T_g) e estabilidade das antocianinas expostas à luz. Os sucos em pó apresentaram alta solubilidade e baixa umidade.

Dantas et al. (2018) obtiveram o suco de abacate em pó, utilizando misturas de maltodextrina DE10 como agente carreador, açúcar refinado e leite com 3% de gordura, sendo a mistura homogeneizada em centrifuga a 500 rpm por 10 min, para posterior secagem em *spray dryer*. Os resultados revelaram que a temperatura de entrada em combinação com gotículas menores de alimentação foram os principais fatores no rendimento do processo, definindo também as propriedades do pó, como umidade e atividade de água. Segundo os autores, o pó manteve o alto valor nutricional, suas propriedades sensoriais e a coloração verde do abacate.

Braga et al. (2020) estudaram a secagem de suco de abacaxi com hortelã por *spray drying*, avaliando as características físico-químicas dos pós do suco e o efeito da adição de 0,3 e 15% de maltodextrina DE10 na solução. Os resultados apontaram que é possível a secagem de suco de abacaxi com hortelã sem agente carreador, preservando a cor natural do suco e com rendimento de 35%, o que sugeriu que a hortelã pode ajudar na secagem de suco de abacaxi com hortelã.

1.1.8.2 Secagem de hortelã

Na literatura revisada não foram encontrados estudos sobre a secagem de folhas de hortelã em *spray dryer*, porém são vistos por outros métodos de secagem. Ceylan;Gürel (2016) estudaram a cinética de secagem de hortelã em leito fluidizado

associado a secagem solar, em temperaturas do ar de 45° e 50°C, mostrando que as folhas de hortelã apresentaram um teor de umidade final de 0,17 g água / g matéria seca.

Kiani; Minaei; Ghasemi-Varnamkhasti, (2018) estudaram o monitoramento em tempo real do aroma de folhas de hortelã (*Mentha spicata L.*) utilizando um sistema eletrônico de nariz (e-nose), a partir da secagem das folhas em secador de ar quente. De acordo com os autores, a temperatura do ar de secagem de 50°C foi a mais adequada para obtenção do maior teor de óleo essencial, melhor aspecto da cor e maior concentração dos principais constituintes ativos.

Tarhan et al. (2010) analisaram a qualidade e consumo de energia ao secar hortelã-pimenta em tambor rotativo. Os resultados mostraram que houve um escurecimento considerável das folhas após a secagem, o teor de óleo essencial se manteve em torno de 2,08 a 2,7 mL·100 g⁻¹ de matéria seca e o teor de mentol das folhas após a secagem foi de 44,52%.

Ayadi et al. (2014) estudaram a cinética de secagem de hortelã em secador convectivo, com temperaturas do ar de secagem variando em ordem crescente e decrescente de 40 a 55°C. Segundo os autores a temperatura do ar de secagem crescente foi mais eficiente no ponto de vista da secagem, custo de tempo e operação.

Uribe et al. (2016) secaram folhas de hortelã em estufa a vácuo com temperatura de 50 a 90°C e observaram valores de umidade para folhas de hortelã secas de 2,74 a 6,46 % (b.u.).

1.1.9 Produtos em pó

As perdas dos frutos pós-colheitas, desde o campo até o mercado consumidor, representam grandes prejuízos econômicos. Tais razões têm motivado pesquisadores a desenvolver processos para a produção de frutas e hortaliças em pó. Esses produtos precisam apresentar características desejáveis para o consumidor, como boa capacidade de reidratação, cor e aroma atrativos e serem nutricionalmente o mais próximo possível dos produtos *in natura* (ZOTARELLI, 2014).

Os produtos em pó proporcionam diversas vantagens como a facilidade no transporte e armazenamento, além de poderem ser ingredientes de vários outros produtos, sendo a granulometria característica de um produto desidratado ideal para utilização em outros processos (ORDÓÑEZ et al., 2005). Porém, é importante o

conhecimento a respeito da matéria-prima e suas propriedades para que seja escolhido o método de secagem adequado para um produto em pó. Além disso, os alimentos em pó devem ser adequadamente acondicionados uma vez que a maioria dos pós resultantes possui grande capacidade de retenção de água (alto poder higroscópico), levando ao *caking* ou aglomeração do pó, resultando em mudanças físicas indesejáveis.

Os conceitos físico-químicos associados à desidratação dos alimentos devem ser entendidos para uma avaliação adequada dos fenômenos de secagem em qualquer produto alimentício. Atividade de água, higroscopicidade, morfologia, isotermas de sorção, mecanismos e teorias de desidratação, e mudanças químicas e físicas devem ser reconhecidas como elementos-chave para qualquer operação de desidratação de alimentos (VEGA-MERCADO; MARCELA GÓNGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001).

1.1.9.1 Higroscopicidade

A higroscopicidade é definida como a capacidade do alimento em pó adsorver umidade a partir de um ambiente de elevada umidade relativa, superior à de equilíbrio (JAYA; DAS, 2004). Assim, a higroscopicidade representa a relação entre a água e os outros componentes de um produto, sendo considerada um fator importante no processamento de alimentos, pois influencia na estabilidade dos produtos desidratados, nas operações de manuseio, estocagem e consumo (LABUZA, 1984).

Essa propriedade em alimentos desidratados, deve ser verificada tanto do ponto de vista industrial quanto comercial, pela influência em setores de embalagem (auto aglomeração e perda de fluidez), bem como por estar intimamente ligada à estabilidade físico-química e microbiológica dos produtos (OLIVEIRA ALVES, 2007).

1.1.9.2 Cor

Em geral, as pessoas percebem o alimento através da identificação visual antes de prová-lo e preveem seu sabor antes de tomar uma decisão sobre a compra ou o consumo (LEE et al., 2013). Assim, o aspecto da cor é um dos principais parâmetros que os consumidores avaliam, fundamental na aceitação do produto, e usam como um indicador para aceitação ou rejeição de alimentos (LEÓN et al., 2006).

A avaliação da cor dos alimentos pode ser realizada por percepção visual ou por instrumentos de medição de cores. Os sistemas visuais envolvem comparação com referências coloridas sob iluminação controlada. Nesse método, para realizar uma análise de cores mais objetiva, os padrões de cores são frequentemente usados como materiais de referência, isso implica uma inspeção mais lenta e requer treinamento mais especializado dos observadores (AFSHARI-JOUYBARI; FARAHNAKY, 2011). Por estas razões, é recomendável a determinação da cor através do uso de instrumentos de medição de cores. Alguns dos instrumentos mais utilizados na medição de cores são os colorímetros: Minolta chroma, Hunterlab e Dr. Lange (LEÓN et al., 2006).

A quantificação das diferenças de cor em relação a um padrão é representada pelo cálculo do ΔE , que relaciona os parâmetros L^* , a^* e b^* , conforme Equação 1.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (1)$$

em que L^* se refere à luminosidade podendo variar do preto ao branco, a^* é a medida do croma no eixo vermelho-verde, b^* é a medida do croma no eixo amarelo-azul e o subscrito 0 indica a cor do produto inicial (ABONYI; TANG; EDWARDS, 1999).

A mudança de cor de um produto alimentício durante a secagem é uma indicação de quão severas são as condições de secagem e está relacionada à sua composição/concentração de pigmento (TOPUZ; FENG; KUSHAD, 2009). No processo de secagem de plantas medicinais e aromáticas, é essencial monitorar as características sensoriais, como a cor e aroma. Essa necessidade é notada em produtos como folhas de hortelã secas, em que a volatilização do aroma pode alterar a qualidade aromática, influenciando negativamente a comercialização do produto (KIANI; MINAEI; GHASEMI-VARNAMKHASTI, 2018).

REFERÊNCIAS

- ABONYI, B. I.; TANG, J.; EDWARDS, C. G. **Evaluation of Energy Efficiency and Quality Retention for the Refractance Window Drying System.** Research Report. Washington State University, Pullman WA, 1999.
- AFSHARI-JOYBARI, H.; FARAHNAKY, A. Evaluation of photoshop software potential for food colorimetry. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 2, p. 170–175, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.034>
- ARBALLO, J. R.; CAMPAÑONE, L. A.; MASCHERONI, R. H. Modeling of Microwave Drying of Fruits. **Drying Technology**, v. 28, p. 1178–1184, 2010. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.493253>
- ARROQUI, C. et al. Mathematical model of heat transfer and enzyme inactivation in an integrated blancher cooler. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 3, p. 215–225, 2003a. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00371-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00371-0)
- ARROQUI, C. et al. Mathematic model of an integrated blancher/cooler. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 2–3, p. 297–307, 2003b. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00471-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00471-5)
- AYADI, M. et al. Kinetic study of the convective drying of spearmint. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, p. 1–7, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.04.004>
- BENABDALLAH, A. et al. Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (Lamiaceae) from northeast of Algeria. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 6, n. 9, p. 760–766, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.06.016>
- BRAGA, V. et al. Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying. **Powder Technology**, v. 375, p. 409–419, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.012>
- CARLOS, L. DE A.; RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J. Redução da Higroscopidade de Pós Liofilizados pela Indução da Cristalização em Soluções-Modelo de Açúcares Constituintes de Frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 2, p. 163–173, 2005.
- CEYLAN, I.; GÜREL, A. E. Solar-assisted fluidized bed dryer integrated with a heat pump for mint leaves. **Applied Thermal Engineering**, v. 106, p. 899–905, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.077>
- CUNHA, A. P.; DA SILVA, A. P.; ROQUE, O. R. **Plantas e produtos vegetais em fitoterapia.** Fundação C ed. Lisboa, 2003.
- COSTA, A. G. et al. Crescimento vegetativo 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.

CORTÉS-ROJAS, D. F.; OLIVEIRA, W. P. Physicochemical Properties of Phytopharmaceutical Preparations as Affected by Drying Methods and Carriers. **Drying Technology**, v. 30, n. 9, p. 921–934, 2012.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2012.666608>

CRUZ, R. M. S.; VIEIRA, M. C.; SILVA, C. L. M. Effect of heat and thermosonication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 1, p. 8–15, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.007>

DANTAS, D. et al. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry**, v. 266, n. March, p. 284–291, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.016>

DE SOUSA BARROS, A. et al. Chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha* species. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 557–564, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.004>

DIAS, R. A. DE; SOUZA, P. S.; ALSINA, O. L. S. DE. Efeito da temperatura de secagem sobre o rendimento na extração de taninos totais e óleos essenciais da hortelã (*Mentha x vilosa* Hudson). **Brazilian Journal of Pharmacy**, v. 93, n. 4, p. 431–438, 2012.

EGGERSDORFER, M.; WYSS, A. Carotenoids in human nutrition and health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 652, p. 18–26, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.06.001>

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

FERNANDES, S. K.T. et al. Comportamento da secagem da hortelã da folha miúda. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, p. 36–40, 2013.

FERRUZZI, M. G.; BLAKESLEE, J. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. **Nutrition Research**, v. 27, n. 1, p. 1–12, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003>

GALLO, L.; RAMIREZ-RIGO, M. V.; PINA, J.; BUCALA, V. A comparative study of spray-dried medicinal plant aqueous extracts. Drying performance and product quality. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 104, p. 681–694, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.10.009>

GAVA, A. J.; SILVA, C. A.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos - Princípios e Aplicações**. Nobel ed. São Paulo, 2008.

GRISI, M. C. . et al. Avaliação de genótipos de Menta (*Mentha spp*) nas condições do Distrito Federal , Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, p. 33–39, 2006.

GULLUCE, M. et al. Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *Longifolia*. **Food Chemistry**, v. 103,

- n. 4, p.1449-1456, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.061>
- HERMANNS, A. S. et al. Carotenoid Pigment Accumulation in Horticultural Plants. **Horticultural Plant Journal**, v. 6, n. 6, p. 343–360, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.10.002>
- HERTWIG, I. F. V. **Plantas aromáticas e medicinais**. Ícone. 1. ed. São Paulo: p. 449, 1986.
- IGNÁRIO, R. M.; LANNES, S. C. D. S. Preparation of powdered egg yolk using a mini spray dryer. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 729–732, 2007.
- JADHAV, S. J. et al. **Lipid oxidation in biological and foods systems**. Food antioxidants: technological, toxicological and health perspectives. New York: Marcel Dekker, p. 5-62, 1995.
- JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 2, p. 125–134, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00135-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00135-3)
- KANATT, S. R.; CHANDER, R.; SHARMA, A. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation-processed lamb meat. **Food Chemistry**, v. 100, n. 2, p. 451-458, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.066>
- KEDIA, A. et al. Antifungal, antiaflatoxigenic, and insecticidal efficacy of spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 89, p. 29–36, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.10.027>
- 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, p. 447–452, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.033>
- KIVILOMPOLO, M.; HYÖTYLÄINEN, T. Comprehensive two-dimensional liquid chromatography in analysis of Lamiaceae herbs: Characterisation and quantification of antioxidant phenolic acids. **Journal of Chromatography A**, v. 1145, n. 1–2, p. 155–164, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.01.090>
- KUMAR, P. et al. Insecticidal properties of *Mentha* species: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 802–817, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.02.019>
- LABUZA, T. Standard procedure for isotherm determination. **Cereal Foods World**, v. 28, p. 258, 1984.
- LEE, S. M. et al. Origin of human colour preference for food. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 3, p. 508–515, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.021>
- LEFEBVRE, T. et al. Development of an analytical method for chlorophyll pigments separation by reversed-phase supercritical fluid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1612, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.460643>
- LEÓN, K. et al. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. **Food**

Research International, v. 39, n. 10, p. 1084–1091, 2006.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>

LOPES, F. J. **Estudo do fenômeno de encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas**. Campos dos Goytacazes RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2013.

LORENZI HARRI; F. J. ABREU MATOS. **Plantas Medicinais no Brasil. Nativas e Exóticas**. 2^a Edição ed. Nova Odessa – SP, 2008.

LUIZ, M. R. **Estudo teórico e experimental de secagem de tomate (Lycopersicon esculentum)**. 2012. 160 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia, João Pessoa, Paraíba, 2012.

MAHAJAN, M.; PAL, P. Growing conditions influence non-destructive estimation of chlorophyll in leaves of Valeriana jatamansi. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 3, n. 3, p. 131–135, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.05.005>

MAHBOUBI, M. *Mentha spicata L.* essential oil, phytochemistry and its effectiveness in flatulence. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.08.011>

MESTRY, A. P.; MUJUMDAR, A. S.; THORAT, B. N. Optimization of Spray Drying of an Innovative Functional Food: Fermented Mixed Juice of Carrot and Watermelon. **Drying Technology**, v. 29, p. 1121–1131, 2011.

<https://doi.org/10.1080/07373937.2011.566968>

MOSER, P. **Secagem por atomização do suco de uva: microencapsulação das antocianinas São José do Rio Preto Poliana Moser Secagem por atomização do suco de uva: microencapsulação das antocianinas São José do Rio Preto**. 2016. 149f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.

MUKHERJEE, S.; CHATTOPADHYAY, P. K. Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 52–60, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.001>

NAMIKI, M. Antioxidants/antimutagens in food. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 29, p. 273-300, 1990. <https://doi.org/10.1080/10408399009527528>

NAZEM, V. et al. Essential oil yield and composition and secondary metabolites in self- and open-pollinated populations of mint (*Mentha* spp.). **Industrial Crops and Products**, v. 130, n. January, p. 332–340, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.018>

OETTERER, M.; REGITANO-D' ARCE, M. A. B. ; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Manole ed. Barueri, São Paulo, 2006.

OKOS, M. R.; CAMPANELLA, O.; NARSIMHAN, G.; SINGH, R. K.; WEITNAUER, A. C. **Food dehydration**. Canadá. Elsevier, 2016.

OLIVEIRA ALVES, C. C. Pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) liofilizada: hidroscopicidade e microestrutura. 2007. 182 f. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2007.

ORDÓÑEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L.F.; SANZ, M. L.G.; MINGUILLÓN, G. D. G.F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M.D.S. **Tecnologia de Alimentos**. Artmed ed. Porto Alegre: 2005.

PACHÚ, C. O. **Processamento de plantas medicinais para obtenção de extratos secos e líquidos**. [s.l.] UFCG, 2007.

PRAKASH, OM. et al. Mint (*Mentha spicata L.*) Oils. In: PREEDY, V. R. (Ed.). **Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety**. London, p. 561–572, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00064-X>

RAJU, M. et al. Carotenoid composition and vitamin A activity of medicinally important green leafy vegetables. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1598–1605, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.015>

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. et al. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 6, p. 445–463, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.04.001>

RODRIGUEZ-CONCEPCION, M. et al. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. **Progress in Lipid Research**, v. 70, n. April, p. 62–93, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>

RUSSOMANNO, O. M. R.; KRUPPA, P. C.; FIGUEIREDO, M. B. Oidium asteris-punicei em plantas de Hortelã-Pimenta. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 551–551, 2005.

SHAHIDI, F.; JANITHA, P.K.; WANASUNDARA, P.D. Phenolic antioxidants. **Critical Reviews in Food Science Nutrition**, v. 32, p. 67-103, 1992.
<https://doi.org/10.1080/10408399209527581>

SCHERER, R. et al. Antioxidant and antibacterial activities and composition of Brazilian spearmint (*Mentha spicata L.*). **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 408–413, out. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.007>

SOARES, A. K. A. et al. Avaliação da segurança clínica de um fitoterápico contendo *Mikania glomerata*, *Grindelia robusta*, *Copaifera officinalis*, *Myroxylon toluifera*, *Nasturtium officinale*, própolis e mel em voluntários saudáveis. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 4, p. 447–454, 2006.

SUN, T.; LI, L. Toward the ‘golden’ era: The status in uncovering the regulatory control of carotenoid accumulation in plants. **Plant Science**, v. 290, n. 110331. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110331>

TABNUT: **Tabela de composição química dos alimentos**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://tabnut.dis.epm.br/alimento/02065/hortela-fresco>. Acesso em: 10 ago. 2019.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; FILHO, P. A. P. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. LTC ed. Rio de Janeiro, 2016.

TARHAN, S. et al. Product quality and energy consumption when drying peppermint by rotary drum dryer. **Industrial Crops and Products**, v. 32, n. 3, p. 420–427, 2010.

TOPUZ, A.; FENG, H.; KUSHAD, M. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 10, p. 1667–1673, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.014>

URIBE, E. et al. Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita L.*) as a source of natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 190, p. 559–565, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.108>

VEGA-MERCADO, H.; MARCELA GÓNGORA-NIETO, M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 271–289, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00224-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00224-7)

XIAO, H. W. et al. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 101–127, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>

YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 677–684, 2010. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0195-x>

ZHENG, X.; GIULIANO, G.; AL-BABILI, S. Carotenoid biofortification in crop plants: citius, altius, fortius. **Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids**, v. 1865, n. 11, p. 158664, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158664>

ZOTARELLI, M. F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. 2014. 165 f. Tese(Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2014.

2 CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DA HORTELÃ FRESCA E EM PÓ OBTIDA POR SPRAY DRYING

O presente capítulo apresenta a caracterização da hortelã fresca e em pó com e sem tratamento térmico, obtido por *spray drying* e a avaliação da influência das variáveis do processo em diferentes condições. Os pós obtidos foram caracterizados quanto à umidade, higroscopicidade, cor, densidade *bulk*, clorofila total, carotenoides, fenólicos totais, distribuição do tamanho de partículas, microscopia eletrônica de varredura e tempo de molhamento, além de avaliar o rendimento da secagem em *spray dryer*.

2.1 INTRODUÇÃO

A hortelã (*Mentha spicata L.*) é uma erva do tipo rizomatosa rastejante, suas folhas são largas e serrilhadas, com seu caule de formato quadrado. As folhas possuem odor característico e um sabor pungente, originado do composto fenólico carvona (KEE; SHORI; BABA, 2017). Segundo Perrino et al. (2021) as plantas aromáticas, são influenciadas por uma série de fatores intrínsecos e extrínsecos, que principalmente podem induzir alterações na composição química e nas atividades fisiológicas.

É uma planta herbácea da família *Lamiaceae*, rica em óleos essenciais e compostos antioxidantes importantes (PERRINO et al., 2021). Seu óleo essencial e constituintes químicos principais são utilizados como conservantes e aromatizantes em alimentos, agentes antimicrobianos controlando patógenos de origem alimentar, além do seu uso em cosméticos e produtos farmacêuticos, sendo também usado topicalmente como analgésico para tratar dores de cabeça (GITHAIGA et al., 2018; PRAKASH OM et al., 2016). Pode ser utilizada na forma fresca, folhas secas ou em pó, como tempero e aromatizante, ou tradicionalmente como chá de ervas (CIRLINI et al., 2016).

A secagem de hortelã é um método eficaz de conservação, pois propicia o aumento da vida útil, por se tratar de uma erva aromática com alto teor de umidade. No entanto, a secagem se não realizada em condições específicas, pode causar

mudanças no produto associadas à aparência, cor e degradação do material, principalmente no que diz respeito aos compostos bioativos que são sensíveis à exposição ao calor por tempos prolongados.

Assim, como alternativa para reduzir as alterações e degradações do produto, tem sido empregado o pré-tratamento térmico (branqueamento). Segundo Manzoor et al. (2019), que investigaram o efeito do branqueamento em ervilhas verdes após secagem em secador de ar quente, as amostras retiveram os pigmentos de clorofila com o processo de branqueamento. No entanto, estudos em relação ao efeito do branqueamento na secagem e nas características físico-químicas da hortelã não foram encontrados na literatura revisada. Dessa forma, o objetivo desse estudo é estudar a secagem de hortelã por spray drying avaliando o efeito do branqueamento e das condições de processo nas características físico-químicas do produto seco.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Obtenção da matéria-prima

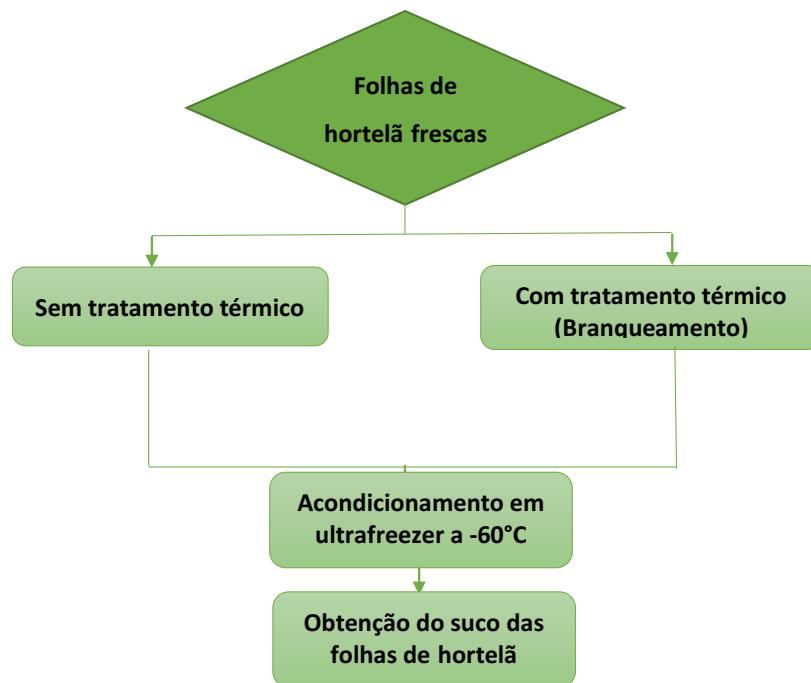
As folhas de hortelã da espécie *Mentha spicata*, foram adquiridas no comércio local da cidade de Patos de Minas – MG. A seleção da matéria-prima foi executada por observação visual, de acordo com sua aparência, tamanho e quanto à conservação, sendo que, as folhas do caule foram manualmente retiradas. Após a seleção, para o experimento de secagem, as folhas de hortelã foram acondicionadas em embalagens de polietileno transparente, cada pacote contendo aproximadamente 200 g, e estocadas em ultrafreezer (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) a -60°C.

2.2.2 Preparo das amostras

Na Figura 3 está apresentado um fluxograma com as etapas utilizadas no preparo das amostras de hortelã a serem submetidas à secagem. Previamente à realização da secagem por atomização, em todos os experimentos com e sem branqueamento, as amostras das folhas de hortelã, ainda congeladas, foram trituradas em liquidificador industrial, adicionando-se água na proporção de 1:3 em massa de folhas de hortelã em relação à água, visando obter um suco, conforme apresentado na Figura 4. Em seguida, o suco foi peneirado, em uma peneira de 16

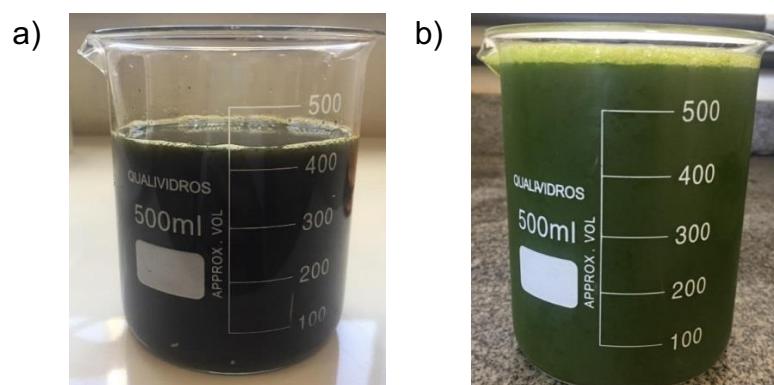
mesh Tyler (1,00 mm) para a retirada de partículas maiores, sendo estas descartadas, uma vez que podem prejudicar o processo de secagem em *spray dryer* devido à possibilidade de entupimento do bico atomizador.

Figura 3 – Fluxograma do preparo das amostras.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 4 – Suco de hortelã preparado a) sem branqueamento e b) com branqueamento.



Fonte: Elaborado pela autora, (2020).

2.2.3 Branqueamento

Nas amostras que foram submetidas ao tratamento térmico por branqueamento, as folhas de hortelã foram submersas em água quente na temperatura de $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 30 segundos. Após esse período, as folhas foram retiradas com auxílio de uma peneira e rapidamente imersas em água fria na temperatura de $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante aproximadamente 60 segundos (até seu total resfriamento). Após isso, as amostras foram acondicionadas em embalagens de polietileno transparente, contendo aproximadamente 200 g em cada pacote, e estocadas em ultrafreezer (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) a -60°C .

2.2.4 Secagem

A secagem por atomização foi realizada utilizando um *spray dryer* (LM MSD 1.0, LabMaq, Brasil) com capacidade nominal de $1 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, instalado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Patos de Minas. Na Figura 5 está apresentado o modelo de *spray dryer* que foi utilizado para a realização da secagem. O equipamento é essencialmente composto por: bico atomizador, entrada de ar (válvula) e solução, ciclone, câmara de secagem e exaustor. Para os experimentos utilizou-se um bico atomizador de 1,2 mm de diâmetro, e vazão de atomização de $40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Figura 5 – *Spray dryer* utilizado para a secagem de suco de hortelã, em que: (1 e 2) representam a localização do bico atomizador e a entrada de ar e solução; (3) o ciclone, (4) representa a localização da câmara de secagem e (5) a exaustão de ar e partículas mais finas (não coletadas).



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

2.2.5 Planejamento experimental

Os experimentos de secagem foram realizados de acordo com a metodologia de planejamento fatorial de experimentos (Box et al., 1978). Para quantificar o efeito dos fatores investigados, um planejamento fatorial a dois níveis completo com 4 variáveis (2^4) foi realizado, totalizando 16 experimentos. As variáveis independentes analisadas foram tratamento térmico (qualitativa), temperatura do ar de secagem, vazão de alimentação e vazão do ar de secagem. As respostas avaliadas no planejamento foram: umidade, higroscopicidade, cor, densidade bulk e rendimento.

Os níveis das variáveis estudadas estão apresentados na Tabela 2. As faixas experimentais foram definidas de acordo com a revisão da literatura e testes preliminares.

Tabela 2 – Planejamento fatorial a dois níveis completo com 4 variáveis (2^4).

Experimentos	Tratamento Térmico (-) (X ₁)	Temperatura (°C) (X ₂)	V _{alim} (L.h ⁻¹) (X ₃)	V _{ar} (m ³ .min ⁻¹) (X ₄)
1	Sem Branqueamento (-1)	100 (-1)	0,40 (-1)	1,60 (-1)
2	Sem Branqueamento (-1)	100 (-1)	0,40 (-1)	1,85 (+1)
3	Sem Branqueamento (-1)	100 (-1)	0,80 (+1)	1,60 (-1)
4	Sem Branqueamento (-1)	100 (-1)	0,80 (+1)	1,85 (+1)
5	Sem Branqueamento (-1)	140 (+1)	0,40 (-1)	1,60 (-1)
6	Sem Branqueamento (-1)	140 (+1)	0,40 (-1)	1,85 (+1)
7	Sem Branqueamento (-1)	140 (+1)	0,80 (+1)	1,60 (-1)
8	Sem Branqueamento (-1)	140 (+1)	0,80 (+1)	1,85 (+1)
9	Com Branqueamento (+1)	100 (-1)	0,40 (-1)	1,60 (-1)
10	Com Branqueamento (+1)	100 (-1)	0,40 (-1)	1,85 (+1)
11	Com Branqueamento (+1)	100 (-1)	0,80 (+1)	1,60 (-1)
12	Com Branqueamento (+1)	100 (-1)	0,80 (+1)	1,85 (+1)
13	Com Branqueamento (+1)	140 (+1)	0,40 (-1)	1,60 (-1)
14	Com Branqueamento (+1)	140 (+1)	0,40 (-1)	1,85 (+1)
15	Com Branqueamento (+1)	140 (+1)	0,80 (+1)	1,60 (-1)
16	Com Branqueamento (+1)	140 (+1)	0,80 (+1)	1,85 (+1)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em que, V_{alim} significa vazão de alimentação da solução no secador, V_{ar} significa vazão de alimentação de ar na câmara de secagem.

2.2.6 Caracterização físico-química das folhas frescas e do produto em pó

2.2.6.1 Determinação da umidade

A umidade das folhas de hortelã frescas foi determinada por método gravimétrico. Inicialmente cápsulas de porcelana de 30 mL foram colocadas em estufa

de circulação de ar forçado a 105°C, por cerca de 30 min. Em seguida, nas cápsulas de porcelana previamente secas e com massa conhecida, foram pesados aproximadamente 5 g da amostra em balança analítica (Shimadzu - AUW320, Brasil). Na sequência, as cápsulas de porcelana contendo as amostras foram colocadas em estufa por 24 h. O percentual de umidade das amostras, em base úmida (%) foi calculado de acordo com a Equação 2:

$$X_u = \frac{M_s - M_{ss}}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

em que, X_u a umidade do produto em base úmida (%), M_s é a massa de sólido úmido (sólidos e água) e M_{ss} é a massa de sólidos secos.

2.2.6.2 Determinação da cor

As folhas de hortelã frescas foram analisadas por reflectância com o auxílio de um colorímetro (CHROMA METER CR-400, Konica Minolta, Japão), com escala CIELab (L^* , A^* , b^*).

As medidas de coloração foram expressas em termos de luminosidade L^* , variando do negro (0) ao branco (100), e da cromaticidade definida por a^* e b^* . Para o parâmetro a^* , valores positivos indicam a cor vermelha e valores negativos, a cor verde, no intervalo de [-60,60]. Já para o parâmetro b^* , os valores positivos representam o amarelo, enquanto os negativos revelam o azul, também no intervalo [-60,60].

2.2.6.3 Determinação da concentração de clorofila total e carotenoides

O teor de clorofila e carotenoides foi estimado por meio da metodologia de Arnon (1949) adaptada. Para determinação foi colocado em tubos cônicos tipo Falcon, aproximadamente 0,1 g da amostra com adição de 10 mL de acetona 80%. Após, foi realizado agitação em vórtex por 1 mim e em seguida levado ao banho ultrassônico por 5 min e centrifugado por 10 min a 5.000 rpm. Após a centrifugação, a clorofila foi extraída e retirado o sobrenadante, coletando-o em um balão de 50 mL. Posteriormente ao precipitado foi adicionado acetona 80%, sendo assim os tubos novamente centrifugados. Em seguida, com a obtenção do extrato, foram realizadas

as leituras de absorbância em espectrofotômetro a 480, 645 e 663 nm (Modelo Espectrofotômetro UV-1280 UV-VIS- Shimadzu). Para as leituras foram adicionados 5 ml de extrato e 10 mL de acetona 80%. A clorofila a, b e clorofila total foram calculadas utilizando as Equações 3, 4 e 5, propostas por Arnon (1949) e com os coeficientes de absorção propostos por Lichtenthaler (1987) e a obtenção de carotenoides pela Equação 6, os teores de clorofila e carotenoides expressos em mg·100 g⁻¹ de massa seca:

$$Ca = 12,7A_{663} - 2,69A_{645} \quad (3)$$

$$Cb = 22,9A_{645} - 4,68A_{663} \quad (4)$$

$$Ct = A_{480} + 8,02A_{663} \quad (5)$$

$$Cr = A_{480} + [(0,114A_{663}) - (0,638A_{645}).V/(1000.W)].100 \quad (6)$$

sendo Ca : clorofila a; Cb : clorofila b; Ct : clorofila total; Cr : carotenoides, V : volume da amostra (ml) e W : peso da amostra (g).

2.2.6.4 Determinação do teor de compostos fenólicos totais

2.2.6.4.1 Extração dos fenólicos totais

Os compostos fenólicos foram extraídos e quantificados segundo a metodologia descrita por Kähkönen et al. (1999) adaptada. Foram adicionados 10 mL de metanol 80% em um tubo cônico tipo Falcon, contendo 0,4 g da amostra; o sistema foi agitado por 1 min em vórtex, depois colocado em banho ultrassônico por 10 min, e após isso, centrifugado por 10 min a 1500 rcf.

2.2.6.4.2 Quantificação dos fenólicos totais

Para determinação da concentração de fenólicos totais foi transferido 1 mL do extrato fenólico em um tubo, após foi adicionado 1 mL do reagente Folin-Ciocalteu. A mistura foi agitada e deixada em repouso por 3 min em ambiente escuro. Em seguida,

foram adicionados 3,75 mL de solução de carbonato de cálcio 0,2% e 0,5 mL de água destilada, nesta ordem. A solução permaneceu 1 h em repouso no escuro. O branco foi preparado com o mesmo procedimento nas devidas proporções, exceto sem o extrato. As leituras espectrofotométricas da amostra e do branco foram realizadas a 760 nm em espectrofotômetro (Modelo Espectrofotômetro UV-1280 UV-VIS-Shimadzu). As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram calculados com base na curva-padrão de ácido gálico, preparada nas mesmas condições que a amostra. O conteúdo fenólico total foi expresso em miligramas de equivalentes de ácido gálico por 100 g de hortelã em base seca (BERTOLDI, 2006).

2.2.6.5 Determinação da higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações, baseadas no estudo de Tonon e colaboradores (2011) e descritas na sequência. Colocou-se aproximadamente 1 g de cada amostra em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C e, após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e calculada conforme a Equação 7:

$$H = \frac{m_i}{x} \cdot 100 \quad (7)$$

em que, H representa a higroscopicidade (%); m_i é a massa inicial da amostra (g); x é a massa de umidade adsorvida (g).

2.2.6.6 Determinação da densidade *bulk*

A densidade *bulk* do leito de partículas dos pós de hortelã obtidos a partir da secagem foi determinada vertendo-se aproximadamente 5 g do pó em uma proveta graduada (1 mL). Essa proveta foi repetidamente batida sobre uma superfície plana e com uma altura de aproximadamente 2 cm de altura, até que as diferenças desprezíveis entre as batidas sucessivas fossem observadas (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005). Sabendo-se a massa da amostra adicionada à proveta, e o volume

ocupado na proveta, foi calculada a densidade *bulk*, que foi expressa em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. As medidas foram realizadas à temperatura ambiente.

2.2.6.7 Rendimento

O rendimento da secagem, para cada teste do planejamento, foi calculado como a razão entre a massa de sólidos no produto em pó coletado e a massa de sólidos da alimentação do secador (suco da folha de hortelã), de acordo com a Equação 8.

$$RS = \frac{M_{s,pó}}{M_{s,suco}} \cdot 100 \quad (8)$$

em que, RS é o rendimento da secagem (%), $M_{s,pó}$ é a massa de sólidos do pó (g) coletada após a secagem em *spray dryer* e $M_{s,suco}$ é a massa de sólidos do suco (g) alimentada no *spray dryer*.

2.2.6.8 Determinação da distribuição de tamanho das partículas

A distribuição do tamanho de partículas foi avaliada de acordo com o método de Fraunhofer, e determinada por um analisador de tamanho de partículas por difração a laser (Mastersizer 2000, com acessório Hydro 200 MU). O diâmetro médio foi determinado baseando-se no diâmetro de Sauter ($D[3,2]$). As amostras foram analisadas em quintuplicata, por via úmida, com dispersão em álcool isopropílico, disponível na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQUI - UFU).

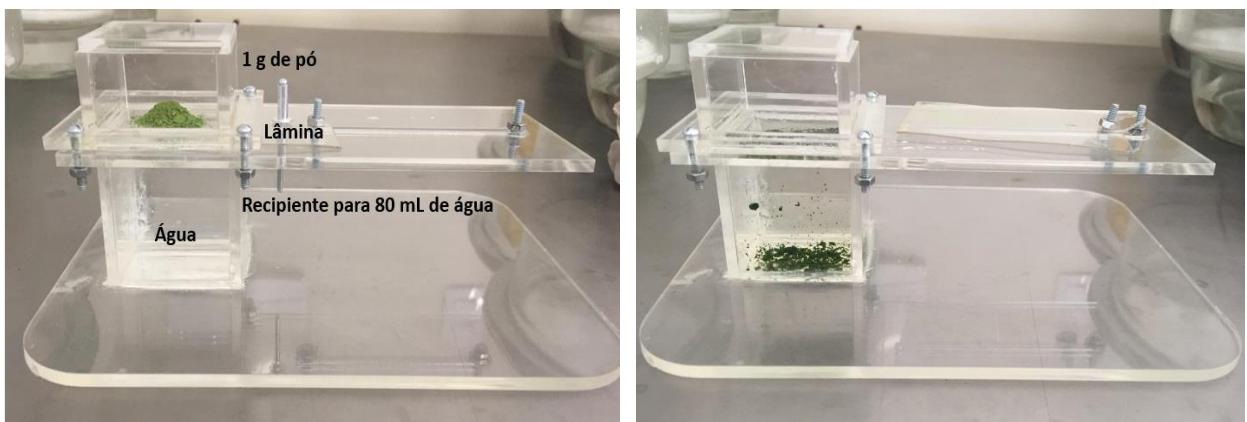
2.2.6.9 Determinação da microscopia eletrônica de varredura

As microscopias das amostras do pó de hortelã foram realizadas empregando um microscópio eletrônico de varredura convencional (Modelo EVO MA 10), disponível na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQUI - UFU). O recobrimento das amostras com ouro foi realizado utilizando um metalizador (LEICA SCD 050) e um feixe de elétrons de 10 kV.

2.2.6.10 Determinação do tempo de molhamento

O tempo de instantaneização, ou tempo de molhamento, consiste no tempo necessário para que uma amostra de pó fique completamente submersa após ter sido colocada sobre a superfície de um líquido. O tempo de molhamento foi determinado de acordo com o método descrito por Dacanal; Menegalli (2010), com adaptações, e consistiu na queda de 1 g de pó sobre 80 mL de água destilada a 25°C, em um recipiente. Foi utilizado um cronômetro para a medição do tempo necessário para que todas as partículas se molhassem. Na Figura 6 está apresentado o dispositivo utilizado na determinação do tempo de molhamento.

Figura 6 – Esquema do dispositivo usado para determinar o tempo de molhamento.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

2.2.7 Análise estatística

Foi realizada a análise de regressão múltipla para quantificar o efeito das variáveis independentes (tratamento térmico, vazão de alimentação, vazão do ar de secagem e temperatura do ar de secagem) sendo as respostas estudadas (umidade, higroscopicidade, cor, densidade *bulk*, concentração da clorofila total, carotenoides, fenólicos totais, rendimento, distribuição do tamanho de partículas, tempo de molhamento). A determinação dos efeitos significativos foi realizada por meio de um teste hipóteses utilizando *t* de *Student* com nível de significância de 10 %, sendo desconsiderados os efeitos com p-valor maior que 0.1. Na resposta de distribuição do

tamanho de partículas para análise dos resultados foi realizado o teste de comparação de médias de *Kruskal-Wallis* com nível de significância de 5%.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1.1 Umidade

Na Tabela 3 estão dispostos os resultados de umidade das folhas frescas com e sem branqueamento e dos pós de hortelã produzidos no *spray dryer*, de acordo com os experimentos do planejamento experimental.

Tabela 3- Resultados da caracterização de umidade das folhas frescas e dos pós de hortelã com e sem o branqueamento.

Exp.		Planejamento Experimental			Umidade (% b.u.)
	Tratamento térmico	T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
Folhas frescas	SB	n.a.	n.a.	n.a.	84,14 ± 0,014
1	SB	100	0,4	1,60	2,87 ± 0,037
2	SB	100	0,4	1,85	2,28 ± 0,069
3	SB	100	0,8	1,60	4,26 ± 0,380
4	SB	100	0,8	1,85	2,75 ± 0,163
5	SB	140	0,4	1,60	2,35 ± 0,249
6	SB	140	0,4	1,85	1,48 ± 0,167
7	SB	140	0,8	1,60	2,56 ± 0,112
8	SB	140	0,8	1,85	1,37 ± 0,212
Folhas frescas	CB	n.a.	n.a.	n.a.	88,92 ± 0,273
9	CB	100	0,4	1,60	1,50 ± 0,115
10	CB	100	0,4	1,85	2,33 ± 0,111
11	CB	100	0,8	1,60	2,10 ± 0,192
12	CB	100	0,8	1,85	2,78 ± 0,261
13	CB	140	0,4	1,60	2,41 ± 0,178
14	CB	140	0,4	1,85	2,15 ± 0,007
15	CB	140	0,8	1,60	2,85 ± 0,414
16	CB	140	0,8	1,85	2,74 ± 0,648

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em que: n.a. significa não se aplica; SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

Observa-se que o valor de umidade das folhas de hortelã frescas sem tratamento térmico foi em média 84,14 % ± 0,014 (b.u.). Doymaz (2006) estudou a secagem de folhas de hortelã em camada fina utilizando secador de bandejas, e observou valores de umidade das folhas de hortelã (*Mentha spicata L.*) frescas de

$84,7 \pm 0,5\%$ (b.u.). Kiani; Minaei; Ghasemi-Varnamkhasti (2018) realizaram o monitoramento do aroma em tempo real durante o processo de secagem de folhas de hortelã (*Mentha spicata L.*) usando o sistema eletrônico de nariz (e-nose) e observaram valores de umidade das folhas de hortelã (*Mentha spicata L.*) frescas, de 85,2% (b.u.). O valor da umidade das folhas de hortelã frescas, exposto na Tabela 3 foi próximo aos resultados para as folhas de hortelã frescas apresentados por Doymaz (2006) e Kiani; Minaei; Ghasemi-Varnamkhasti (2018).

De acordo com os resultados da Tabela 3, é possível verificar um aumento significativo da umidade das folhas de hortelã frescas após tratamento térmico, sendo o valor em média de $88,92\% \pm 0,273\%$ (b.u.). Cabe ressaltar que esse aumento provavelmente esteja relacionado à incorporação de água nas folhas durante o processo de branqueamento.

Pandey; Mishra; Misra (2019), realizaram um estudo comparativo de ervilhas verdes com e sem tratamento térmico, no processo de secagem em secador de leito fluidizado e observaram valores de umidade das ervilhas verdes sem branqueamento de aproximadamente 67 a 74% (b.u.) e com branqueamento de 75 a 77% (b.u.).

Pode ser observado que mesmo com as diferentes condições experimentais a umidade final dos pós foi, em geral, sempre baixa, com valores inferiores a 5% (b.u.). Nos pós sem branqueamento variou de 1,37 a 4,26% e nos pós com branqueamento numa faixa mais estreita ainda, de 1,50 a 2,85%. Dentre os resultados apresentados na Tabela 3, para os pós de hortelã sem branqueamento produzidos a partir do conjunto de condições, o que obteve resultado de umidade final menor foi o do Experimento 8 sendo 1,37% e para os pós com branqueamento, o Experimento 9 apresentou o menor valor sendo este 1,50%.

Para avaliar a influência das variáveis independentes analisadas (temperatura, vazão de alimentação e vazão do ar de secagem) na umidade dos pós de hortelã, seus efeitos foram obtidos por regressão múltipla, desconsiderando-se os efeitos que apresentaram valores de p maiores que 0,1; ou seja, no teste de hipótese com a tabela t de Student foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10% (nível de significância de 0,1). Os resultados com os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 4. O coeficiente de determinação (R^2) de regressão foi de 0,8969.

Tabela 4- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para umidade.

Fator	Efeito	Valor de p
Te	-0,370	0,041
FF	0,505	0,010
AF	-0,377	0,038
BI × Te	0,730	0,001
BI × AF	0,662	0,002

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que FF corresponde à vazão de alimentação ($L \cdot h^{-1}$), AF à vazão do ar de secagem ($m^3 \cdot min^{-1}$), BI ao tratamento térmico e Te à temperatura ($^{\circ}C$).

Por meio dos efeitos estimados, observa-se que maiores vazões de alimentação conduziram a pós com maiores teores de umidade. No que diz respeito à influência de temperatura e vazão do ar de secagem, embora os sinais negativos dos efeitos dessas variáveis em sua forma isolada indiquem que a umidade tenha tendido a diminuir com a mudança do menor para o maior nível, esse comportamento não pode ser afirmado devido ao efeito significativo e maior de interação dessas variáveis com o fator branqueamento. Nota-se que para uma vazão de ar comprimido alta, menor é a quantidade de solução a ser atomizada, e consequentemente, menor o tamanho das gotículas formadas na secagem por atomização, tendendo a resultar assim, em uma maior área superficial de contato com o ar quente. Dessa forma, há uma maior quantidade de água evaporada, possibilitando a obtenção de pós de hortelã mais secos, ou seja, com menores teores de umidade. O branqueamento apresentou efeito somente na forma de interação com outros fatores, mas ainda assim influenciou na umidade dos pós.

De acordo com Hong; Choi (2007) a vazão de alimentação mais alta associada à vazão do ar de secagem baixa não permite uma interação adequada entre as gotículas de alimentação e o ar quente; logo, o menor tempo de contato faz com que a transferência de calor e massa seja menos eficaz, consequentemente provocando um maior valor de umidade no produto final.

Na literatura revisada não foram encontrados estudos sobre a secagem de suco de hortelã com e sem tratamento térmico, o que dificulta a comparação com os resultados de secagem da folha de hortelã por outros métodos. Entretanto, Medina-Torres et al. (2016), secaram folhas de louro em *spray dryer*, em temperaturas de

secagem de 140, 160 e 180 °C e vazões de alimentação de 0,48 e 0,60 L·h⁻¹, e os autores apresentaram resultados de umidade dos pós em torno de 3,04%. Chaul et al. (2017) relataram que em extratos de alecrim secos por atomização, utilizando vazão de alimentação 0,12; 0,24; e 0,36 L·h⁻¹, vazão do ar de secagem 1 m³·min⁻¹ e temperaturas de secagem de 80, 110 e 140°C, os valores médios de umidade foram de aproximadamente 2,14% (b.u.).

Deste modo, como mostrado na literatura, a umidade em pós de plantas aromáticas secos, por diferentes métodos incluindo o *spray drying*, apresentaram valores inferiores a 5% (b.u), condizendo também aos resultados dos experimentos realizados neste trabalho.

2.3.1.2 Cor

A cor é uma propriedade relevante na qualidade dos alimentos, em destaque os alimentos desidratados, pois transparece a imagem do aspecto visual do produto. Os parâmetros L*, a* e b* das folhas frescas com e sem o processo de branqueamento e dos pós de hortelã obtidos no processo de secagem em *spray dryer* são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Resultados da caracterização da cor dos pós das folhas de hortelã frescas com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			L^*	a^*	b^*
		T (°C)	V_{alim} (L·h ⁻¹)	V_{ar} (m ³ ·min ⁻¹)			
Folha hortelã fresca	SB	n.a.	n.a.	n.a.	$10,64 \pm 0,057$	$-8,48 \pm 0,091$	$11,46 \pm 0,129$
1	SB	100	0,4	1,60	$13,58 \pm 0,011$	$-1,79 \pm 0,065$	$13,66 \pm 0,000$
2	SB	100	0,4	1,85	$13,83 \pm 0,030$	$-2,45 \pm 0,130$	$14,40 \pm 0,025$
3	SB	100	0,8	1,60	$11,62 \pm 0,026$	$-3,67 \pm 0,060$	$13,81 \pm 0,086$
4	SB	100	0,8	1,85	$15,13 \pm 0,010$	$-3,97 \pm 0,032$	$16,40 \pm 0,049$
5	SB	140	0,4	1,60	$13,86 \pm 0,015$	$-2,52 \pm 0,099$	$14,33 \pm 0,065$
6	SB	140	0,4	1,85	$15,03 \pm 0,015$	$-2,83 \pm 0,011$	$15,00 \pm 0,017$
7	SB	140	0,8	1,60	$12,63 \pm 0,030$	$-2,11 \pm 0,036$	$13,13 \pm 0,017$
8	SB	140	0,8	1,85	$13,68 \pm 0,032$	$-3,79 \pm 0,010$	$14,55 \pm 0,020$
Folha hortelã fresca	CB	n.a.	n.a.	n.a.	$14,52 \pm 0,035$	$-6,50 \pm 0,115$	$7,81 \pm 0,080$
9	CB	100	0,4	1,60	$15,52 \pm 0,173$	$-6,94 \pm 0,038$	$16,77 \pm 0,020$
10	CB	100	0,4	1,85	$15,06 \pm 0,011$	$-4,92 \pm 0,020$	$16,31 \pm 0,015$
11	CB	100	0,8	1,60	$15,37 \pm 0,017$	$-5,05 \pm 0,056$	$15,62 \pm 0,035$
12	CB	100	0,8	1,85	$18,46 \pm 0,015$	$-6,88 \pm 0,029$	$16,37 \pm 0,021$
13	CB	140	0,4	1,60	$18,53 \pm 0,006$	$-6,55 \pm 0,030$	$14,54 \pm 0,015$
14	CB	140	0,4	1,85	$14,57 \pm 0,010$	$-7,40 \pm 0,050$	$15,35 \pm 0,015$
15	CB	140	0,8	1,60	$13,75 \pm 0,000$	$-6,13 \pm 0,057$	$15,48 \pm 0,025$
16	CB	140	0,8	1,85	$17,41 \pm 0,055$	$-8,80 \pm 0,021$	$16,88 \pm 0,032$

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em que: n.a. significa não se aplica; SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios \pm desvio padrão das análises em triplicatas.

Diante dos resultados descritos na Tabela 5, observa-se que, de modo geral, a luminosidade (parâmetro L*) das folhas frescas branqueadas foi maior que o valor das folhas frescas sem tratamento. Essas diferenças também foram observadas nos produtos em pó, em que a luminosidade dos pós de hortelã sem branqueamento variou de 11,62 a 15,13, enquanto a luminosidade dos pós branqueados variou de 13,75 a 18,53. Lembrando que quanto maior esse valor, mais claro o produto.

Outro aspecto importante da cor para esse tipo de produto é o parâmetro b*, que pode indicar o amarelecimento das amostras. Esse parâmetro variou de 13,13 a 16,40 para as amostras sem branqueamento e de 14,54 a 16,88 para as amostras com branqueamento, sendo que quanto mais positivo esse parâmetro mais, amarelada a amostra. Obviamente que se deve analisar esse parâmetro conjuntamente com o parâmetro a*, que, quanto mais negativo mais próximo do verde. Nesse caso, para os pós sem branqueamento o valor observado do parâmetro a* no Experimento 1 de -1,79 (realizado em condições de secagem de temperatura de 100°C, vazão de alimentação 0,40 L·h⁻¹e vazão do ar de secagem de 1,60 m³·min⁻¹), apresentou menor intensidade em relação aos demais experimentos sem branqueamento, e a maior intensidade do parâmetro a* foi observada no Experimento 4 com valor de -3,97 (em condições de secagem de temperatura de 100°C, vazão de alimentação 0,80 L·h⁻¹e vazão do ar de secagem de 1,85 m³·min⁻¹). Para os pós com branqueamento, o maior valor foi de -4,92 no Experimento 10 (nas condições de secagem de temperatura de 100°C, vazão de alimentação 0,40 L·h⁻¹, vazão do ar de secagem de 1,85 m³·min⁻¹) e o menor valor foi no Experimento 16 de -8,80 (em condições de secagem de temperatura de 140°C, vazão de alimentação 0,80 L·h⁻¹, vazão do ar de secagem de 1,85 m³·min⁻¹).

O aumento nos valores dos parâmetros de cor, indica que os pós com branqueamento apresentaram maior luminosidade e tenderam mais à cor verde, ou seja, coloração mais clara e verde mais intenso, conforme pode ser observado na Figura 7, em que a ilustração (a) se refere as folhas frescas sem branqueamento, a (b) ao Experimento 8 e a ilustração (c) ao Experimento 16, sendo ambos os experimentos nas mesmas condições de secagem (temperatura de 140°C, vazão de alimentação 0,80 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,85 m³·min⁻¹). Dessa maneira, evidencia-se o efeito benéfico do branqueamento, pelo menos com relação à coloração verde. Essa redução na intensidade da cor verde nos pós em relação às folhas provavelmente se deu devido à sua exposição a elevadas temperaturas, que

provavelmente auxiliaram na degradação da clorofila, resultando em pós com cores verdes menos intensas.

Figura 7 – a) Folhas de hortelã frescas antes do processo de branqueamento e b) pós obtidos, após processo de secagem por *spray drying*, sem branqueamento (experimento 8) e c) pós obtidos após processo de secagem por *spray drying*, com branqueamento, (experimento 16).



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Durante a secagem, devido à exposição ao calor, as moléculas de magnésio são alteradas em feofitinas, portanto em temperaturas mais altas, a cor verde é reduzida, devido à degradação da clorofila (ALI et al., 2014). Segundo Lefebvre et al. (2020) temperaturas elevadas durante a secagem podem promover a degradação de clorofila pela reação de feofitinização, em que o magnésio do centro da molécula de clorofila é substituído por hidrogênio, levando à formação de compostos de feofitinas.

Therdthai; Zhou (2009) analisaram a cor das folhas de hortelã frescas e obtiveram resultados dos parâmetros de L^* de $35,39 \pm 1,36$, a^* de $-10,23 \pm 0,88$, e b^* de $26,92 \pm 1,01$. Após a secagem em micro-ondas a vácuo das folhas de hortelã, os autores relataram o aumento da luminosidade e o aspecto amarelado e justificaram os resultados em relação à possível degradação dos pigmentos de clorofila das folhas.

Como o parâmetro a^* está relacionado à cor característica da hortelã, realizou-se uma regressão múltipla para a estimativa dos efeitos das variáveis neste parâmetro, considerando-se um nível de significância de 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 6 e o coeficiente de determinação (R^2) da regressão foi de 0,9457.

Tabela 6- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para parâmetro a*.

Fator	Efeito	Valor de p
BI	-3,692	0,000
AF	-0,785	0,071
BI × Te	-0,715	0,094
FF × AF	-0,835	0,058

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que FF corresponde à vazão de alimentação ($L \cdot h^{-1}$), AF à vazão do ar de secagem ($m^3 \cdot min^{-1}$), BI ao tratamento térmico e Te à temperatura ($^{\circ}C$).

Os efeitos estimados na Tabela 6 mostraram que, na faixa experimental estudada, o parâmetro a^* foi mais fortemente afetado pela variável branqueamento, de forma isolada. O sinal negativo deste efeito, e o fato de ele ser significativamente maior (em módulo) que o efeito dessa variável na forma de interação, permitem afirmar que ao submeter a amostra ao branqueamento, a secagem produziu pós com menor valor do parâmetro a^* , conduzindo a pós mais verdes. As demais variáveis também apresentaram efeitos significativos seja individualmente (caso da vazão do ar de secagem) ou na forma de interação (caso da temperatura do ar de secagem e da vazão de alimentação). Com uma vazão do ar de secagem elevada, as gotículas formadas pela atomização são mantidas expostas ao calor (alta temperatura do ar de secagem) por um período mais curto, levando, portanto, a uma menor perda da coloração característica.

2.3.1.3 Determinação da concentração de clorofila total

Os resultados da concentração de clorofila total dos pós das folhas de hortelã com e sem branqueamento obtidos no processo da secagem, de acordo com os experimentos do planejamento experimental, podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7- Resultados da concentração de clorofila total dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Clorofila total mg·100 g ⁻¹ (b.s.)
		T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
Folha hortelã fresca	SB	n.a.	n.a.	n.a.	988,72 ± 9,860
1	SB	100	0,4	1,60	783,37 ± 2,144
2	SB	100	0,4	1,85	908,96 ± 3,709
3	SB	100	0,8	1,60	643,42 ± 2,786
4	SB	100	0,8	1,85	750,62 ± 5,597
5	SB	140	0,4	1,60	687,14 ± 1,321
6	SB	140	0,4	1,85	618,74 ± 0,490
7	SB	140	0,8	1,60	812,54 ± 0,186
8	SB	140	0,8	1,85	424,48 ± 1,963
Folha hortelã fresca	CB	n.a.	n.a.	n.a.	1344,44 ± 7,208
9	CB	100	0,4	1,60	1035,21 ± 2,968
10	CB	100	0,4	1,85	986,47 ± 0,022
11	CB	100	0,8	1,60	835,36 ± 0,540
12	CB	100	0,8	1,85	742,86 ± 0,578
13	CB	140	0,4	1,60	935,32 ± 1,117
14	CB	140	0,4	1,85	788,39 ± 0,332
15	CB	140	0,8	1,60	886,27 ± 0,354
16	CB	140	0,8	1,85	757,46 ± 0,569

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Em que: n.a. significa não se aplica; SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. Significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

De acordo com os resultados na Tabela 7, observa-se que o valor de clorofila total das folhas de hortelã frescas sem tratamento térmico foi em média de 988,72 mg·100 g⁻¹ enquanto nas folhas de hortelã frescas após tratamento térmico foi em média de 1344,44 mg·100 g⁻¹. Cabe ressaltar que o maior valor observado para esse composto na amostra branqueada provavelmente esteja relacionado à inativação das enzimas como a clorofilase devido ao tratamento térmico, havendo a conservação e retenção dos pigmentos de clorofila presentes. O aumento do teor de compostos bioativos durante o branqueamento pode ser atribuído à destruição térmica de células que liberam os compostos antioxidantes e à inativação de enzimas (YAMAGUCHI et al., 2001).

Uribe et al. (2016) notaram valores de clorofila total das folhas de hortelã (*Mentha piperita L.*) frescas de $63,48 \pm 0,23 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (b.s.). O valor da clorofila total das folhas de hortelã frescas, exposto na Tabela 12, foi superior ao resultado para as folhas de hortelã frescas apresentados por Uribe et al. (2016), e acredita-se que seja devido a fatores como a variação da espécie, o meio de cultivo, grau de maturação e armazenamento pós-colheita.

Nota-se na Tabela 7, que os valores em geral da clorofila total para os pós com e sem branqueamento foram inferiores ao estimado para as folhas de hortelã frescas com e sem branqueamento. Por se tratar de um pigmento instável principalmente quando exposto a altas temperaturas, há possibilidade da degradação dos pigmentos de clorofila. Segundo Lahnine et al. (2016), no processo de secagem pode ocorrer degradação dos compostos ativos de plantas aromáticas com o aumento da temperatura.

O maior valor encontrado de clorofila total para os pós de hortelã sem tratamento térmico foi de $908,96 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ no experimento 2, e o menor valor encontrado foi de $424,48 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, no Experimento 8. Possivelmente tais valores foram influenciados pela temperatura e vazão de alimentação adotadas 100°C e 140°C e $0,40$ e $0,80 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente, nos quais somente a vazão do ar de secagem ($1,85 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) foi similar nos dois experimentos.

Em relação aos resultados da clorofila total para os pós de hortelã com tratamento térmico, o maior valor encontrado foi de $1035,21 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ no experimento 9, e o menor valor foi de $742,86 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ no experimento 12. As variáveis adotadas foram vazão de alimentação $0,40$ e $0,80 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ e vazão do ar de secagem $1,60$ e $1,85 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente, sendo a temperatura 100°C , similar em ambos os experimentos.

Nota-se que temperaturas e vazões de alimentação baixas contribuem para uma menor redução da clorofila total. Segundo Braga et al. (2019) vazões de alimentação baixas produzem gotículas de menor tamanho. Portanto, quando é adotada uma baixa vazão de alimentação há formação de gotículas menores e, consequentemente, tem-se maior área superficial de contato. Assim, uma baixa vazão de alimentação associada a menores temperaturas resulta em uma menor degradação térmica dos pigmentos de clorofila.

Kripanand; Guruguntla; Korra (2015) que realizaram secagem da hortelã *Mentha spicata L.* por diferentes métodos, obtiveram resultados de clorofila total de

430 mg·100 g⁻¹ (em secador de bandeja à temperatura de 55°C) e por secagem em micro-ondas obtiveram resultados de clorofila total de 67 mg·100 g⁻¹. Os valores de clorofila total, para os pós das folhas de hortelã com e sem branqueamento, encontrados no trabalho são elevados em comparação aos da literatura. Tais diferenças podem ter ocorrido devido a vários fatores como preparo da amostra, processo de secagem, e temperatura do ar de secagem, aos quais as folhas de hortelã foram submetidas, podendo alterar a concentração de certos compostos específicos.

Realizou-se uma regressão múltipla para os resultados de clorofila total dos pós de hortelã, sendo que foram desconsiderados os parâmetros que apresentaram p-valor maior que 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 8 e o coeficiente de determinação (R^2) de regressão foi de 0,9970.

Tabela 8- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para concentração de clorofila total.

Fator	Efeito	Valor de p
BI	194,924	0,001
Te	-154,152	0,001
FF	-212,906	0,001
AF	-54,778	0,019
BI x Te	96,038	0,006
BI x FF	82,046	0,015
BI x AF	-49,468	0,025
Te x FF	90,870	0,007
Te x AF	-43,446	0,031

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que *BI* corresponde ao tratamento térmico, *Te* à temperatura (°C), *FF* à vazão de alimentação (L·h⁻¹) e *AF* à vazão do ar de secagem (m³·min⁻¹).

Na Tabela 8 pode ser evidenciado que, seja por termo isolado ou por meio de interação, todas as variáveis afetaram a clorofila total dos pós de forma significativa (na faixa experimental estudada), sendo que o fator vazão de alimentação apresentou maior efeito em módulo. Pelos sinais dos efeitos significativos de forma isolada e pelos seus valores elevados (ainda que exista efeito de interação), nota-se uma tendência

de valores maiores da clorofila total dos pós ao realizar o branqueamento e com a diminuição da temperatura e da vazão de alimentação. Vale destacar que essa observação considera que os efeitos dessas três variáveis foram significativamente maiores para o efeito principal quando comparado aos termos de interação.

Diante do exposto, as amostras com branqueamento tiveram uma maior tendência de retenção dos pigmentos de clorofila e quando adotadas temperaturas de entrada baixas associadas a vazões de alimentação baixas, nos experimentos com e sem tratamento térmico, notam-se elevados teores de clorofila total.

2.3.1.4 Determinação da concentração de carotenoides

Na Tabela 9 estão dispostos os resultados da concentração de carotenoides dos pós das folhas de hortelã com e sem branqueamento, produzidos no *spray dryer*, de acordo com os experimentos do planejamento experimental. Observa-se que o valor da concentração de carotenoides das folhas de hortelã frescas sem tratamento térmico foi em média de $126,56 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Após tratamento térmico das folhas de hortelã frescas, o valor obtido foi, em média, de $225,68 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. O maior valor observado nas folhas branqueadas está relacionado, possivelmente, ao fato de que o branqueamento das folhas de hortelã tenha proporcionado a inativação das enzimas peroxidases, preservando, assim, os pigmentos de carotenoides.

Curutchet et al. (2014) em estudo com folhas de hortelã frescas *Mentha spicata* L., encontraram valor de carotenoides de $6,9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. O valor de carotenoides das folhas de hortelã frescas, apresentado na Tabela 9 foi superior ao resultado para as folhas de hortelã frescas encontrados na literatura. As plantas mesmo sendo da mesma espécie podem ter variação qualitativa ou quantitativamente em relação aos seus compostos bioativos, e essa variação pode ser devido às condições do solo, clima, meio de cultivo e armazenamento pós-colheita. Curutchet et al. (2014) observaram que após 21 dias de armazenamento os teores de carotenoides nas folhas de *Mentha spicata* L. aumentaram 15% em relação aos teores analisados no primeiro dia de armazenamento, e concluíram que o aumento pode ter sido também devido à variabilidade da amostra.

Tabela 9- Resultados da concentração de carotenoides dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Carotenoides mg·100 g ⁻¹ (b.s.)
		T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
Folha hortelã fresca	SB	n.a.	n.a.	n.a.	126,56 ± 0,354
1	SB	100	0,4	1,60	31,49 ± 0,869
2	SB	100	0,4	1,85	28,67 ± 0,570
3	SB	100	0,8	1,60	18,84 ± 0,294
4	SB	100	0,8	1,85	25,83 ± 0,467
5	SB	140	0,4	1,60	20,02 ± 0,415
6	SB	140	0,4	1,85	17,96 ± 0,355
7	SB	140	0,8	1,60	31,73 ± 0,707
8	SB	140	0,8	1,85	17,52 ± 0,160
Folha hortelã fresca	CB	n.a.	n.a.	n.a.	225,68 ± 2,904
9	CB	100	0,4	1,60	35,99 ± 0,062
10	CB	100	0,4	1,85	29,87 ± 0,089
11	CB	100	0,8	1,60	33,98 ± 0,105
12	CB	100	0,8	1,85	24,18 ± 0,148
13	CB	140	0,4	1,60	29,08 ± 0,063
14	CB	140	0,4	1,85	24,24 ± 0,157
15	CB	140	0,8	1,60	26,02 ± 0,176
16	CB	140	0,8	1,85	23,58 ± 0,058

Fonte: Elaborado pela autora, (2021).

Em que: n.a. significa não se aplica; SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

De acordo com os resultados na Tabela 9, os valores da concentração de carotenoides para os pós com e sem branqueamento foram inferiores ao estimado para as folhas de hortelã frescas com e sem branqueamento. Possivelmente durante o processo de secagem a amostra ao ser submetida a altas temperaturas, sofreu degradação térmica dos pigmentos. Chuyen et al. (2019) relataram que houve a degradação de carotenoides do melão (*Momordica cochinchinensis Spreng.*) devido à exposição a altas temperaturas durante a secagem em spray dryer.

O maior valor encontrado da concentração de carotenoides para os pós de hortelã sem branqueamento foi de 31,73 mg·100 g⁻¹ no Experimento 7, e o menor valor encontrado foi de 17,52 mg·100 g⁻¹, no Experimento 8. As condições de processo adotadas nos dois experimentos foram similares (temperatura a 140°C e vazão de

alimentação de $0,80 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$), com exceção à vazão do ar de secagem, que foi de 1,60 e $1,85 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente.

Conforme os resultados na Tabela 9 da concentração de carotenoides para os pós de hortelã com branqueamento, o maior valor encontrado foi de $35,99 \text{ mg}\cdot100 \text{ g}^{-1}$ no Experimento 9, e o menor valor foi de $23,58 \text{ mg}\cdot100 \text{ g}^{-1}$ no Experimento 16. Sendo as condições adotadas nos experimentos, temperatura de 100° e 140°C , vazão de alimentação de 0,40 e $0,80 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ e vazão do ar de secagem de 1,60 e $1,85 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente.

Observa-se que quando adotadas elevadas temperaturas e a vazão do ar de secagem alta, houve a diminuição da concentração de carotenoides dos pós, também em associação à alta vazão de alimentação. Com a alta vazão de alimentação há formação de gotículas maiores, por consequência uma menor área superficial de contato. Assim, com uma alta vazão do ar de secagem têm-se um maior fornecimento de ar durante a secagem, ou seja, maior quantidade de ar em contato com as gotículas, logo associada a altas temperaturas resulta em uma maior degradação térmica dos teores de carotenoides.

Kripanand; Guruguntla; Korra (2015) que realizaram a secagem em micro-ondas da hortelã *Mentha spicata* L., obtiveram resultado de carotenoides de $68,13 \text{ mg}\cdot100 \text{ g}^{-1}$. Os valores da concentração de carotenoides, para os pós das folhas de hortelã com e sem branqueamento encontrados no trabalho são inferiores, comparado aos autores Kripanand; Guruguntla; Korra (2015), o que pode estar relacionado ao processo e às condições adotadas (diferentes daquelas da literatura).

A partir dos resultados de carotenoides dos pós de hortelã, realizou-se uma regressão múltipla, considerando um nível de significância de 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 10 e o coeficiente de determinação (R^2) de regressão foi de 0,9198.

Tabela 10- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para concentração de carotenoides.

Fator	Efeito	Valor de p
BI	3,819	0,019
Te	-8,170	0,000
AF	-4,672	0,006
BI × Te	2,894	0,054

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que *AF* corresponde à vazão do ar de secagem ($m^3 \cdot min^{-1}$), *BI* ao tratamento térmico e *Te* à temperatura (°C).

Por meio dos efeitos estimados, observa-se que o branqueamento apresentou efeito significativo na forma isolada e por interação com a temperatura. No que diz respeito à influência de temperatura (efeito principal muito maior em comparação ao de interação) e vazão do ar de secagem (sem efeito de interação significativo), os sinais negativos dos efeitos dessas variáveis em sua forma isolada indicam que os carotenoides tenham tendido a diminuir com a mudança do menor para o maior nível. Sendo que o fator que afetou mais fortemente os carotenoides, e de forma negativa, foi a temperatura. Assim nota-se uma tendência de diminuição dos carotenoides em altas temperaturas associadas a vazões do ar de secagem altas.

Portanto, quando houve exposição do produto ao calor e vazões do ar de secagem baixas nos experimentos com e sem tratamento térmico observaram-se elevados teores de carotenoides, além disso o branqueamento conduziu a pós com altos teores de carotenoides.

2.3.1.5 Determinação da concentração de fenólicos totais

O teor dos compostos fenólicos totais (TPC) encontrados nas folhas frescas com e sem o processo de branqueamento e dos pós de hortelã obtidos no processo de secagem em *spray dryer*, estão apresentados na Tabela 11. Observa-se que o valor de fenólicos totais das folhas de hortelã frescas sem tratamento térmico foi em média de $1509,99 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, enquanto as folhas de hortelã frescas que foram branqueadas apresentaram o valor em média de $20956,25 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Ressaltando que esse maior valor observado, assim como nos demais compostos bioativos já mencionados, esteja provavelmente relacionado ao processo de branqueamento

proporcionar a inativação das enzimas polifenoloxidases, assim conservando e retendo os compostos fenólicos. Segundo Xu et al. (2007) o branqueamento pode causar mudanças estruturais nos tecidos das plantas, como ruptura das membranas celulares, isso pode melhorar na extração de compostos bioativos.

Tabela 11- Resultados da concentração de fenólicos totais dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Fenólicos mg ác. gálico·100 g ⁻¹ (b.s.)
		T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
Folha hortelã fresca	SB	n.a.	n.a.	n.a.	1509,99 ± 236,003
1	SB	100	0,4	1,60	12476,99 ± 1063,736
2	SB	100	0,4	1,85	19262,28 ± 4669,267
3	SB	100	0,8	1,60	11656,95 ± 63,560
4	SB	100	0,8	1,85	18555,99 ± 751,255
5	SB	140	0,4	1,60	15311,69 ± 311,974
6	SB	140	0,4	1,85	15960,53 ± 617,667
7	SB	140	0,8	1,60	19490,37 ± 249,557
8	SB	140	0,8	1,85	22063,80 ± 554,866
Folha hortelã fresca	CB	n.a.	n.a.	n.a.	20956,25 ± 2001,147
9	CB	100	0,4	1,60	39186,19 ± 1418,449
10	CB	100	0,4	1,85	33096,56 ± 870,308
11	CB	100	0,8	1,60	18584,23 ± 618,649
12	CB	100	0,8	1,85	40253,99 ± 124,164
13	CB	140	0,4	1,60	36374,79 ± 2233,104
14	CB	140	0,4	1,85	26429,14 ± 1180,427
15	CB	140	0,8	1,60	24842,71 ± 562,618
16	CB	140	0,8	1,85	29486,70 ± 1939,091

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Em que: n.a. significa não se aplica; SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

De acordo com os resultados na Tabela 11, os valores de TPC para os pós com e sem branqueamento foram elevados comparados aos das folhas de hortelã frescas com e sem branqueamento, porém não se pode afirmar que os pós possuem maiores teores de fenólicos, mas que houve uma melhor extração dos compostos fenólicos no material seco. Segundo Dawidowicz; Wianowska; Olszowy (2012), água é um constituinte permanente das plantas, por isso sua presença nos extratos pode

influenciar na avaliação dos compostos bioativos. Portanto, ao submeter a amostra ao processo de secagem o teor de umidade é reduzido, facilitando assim a extração dos fenólicos.

Braga; Vieira; de Oliveira (2018) secaram folhas de açafrão por diferentes métodos, posteriormente notaram que os teores dos compostos fenólicos das folhas secas foram superiores aos das folhas frescas, devido à concentração dos compostos fenólicos por remoção da água; entretanto, na base seca os teores de fenólicos das folhas secas foram inferiores aos das folhas frescas.

Conforme os resultados na Tabela 11, o maior valor encontrado de TPC para os pós de hortelã sem branqueamento foi de 22063,80 mg·100 g⁻¹ no Experimento 8, e o menor valor encontrado foi de 11656,95 mg·100 g⁻¹, no Experimento 3. As variáveis adotadas nos experimentos foram de temperatura a 140° e 100°C, vazão do ar de secagem 1,85 e 1,60 m³·min⁻¹, respectivamente, e em ambos os experimentos a vazão de alimentação foi similar de 0,80 L·h⁻¹. Para os pós de hortelã com branqueamento, o maior valor encontrado foi de 40253,99 mg·100 g⁻¹ no Experimento 12, e o menor valor foi de 18584,23 mg·100 g⁻¹ no Experimento 11. Sendo as variáveis adotadas nos dois experimentos foram similares (temperatura a 100°C e vazão de alimentação de 0,80 L·h⁻¹), com exceção à vazão do ar de secagem, que foi de 1,85 e 1,60 m³·min⁻¹, respectivamente.

Nota-se que quando adotadas alta vazão de alimentação e alta vazão do ar de secagem, houve o aumento da concentração de fenólicos totais dos pós sem e com branqueamento. Com vazão de alimentação alta há formação de gotículas maiores e, consequentemente, uma menor área de contato; com a alta vazão do ar de secagem têm-se maior quantidade de ar em contato com as gotículas e assim, com as amostras expostas ao calor em menor tempo de secagem, há uma menor degradação térmica dos teores de fenólicos totais.

Kripanand; Guruguntla; Korra (2015), que realizaram a secagem de folhas de hortelã *Mentha spicata* L. em secador de bandejas, obtiveram maiores teores de compostos fenólicos na temperatura de 45°C, com valor de 7188 mg·100 g⁻¹. Observa-se que os valores de TPC encontrados neste estudo são superiores aos da literatura revisada, apesar de serem processos e condições diferentes adotados, este fato também pode ser relacionado à eficiência de extração dos compostos fenólicos.

Diante dos resultados de fenólicos totais dos pós de hortelã, realizou-se uma regressão múltipla, sendo considerados na determinação dos parâmetros

significativos um nível de significância de 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 12 e o coeficiente de determinação (R^2) de regressão foi de 0,9696.

Tabela 12- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para concentração de fenólicos totais.

Fator	Efeito	Valor de p
BI	14599,88	0,000
AF	12564,12	0,001
BI × FF	-6512,92	0,024
BI × Te	-4660,48	0,050
BI × AF	-9994,50	0,004
FF × AF	11620,42	0,002
Te × AF	-6221,32	0,018

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que *BI* corresponde ao tratamento térmico, *Te* à temperatura ($^{\circ}\text{C}$), *FF* à vazão de alimentação ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$) e *AF* à vazão do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Na Tabela 12 pode ser evidenciado que, seja por termo isolado ou por meio de interação, todas as variáveis afetaram os fenólicos totais dos pós de forma significativa, sendo que o fator branqueamento, por meio de seu efeito principal, apresentou maior efeito. Considerando os significativos efeitos de interação, não se pode afirmar que devido ao sinal positivo dos efeitos principais, a passagem do nível inferior (-1) para o superior (+1) das variáveis branqueamento e vazão do ar de secagem conduz a uma elevação dos valores de fenólicos totais. Porém, verifica-se que a combinação de realização de branqueamento com a operação em uma vazão de ar de secagem elevada resultou em maiores valores de fólicos totais. A vazão de alimentação apresentou efeito somente na forma de interação, mesmo assim influenciou nos compostos fenólicos dos pós.

Assim, quando associadas a vazão de alimentação e vazão do ar de secagem altas nos experimentos com e sem tratamento térmico, notam-se elevados teores de fenólicos totais.

2.3.1.6 Higroscopicidade

Como visto anteriormente (seção 1.1.9.1), a higroscopicidade é uma medida da capacidade de adsorção de água das partículas secas quando expostas ao ambiente e que relaciona à retenção desta umidade pelo produto. Na Tabela 13 são apresentados os valores da higroscopicidade dos pós de hortelã obtidos no processo de secagem das folhas frescas com e sem branqueamento, de acordo com os experimentos do planejamento experimental.

Tabela 13- Resultados da caracterização da higroscopicidade dos pós de hortelã obtidos por *spray drying* com e sem o processo de branqueamento.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Higroscopicidade (%)
		T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
1	SB	100	0,4	1,60	14,72 ± 0,030
2	SB	100	0,4	1,85	18,76 ± 2,146
3	SB	100	0,8	1,60	16,66 ± 0,226
4	SB	100	0,8	1,85	17,24 ± 0,397
5	SB	140	0,4	1,60	20,16 ± 0,472
6	SB	140	0,4	1,85	17,85 ± 0,682
7	SB	140	0,8	1,60	27,88 ± 0,403
8	SB	140	0,8	1,85	22,11 ± 1,584
9	CB	100	0,4	1,60	9,81 ± 0,464
10	CB	100	0,4	1,85	11,44 ± 0,255
11	CB	100	0,8	1,60	24,91 ± 1,343
12	CB	100	0,8	1,85	21,66 ± 4,302
13	CB	140	0,4	1,60	24,98 ± 1,958
14	CB	140	0,4	1,85	16,07 ± 0,959
15	CB	140	0,8	1,60	15,66 ± 0,490
16	CB	140	0,8	1,85	21,66 ± 0,368

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em que: SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

Perante os resultados mostrados na Tabela 13, pode ser notado que o menor valor de higroscopicidade sem tratamento térmico foi no Experimento 1 com 14,72%, enquanto o maior valor foi de 27,88%, observado no Experimento 7. Os resultados para tratamento térmico apresentaram menor valor no Experimento 9 com 9,81%, e maior valor de 24,98% no Experimento 13.

O menor valor de higroscopicidade para os pós com e sem branqueamento (Experimento 9 e 1, respectivamente) possivelmente foi resultado da menor vazão de

alimentação da solução adotada de $0,40 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, associado com a temperatura baixa. Isto pode ser evidenciado pois, quando comparados aos Experimentos 7 e 15 em que os pós foram mais higroscópicos mantendo a vazão do ar de secagem em $1,60 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, mas aumentando-se temperatura e vazão de alimentação (temperatura de 140°C e vazão de alimentação de $0,80 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$).

Observa-se que temperaturas e vazões de alimentação baixas contribuem para pós menos higroscópicos, seja com ou sem branqueamento. Quando adotada vazão de alimentação baixa há formação de gotículas menores e, consequentemente, uma maior área de contato. Portanto, quando a baixa vazão de alimentação é associada a temperaturas baixas, há uma menor taxa de evaporação, com tendência do gradiente menor para adsorção de umidade, levando a um material particulado menos higroscópico.

Na higroscopicidade dos pós de hortelã foi realizada regressão múltipla, sendo que foram considerados os parâmetros que apresentaram um nível de significância de 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 14. O coeficiente de determinação (R^2) de regressão de 0,9100.

Tabela 14- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para higroscopicidade.

Fator	Efeito	Valor de p
Te	6,522	0,005
FF	6,874	0,004
AF	-3,624	0,045
BI × FF	3,774	0,039
BI × AF	-2,759	0,098
Te × AF	-4,374	0,024

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que *FF* corresponde à vazão de alimentação ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$), *AF* à vazão do ar de secagem ($\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$), *BI* ao tratamento térmico e *Te* à temperatura ($^\circ\text{C}$).

Por meio dos efeitos estimados na Tabela 14, nota-se que os fatores que afetaram mais fortemente esta resposta foram a vazão de alimentação da suspensão

e a temperatura do ar de secagem de forma isolada. O branqueamento teve efeito significativo somente na forma de interação, mas ainda assim afetou a resposta.

De acordo com Santhalakshmy et al. (2015) a temperatura de entrada de secagem influenciou consideravelmente a higroscopicidade do pó do suco de jamelão obtido pelo processo de secagem em *spray dryer*, em que as amostras submetidas à vazão de alimentação de $0,60 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ e à temperatura mais alta de 160°C , foram mais higroscópicas com valores de 25,33% em relação às outras amostras secas com temperaturas mais baixas ($140, 145, 150$ e 155°C).

Dadi et al. (2020) notaram higroscopicidade de 19,17% para pós produzidos de folhas da árvore *Moringa stenopetala* em *spray dryer*, com temperaturas de entrada do ar de secagem de 140°C e vazão de alimentação de $0,485 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$.

2.3.1.7 Densidade *bulk*

A densidade *bulk* de um material em pó, apesar de não ser uma propriedade intrínseca, é uma medida importante pois é uma indicação do volume ocupado pelo pó, o que implica em aspectos econômicos de embalagem, além de propriedades físicas como fluidez e características de instantaneização do produto (CÓRDOBA; GOYANES, 2017).

Os resultados de densidade *bulk* dos pós das folhas de hortelã com e sem branqueamento obtidos no processo da secagem, de acordo com os experimentos do planejamento experimental, podem ser observados na Tabela 15. Em geral, os resultados de densidade *bulk* para os pós de hortelã sem tratamento térmico se mostraram próximos entre si, com valores variando de $0,46$ a $0,53 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. O maior valor de densidade *bulk* foi encontrado no Experimento 2, e as condições operacionais foram temperatura 100°C , vazão de alimentação $0,40 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ e vazão do ar de secagem $1,85 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, enquanto os menores valores de densidade *bulk* foram encontrados nos experimentos 3, 4 e 5, cujas condições foram: temperatura de $100, 100$ e 140°C ; vazão de alimentação $0,80; 0,80$ e $0,40 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$; e vazão do ar de secagem $1,60; 1,85$ e $1,60 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente.

Tabela 15- Resultados da caracterização de densidade *bulk* dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Densidade <i>bulk</i> (g.cm ⁻³)
		T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
1	SB	100	0,4	1,60	0,49 ± 0,005
2	SB	100	0,4	1,85	0,53 ± 0,018
3	SB	100	0,8	1,60	0,46 ± 0,000
4	SB	100	0,8	1,85	0,46 ± 0,000
5	SB	140	0,4	1,60	0,46 ± 0,000
6	SB	140	0,4	1,85	0,48 ± 0,007
7	SB	140	0,8	1,60	0,50 ± 0,013
8	SB	140	0,8	1,85	0,51 ± 0,022
9	CB	100	0,4	1,60	0,59 ± 0,013
10	CB	100	0,4	1,85	0,53 ± 0,006
11	CB	100	0,8	1,60	0,54 ± 0,013
12	CB	100	0,8	1,85	0,53 ± 0,005
13	CB	140	0,4	1,60	0,48 ± 0,085
14	CB	140	0,4	1,85	0,51 ± 0,013
15	CB	140	0,8	1,60	0,49 ± 0,052
16	CB	140	0,8	1,85	0,51 ± 0,021

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em que: SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

Podem ser observados na Tabela 15 os resultados de densidade *bulk* para os pós de hortelã com tratamento térmico, com valores variando de 0,48 a 0,59 g.cm⁻³. O maior valor de densidade *bulk* foi de 0,59 g.cm⁻³ evidenciado no Experimento 9, e o menor valor encontrado foi de 0,48 g.cm⁻³ no Experimento 13, as condições operacionais adotadas foram vazão de alimentação de 0,40 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,60 m³·min⁻¹ em ambos os experimentos, e a temperatura de 100°C e 140°C nos experimentos 9 e 13, respectivamente.

Nota-se que quando adotadas temperaturas baixas, os valores de densidade *bulk* dos pós sem e com branqueamento aumentaram. Assim, em temperaturas baixas a taxa de evaporação desacelera, e o material particulado se torna menos poroso, aumentando assim a densidade *bulk*.

Realizou-se também uma regressão múltipla nos resultados de densidade *bulk* dos pós de hortelã, considerando os parâmetros que apresentaram um nível de significância de 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t* de Student foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos

significativos encontram-se na Tabela 16 e o coeficiente de determinação (R^2) de regressão foi de 0,8141.

Tabela 16- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para densidade *bulk*.

Fator	Efeito	Valor de p
BI	0,036	0,038
Te	-0,024	0,092
BI × Te	-0,026	0,090
Te × FF	0,029	0,078

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que *FF* corresponde à vazão de alimentação ($L \cdot h^{-1}$), *BI* ao tratamento térmico e *Te* à temperatura ($^{\circ}C$).

Na Tabela 16 pode ser evidenciado que, seja por termo isolado ou por meio de interação, com exceção à vazão do ar de secagem, as demais variáveis afetaram a densidade *bulk* dos pós de forma significativa (na faixa experimental estudada), sendo que o fator branqueamento apresentou maior efeito. Santhalakshmy et al. (2015) estudaram o efeito das temperaturas de entrada nas propriedades físico-químicas do suco de jamelão em pó seco por *spray drying*, em que adotaram a maior temperatura de entrada de 160°C e observaram menores valores de densidade *bulk* de 0,25 g·cm⁻³. Segundo os autores, quanto mais baixa a densidade *bulk*, mais ar ocluído dentro dos pós, e maior a possibilidade de oxidação do produto, reduzindo a estabilidade de armazenamento.

Jafari; Ghalegi Ghalenoei; Dehnad (2017), analisando a influência da secagem por *spray drying* dos sucos de romã em pó na densidade *bulk*, e temperatura de entrada mais elevada de 143°C, obtiveram resultados de densidade de 0,747 g·cm⁻³, sendo este o menor valor encontrado, concluindo que o aumento da temperatura de entrada da secagem diminui a densidade *bulk*. Em relação ao efeito da temperatura na densidade, os autores retratam que o aumento da temperatura diminui a densidade, pois acelera a taxa de evaporação, originando um produto mais poroso e fragmentado.

Do mesmo modo, nota-se que os menores valores de densidade *bulk* nos resultados dos experimentos sem e com tratamento térmico, foram obtidos quando adotadas temperaturas de entrada elevadas, condizendo assim com a literatura.

2.3.1.8 Rendimento

Na secagem por *spray drying* o rendimento depende do produto que está sendo seco e das condições de processo empregadas, e é uma análise que deve ser realizada com cautela, uma vez que o equipamento opera em batelada. Esses valores possivelmente se alteram positivamente quando o *spray dryer* opera em regime contínuo e, portanto, entra em estado estacionário. Na Tabela 17 estão apresentados os resultados do rendimento da secagem em *spray dryer*, dos pós obtidos a partir das folhas frescas com e sem o branqueamento.

Tabela 17- Resultados do rendimento dos pós das folhas de hortelã, com e sem o processo de branqueamento, obtidos pelo processo de *spray drying*.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Rendimento (%)
		T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
1	SB	100	0,4	1,60	48,90 ± 0,813
2	SB	100	0,4	1,85	46,44 ± 0,229
3	SB	100	0,8	1,60	40,93 ± 0,428
4	SB	100	0,8	1,85	48,47 ± 0,107
5	SB	140	0,4	1,60	45,98 ± 0,417
6	SB	140	0,4	1,85	60,62 ± 0,292
7	SB	140	0,8	1,60	53,19 ± 0,512
8	SB	140	0,8	1,85	53,68 ± 0,137
9	CB	100	0,4	1,60	45,86 ± 0,354
10	CB	100	0,4	1,85	41,37 ± 0,578
11	CB	100	0,8	1,60	50,24 ± 0,155
12	CB	100	0,8	1,85	43,33 ± 0,258
13	CB	140	0,4	1,60	48,53 ± 3,840
14	CB	140	0,4	1,85	47,75 ± 0,667
15	CB	140	0,8	1,60	39,95 ± 0,297
16	CB	140	0,8	1,85	46,26 ± 0,174

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em que: SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

O menor valor de rendimento para os pós sem branqueamento foi de 40,93%, observado no Experimento 3; possivelmente o menor rendimento nesse experimento em relação aos demais foi resultado da alta vazão de alimentação da solução empregada de 0,80 L·h⁻¹, associado com a temperatura baixa. Isto pode ser evidenciado pois, quando comparado ao Experimento 1 (48,90%), em que as demais condições do processo foram similares nos dois experimentos (temperatura de 100°C

e vazão do ar de secagem de $1,60 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), mas a vazão de alimentação foi inferior, de $0,40 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$. O maior rendimento do pó de hortelã foi de 60,62% no experimento 6, este fato ocorreu pela associação da maior temperatura de ar de secagem (140°C) com a menor vazão de alimentação ($0,40 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$). É possível obter maior rendimento associando-se temperaturas de entrada elevadas a vazões de alimentação baixas; tal situação torna-se mais evidente quando se analisa o valor de rendimento obtido no Experimento 4 (48,47%), em que as condições de processo foram vazão de alimentação de $0,80 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, a temperatura foi de 100°C , e a vazão do ar de secagem em ambos os experimentos foram de $1,85 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 17, o rendimento para os pós com branqueamento apresentou maior valor (50,24%) no Experimento 11, e pode ser notado o menor rendimento (39,95%) no Experimento 15, em que as condições de processo foram vazão de alimentação de $0,80 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ e vazão do ar de secagem de $1,60 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ em ambos os experimentos, exceto a temperatura sendo 100°C e 140°C nos experimentos 11 e 15, respectivamente.

Realizou-se também uma regressão múltipla com os resultados de rendimento dos pós de hortelã, sendo considerados os parâmetros que apresentaram um nível de significância de 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 18 e o coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9854.

Tabela 18- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para rendimento.

Fator	Efeito	Valor de p
BI	-6,051	0,004
Te	4,761	0,008
FF	-3,527	0,053
AF	1,797	0,085
BI × Te	2,434	0,041
Te × FF	2,961	0,031
Te × AF	-2,414	0,052

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que *FF* corresponde à vazão de alimentação ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$); *AF* à vazão do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$); *BI* ao tratamento térmico e *Te* à temperatura ($^\circ\text{C}$).

Na Tabela 18, pelos valores (e sinais) dos efeitos estimados que foram significativos, nota-se que o rendimento da secagem tendeu a ser maior sem a realização de branqueamento na amostra e com temperatura do ar de secagem elevada. O fator que afetou mais fortemente o rendimento, e de forma negativa, foi a realização do branqueamento. Além dos efeitos isolados, observa-se que existiu efeito significativo de interação entre as variáveis estudadas. Assim, com a alta vazão de alimentação associada à exposição do produto ao calor há formação de gotículas maiores, dificultando sua evaporação e ocasionando retenção do produto na câmara de secagem, com consequente redução do rendimento.

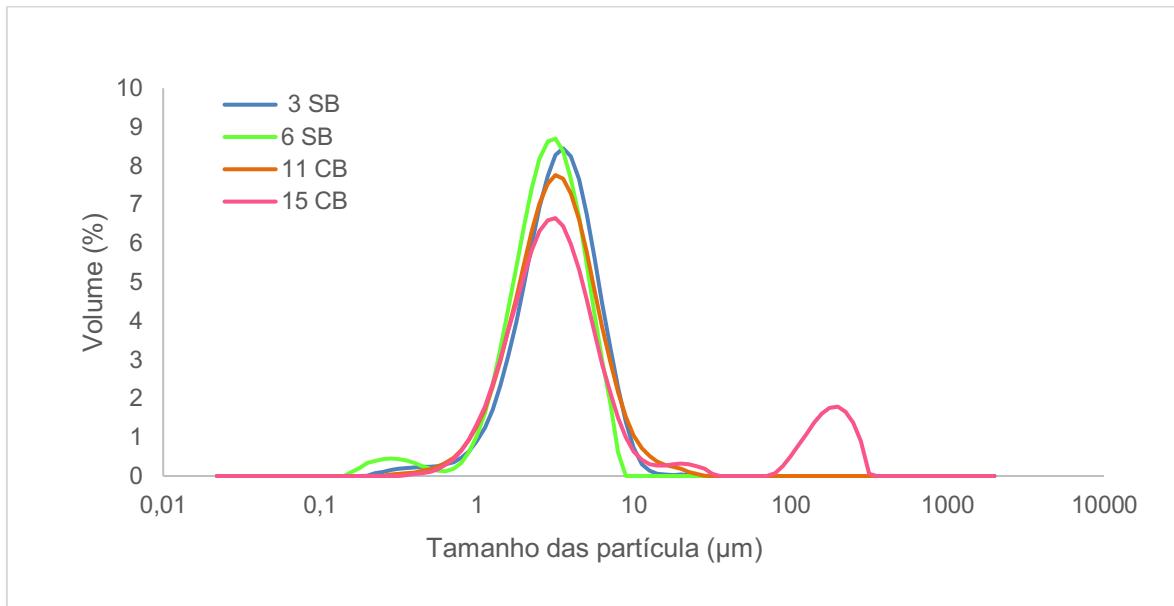
Chaul et al. (2017) retrataram que o aumento da vazão de alimentação e a diminuição da temperatura de entrada de secagem, acarretaram perdas de partículas finas e leves no ar exaurido que passa pelo ciclone, fazendo com que a recuperação do pó ao longo do processo de secagem diminuisse. Dantas et al. (2018) estudaram a influência das condições de secagem por atomização nas propriedades do suco de abacate em pó, e concluíram que as razões para o baixo rendimento são a deposição de partículas na parede da câmara de secagem e a baixa eficiência do ciclone para coletar partículas finas.

Braga et al. (2019) estudaram a secagem de suco de abacaxi com hortelã por *spray drying*, com vazão de alimentação da amostra de $0,6 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, temperatura de secagem de 105°C e vazão do ar de secagem de $1,75 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, tendendo ao maior rendimento com valor de 35%.

2.3.1.9 Determinação da distribuição do tamanho de partículas

Na Figura 8 apresenta-se a distribuição de tamanho de partículas, avaliada por meio dos resultados de menores e maiores rendimentos dos pós de hortelã sem e com branqueamento (experimentos 3 e 6, 11 e 15, respectivamente).

Figura 8- Distribuição do tamanho de partícula dos pós de hortelã sem e com branqueamento, obtido pelo processo de *spray drying* nos Experimentos 3, 6, 11 e 15.



Fonte: Elaborado pela autora, (2021).

Notam-se comportamentos mono e bimodal nos resultados da distribuição de tamanho das partículas dos pós com e sem branqueamento, sendo que os Experimentos 3 e 11 apresentaram comportamento monomodal, e os Experimentos 6 e 15 comportamento bimodal, conforme apresentado na Figura 8. Para o caso dos pós sem branqueamento, no Experimento 3 verificou-se uma amplitude na faixa de tamanho de 0,178 a 25,179 μm ; e no Experimento 6, entre 0,159 e 7,962 μm . Já para os pós com branqueamento, o Experimento 11 apresentou uma faixa de tamanho de 0,283 a 31,698 μm , e o Experimento 15 entre 0,399 e 35,566 μm .

Realizou-se a avaliação da diferença entre as médias, do diâmetro médio dos pós de hortelã por meio do teste de *Kruskal-Wallis*, sendo considerados os parâmetros que apresentaram um nível de significância de 5%, ou seja, no teste foi considerada a probabilidade máxima de erro de 5%. Na Tabela 19 estão apresentados os valores do diâmetro médio de Sauter D [3,2] dos pós das folhas de hortelã.

Tabela 19- Valores do diâmetro médio dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Diâmetro médio de Sauter D[3,2] (μm)
		T ($^{\circ}\text{C}$)	V_{alim} ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)	V_{ar} ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	
3	SB	100	0,8	1,60	$2,397 \pm 0,077^{\text{ab}}$
6	SB	140	0,4	1,85	$1,853 \pm 0,005^{\text{a}}$
11	CB	100	0,8	1,60	$2,701 \pm 0,003^{\text{bc}}$
15	CB	140	0,8	1,60	$3,018 \pm 0,050^{\text{c}}$

Fonte: Elaborado pela autora, (2021).

Em que: SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios \pm desvio padrão das análises em quintuplicatas. * Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre os pós com e sem branqueamento em spray dryer ($p \leq 0,05$).

Os valores do diâmetro médio das partículas dos experimentos apresentados variaram de 1,853 a 3,018 μm . O tamanho da partícula dos pós de hortelã nos Experimentos 3 e 6 SB, 3 SB e 11 CB, e 11 e 15 CB, não apresentaram diferença significativa no tamanho médio. Os experimentos 3 SB e 15 CB, 6 SB e 11 CB, e 6 SB e 15 CB apresentaram diferença significativa no tamanho médio, sendo possível verificar também pela amplitude de distribuição dos pós que foi distinta, evidenciado na Figura 8.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 19, o maior valor do diâmetro médio para os pós sem branqueamento foi de 2,397 μm no Experimento 3; e para os pós com branqueamento o maior valor foi de 3,018 μm no Experimento 15. Segundo a literatura revisada não foram encontrados trabalhos com valores do diâmetro médio para pós de hortelã ou plantas aromáticas secos em spray dryer, para comparações com os valores do diâmetro do trabalho em estudo.

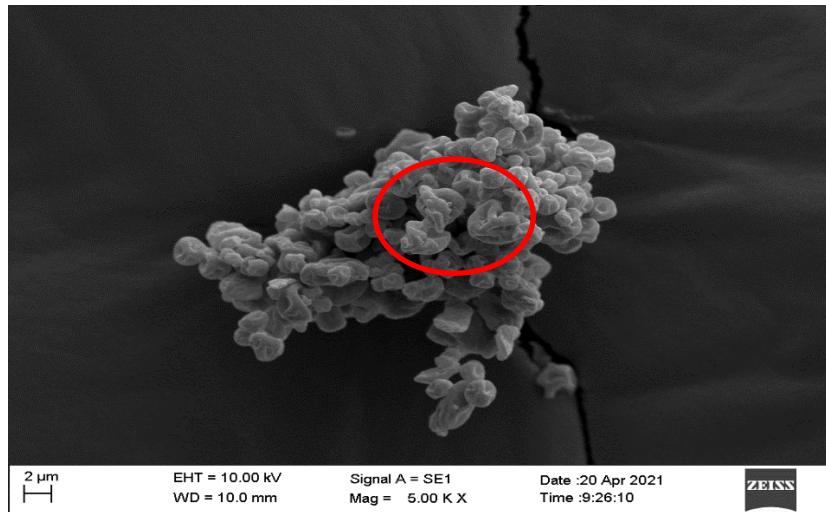
Relacionando o tamanho das partículas com a densidade *bulk* dos pós, nota-se que os menores valores de densidade para os pós sem e com branqueamento (experimentos 3 e 15) obtiveram maiores tamanho da partícula. Pós com tamanho de partícula maiores tendem a apresentar menores densidade *bulk*, devido aos espaços vazios apresentados entre as partículas (MAR et al., 2020). Em relação ao rendimento, observa-se que os maiores tamanhos das partículas, experimentos 3 e 15, apresentaram os menores rendimentos. Jedlinska et al. (2018) observaram que partículas maiores, possuem maior inércia e, portanto, colidem com a parede da câmara de secagem, não sendo coletadas no ciclone.

2.3.1.10 Microscopia eletrônica de varredura

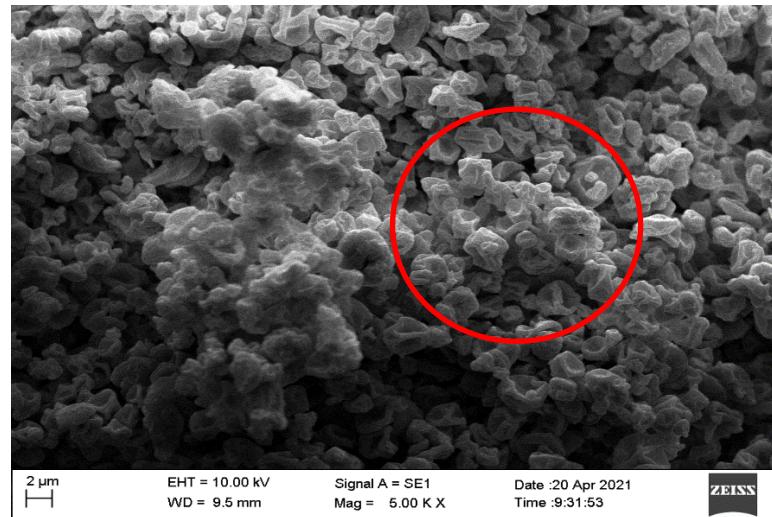
Na Figura 9 estão apresentadas as microscopias eletrônicas de varredura dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, produzidos pelo processo de secagem por *spray drying* nos seguintes experimentos: a) 3 SB (temperatura de 100°C, vazão de alimentação de 0,8 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,60 m³·min⁻¹); b) 6 SB (temperatura de 140°C, vazão de alimentação de 0,4 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,85 m³·min⁻¹); c) 11 CB (temperatura de 100°C, vazão de alimentação de 0,8 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,60 m³·min⁻¹); e d) 15 CB (temperatura de 140°C, vazão de alimentação de 0,8 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,60 m³·min⁻¹) do planejamento experimental.

Figura 9- Resultados da microscopia eletrônica de varredura dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos (a) 3, (b) 6, (c) 11 e (d) 15 do planejamento experimental, com ampliação de 5000x respectivamente.

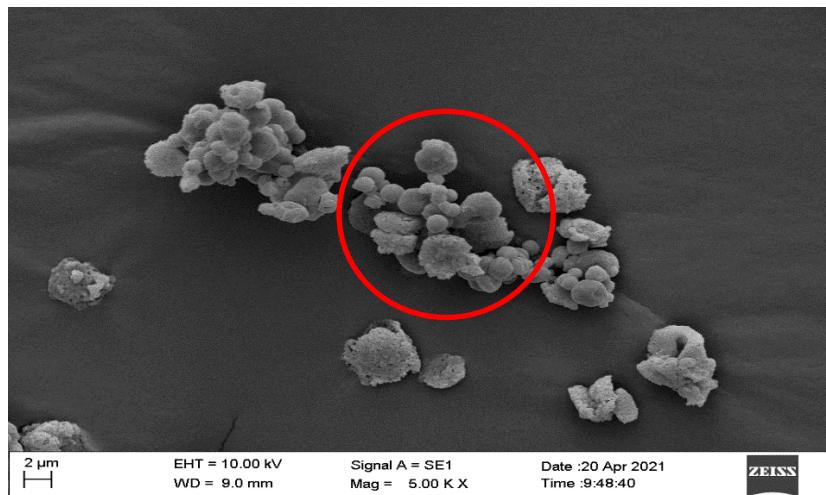
a)



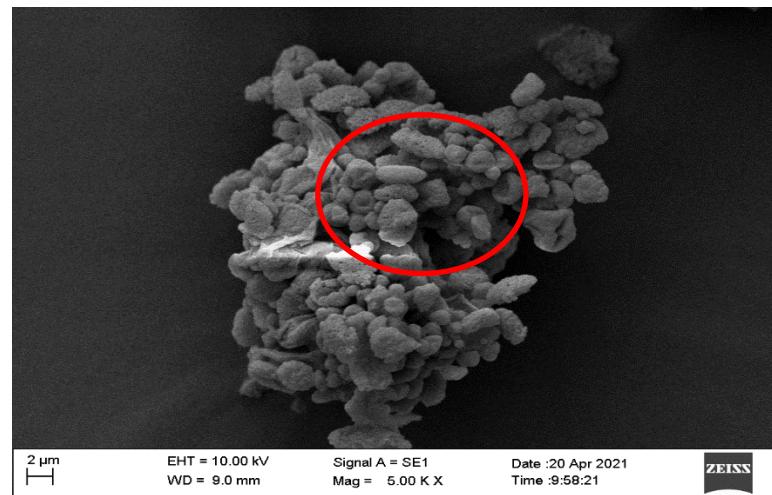
b)



c)



d)



Não foram obtidas imagens com as folhas de hortelã frescas pela técnica de microscopia eletrônica de varredura, devido à necessidade da aplicação de vácuo para a obtenção das imagens. Deste modo, a elevada umidade inicial presente nas folhas impede a obtenção de tais imagens.

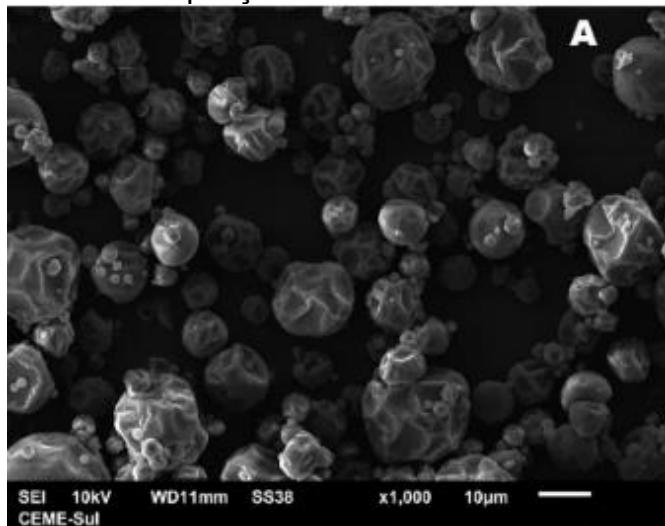
De acordo com a Figura 9, os experimentos 3 e 11 figuras (a) e (c) respectivamente, em que as condições de processo foram as mesmas em ambos os experimentos (temperatura de 100°C, vazão de alimentação de 0,80 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,60 m³·min⁻¹), podem ser evidenciadas estruturas distintas das partículas. Essas diferenças entre a estrutura das partículas podem ter ocorrido devido ao tratamento térmico adotado antes do processo de secagem. Nota-se que no Experimento 3 (sem branqueamento) obteve-se uma estrutura irregular, com superfície côncava e rugosa, apresentando um fechamento dos poros indicando o enrugamento da estrutura. Por outro lado, no Experimento 11 (com branqueamento) a estrutura da partícula apresentou um formato esférico e liso com menos fissuras, indicando que o branqueamento proporcionou a cobertura da partícula, aumentando assim a proteção e retenção da estrutura.

Na Figura 9 pode ser notado que para os experimentos 6 e 15, figuras (b) e (d) (vazão de alimentação de 0,40 e 0,80 L·h⁻¹ e vazão do ar de secagem de 1,85 e 1,60 m³·min⁻¹, respectivamente; e temperatura de 140°C) notaram-se diferentes comportamentos da estrutura das partículas. Esses comportamentos podem ter ocorrido por fatores como a exposição a altas temperaturas, e ao tratamento térmico adotado anteriormente à secagem. Em relação ao Experimento 6 (sem branqueamento), observa-se que originou uma maior porosidade e rugosidade na estrutura da partícula, de forma irregular, e superfície côncava. O Experimento 15 (com branqueamento) também apresentou a estrutura das partículas porosa, porém com formas esféricas e lisas, evidenciando que ao submeter a amostra ao branqueamento, este proporciona uma proteção encapsulando a partícula.

Segundo Braga et al. (2020) na secagem do suco de abacaxi com hortelã por *spray drying*, em temperatura de 105°C as partículas apresentaram formas esféricas e lisas, principalmente sem adição de maltodextrina. Observa-se que os resultados dos Experimentos 11 e 15 (com branqueamento) apresentaram a estrutura das partículas esféricas e lisas, semelhantes ao reportado pelos autores Braga et al. (2020).

Radünz et al. (2020) relataram que a morfologia das partículas do óleo essencial de tomilho seco por *spray drying*, à temperatura de 110°C apresentou estrutura esférica e superfície côncava rugosa. De acordo com Frascareli et al. (2012) as micropartículas apresentarem formato esférico com superfície côncava e rugosa, são características morfológicas provenientes da secagem por atomização, resultado da rápida evaporação da água durante a secagem. Os Experimentos 3 e 6 (sem branqueamento) apresentaram a estrutura das partículas rugosa e superfície côncavas, similares aos autores Radünz et al. (2020) como mostra Figura 10 e Frascareli et al. (2012).

Figura 10 – Microscopia do óleo essencial de tomilho seco por *spray drying*, com ampliação de 1000x.



Fonte: Radünz (2020).

No estudo de Therdthai; Zhou (2009) com a secagem de folhas de hortelã por micro-ondas e secagem a ar quente com temperaturas de 60 e 70°C, os autores destacaram que a estrutura das folhas secas por micro-ondas era mais porosa em relação às folhas secas ao ar quente, resultado da vaporização rápida durante a secagem por micro-ondas. Os experimentos 6 e 15 também apresentaram estruturas porosas condizendo com o que relataram os autores Therdthai; Zhou (2009).

Assim, é evidenciado nos experimentos 3 e 6 que pós sem branqueamento apresentaram partículas mais rugosas e irregulares, enquanto nos experimentos 11 e 15, pós com branqueamento, foram observadas partículas esféricas mais alisadas, o que são estruturas desejáveis pois fornecem maior estabilidade aos pós, facilitando o manuseio e armazenamento do produto.

2.3.1.11 Determinação do tempo de molhamento

Na Tabela 20 estão apresentados os resultados do tempo de molhamento dos pós de hortelã com e sem o processo de branqueamento obtidos no processo de secagem em *spray dryer*. Nota-se que o maior valor encontrado de tempo de molhamento para os pós de hortelã sem branqueamento foi de 117,5 s (Experimento 8), e o menor valor encontrado foi de 27 s (Experimento 7). Para os pós de hortelã com branqueamento, o maior valor encontrado foi de 87,5 s (Experimento 16), e o menor valor foi de 15,5 s (Experimento 15). Sendo as variáveis similares adotadas nos experimentos com e sem tratamento térmico (temperatura a 140°C e vazão de alimentação de 0,80 L·h⁻¹), com exceção à vazão do ar de secagem, que foi de 1,85 e 1,60 m³·min⁻¹, para os maiores e menores valores encontrados, respectivamente. Braga et al. (2020) obtiveram tempo de molhamento de 261 s para os pós de suco de abacaxi com hortelã em *spray drying*.

Tabela 20- Resultados do tempo de molhamento dos pós das folhas de hortelã com e sem o branqueamento, obtidos nos experimentos do planejamento experimental.

Exp.	Tratamento térmico	Planejamento Experimental			Tempo de molhamento (s)
		T (°C)	V _{alim} (L·h ⁻¹)	V _{ar} (m ³ ·min ⁻¹)	
1	SB	100	0,4	1,60	44,0 ± 2,00
2	SB	100	0,4	1,85	31,5 ± 1,50
3	SB	100	0,8	1,60	50,5 ± 0,50
4	SB	100	0,8	1,85	48,0 ± 3,00
5	SB	140	0,4	1,60	28,5 ± 3,50
6	SB	140	0,4	1,85	29,0 ± 1,00
7	SB	140	0,8	1,60	27,0 ± 1,00
8	SB	140	0,8	1,85	117,5 ± 1,50
9	CB	100	0,4	1,60	16,5 ± 1,50
10	CB	100	0,4	1,85	16,5 ± 0,50
11	CB	100	0,8	1,60	77,5 ± 2,50
12	CB	100	0,8	1,85	52,0 ± 3,00
13	CB	140	0,4	1,60	48,5 ± 0,50
14	CB	140	0,4	1,85	25,5 ± 0,50
15	CB	140	0,8	1,60	15,5 ± 0,50
16	CB	140	0,8	1,85	87,5 ± 2,50

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Em que: SB significa sem branqueamento; CB com branqueamento; Exp. significa experimento, T é a temperatura, V_{alim} é a vazão de alimentação da amostra e V_{ar} é a vazão do ar de secagem. Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

Segundo Vissotto et al. (2006) partículas grandes favorecem a molhabilidade, enquanto partículas pequenas acarretam uma redução das fissuras, prejudicando a penetração de água. Conforme os resultados, de fato o Experimento que apresentou menor tempo de molhamento foi o que obteve maior tamanho de partícula (Experimento 15).

Outro fator relevante para este resultado é a estrutura da partícula, sendo que, segundo McSweeney et al. (2021), uma estrutura mais porosa das partículas do pó e a presença de grandes vazios de ar entre essas partículas facilita o aumento da transferência de água, consequentemente diminuindo o tempo de molhabilidade. Novamente, corroborando esta informação, e como já detalhado anteriormente, a estrutura das partículas obtida no Experimento 15 condiz com o menor tempo de molhamento.

Foi realizado uma regressão múltipla com os resultados do tempo de molhamento dos pós de hortelã, sendo considerados os parâmetros que apresentaram nível de significância de 10%, ou seja, no teste de hipótese com a tabela *t de Student* foi considerada a probabilidade máxima de erro de 10%. Os fatores com efeitos significativos encontram-se na Tabela 21 e o coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9418.

Tabela 21- Efeito e valor de p dos fatores significativos do modelo para o tempo de molhamento.

Fator	Efeito	Valor de p
BI	-25,916	0,002
FF	28,333	0,000
AF	33,792	0,000
BI × Te	19,666	0,009
BI × FF	-19,416	0,009
FF × AF	42,542	0,000

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Termos significativos a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$). Em que *FF* corresponde à vazão de alimentação ($L \cdot h^{-1}$); *AF* à vazão do ar de secagem ($m^3 \cdot min^{-1}$); *BI* ao tratamento térmico e *Te* à temperatura ($^{\circ}C$).

Na Tabela 21, pode ser evidenciado que, seja por termo isolado ou por meio de interação, todas as variáveis afetaram o tempo de molhamento dos pós de forma significativa. Sendo que o maior efeito foi do termo de interação entre a vazão de

alimentação da solução alimentada e da vazão de ar de secagem. Logo, associando-se altas vazões de alimentação e de ar de secagem, uma vez que ambas as variáveis apresentaram efeito principal significativo e positivo, há uma tendência do aumento do tempo de molhamento dos pós.

Portanto, houve uma tendência a menores tempos de molhamento para os pós com e sem branqueamento quando adotadas em associação vazões de alimentação e vazões do ar de secagem baixas.

2.4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse estudo permitem concluir que foi possível a obtenção e caracterização de hortelã em pó com e sem branqueamento em *spray dryer*. Dentre as características avaliadas observou-se que os pós obtidos com branqueamento apresentaram, em geral, menor valor de umidade quando comparado com o material particulado obtido sem o processo de branqueamento. Quanto à cor, as amostras submetidas ao pré-tratamento (branqueamento) apresentaram menor perda da coloração, resultando em partículas mais verdes e com maior luminosidade. O branqueamento contribuiu para maior retenção de pigmentos de carotenoïdes e altos teores de clorofila e fenólicos totais. Em questão da higroscopicidade dos pós, temperaturas e vazões de alimentação baixas contribuem para pós (sem e com branqueamento) menos higroscópicos.

De acordo com os resultados, os menores valores de densidade *bulk* do pó obtido com e sem branqueamento foram em condições de temperaturas de entrada de secagem mais elevadas. Cabe ressaltar que o maior valor de rendimento para o pó obtido com branqueamento foi de 50,24%, produzido com menores temperaturas associadas a uma elevada vazão de alimentação da solução. Em relação ao diâmetro médio, o maior valor mencionado dos pós com e sem branqueamento foi no Experimento 15 de 3,018 µm. Observou-se que os pós com branqueamento apresentaram estruturas esféricas e lisas, e com menores tempo de molhamento.

Portanto, o fato de ser possível a obtenção e caracterização de hortelã em pó com e sem branqueamento em *spray dryer* indica que há possibilidade de aplicações do pó de folhas de hortelã, viabilizando a preservação de suas propriedades bioativas essenciais para a saúde.

2.5 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar a caracterização físico-química dos pós de hortelã quanto a: atividade de água e isoterma de sorção.
- Estudar a propriedade bioativa (concentração de ácido ascórbico) das folhas frescas e dos pós de hortelã.
- Avaliar o *shelf-life* dos pós de hortelã com e sem branqueamento.
- Avaliar a estabilidade dos nutrientes e aplicar o pó de hortelã como ingrediente de produtos como chás, sucos, temperos etc.

REFERÊNCIAS

ALI, M. A. et al. Drying Kinetics and Colour Analysis of Moringa Oleifera Leaves. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 394–400, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.055>

ALMEIDA, F. D. L. **Desidratação de suco de abacaxi probiótico por spray-dryer.** [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2012.

ARNON, D.I. Copper enzimas in isolated cloroplasts Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. **Plant Physiology**. Maryland, v.24, n.1, p. 1-15, jan. 1949.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., ORTEGA-RIVAS, E., JULIANO, P., & Yan, H. **Food Powders - Physical Properties, Processing, and Functionality.** Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005.

BERTOLDI, M. C. **Atividade antioxidante *in vitro* da fração fenólica, das oleorresinas e do óleo essencial de pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius Raddi*).** 2206. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

BRAGA, V. et al. **Produção de abacaxi com hortelâ em pó por spray drying.** [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

BRAGA, V. et al. Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying. **Powder Technology**, v. 375, p. 409–419, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.012>

BRAGA, M. C.; VIEIRA, E. C. S.; DE OLIVEIRA, T. F. Curcuma longa L. leaves: Characterization (bioactive and antinutritional compounds) for use in human food in Brazil. **Food Chemistry**, v. 265, p. 308–315, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.096>

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics for Experimenters.** New York:John Wiley, 1978.

CHAUL, L. T. et al. Engineering spray-dried rosemary extracts with improved physicomechanical properties: A design of experiments issue. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 27, n. 2, p. 236–244, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2016.10.006>

CHUYEN, H. V. et al. Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: Optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder. **Powder Technology**, v. 344, p. 373–379, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.012>

CIRLINI, M. et al. Phenolic and volatile composition of a dry spearmint (*Mentha spicata L.*) extract. **Molecules**, v. 21, n. 8, p. 1–15, 2016.

CÓRDOBA, A. L.; GOYANES, S. Food Powder Properties. **Food Science 2017**, [S. I.], jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21198-0>

CURUTCHET, A. et al. Nutritional and sensory quality during refrigerated storage of fresh-cut mints (*Mentha×piperita* and *M. spicata*). **Food Chemistry**, v. 143, p. 231–238, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.117>

DACANAL, G. C., MENEGALLI, F. C. Selection of operational parameters for the production of instant soy protein isolate by pulsed bed agglomeration. **Power Technology**, 203, 3, p. 565-573, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.06.023>

DADI, D. W. et al. Physical and Functional Properties, Digestibility, and Storage Stability of Spray- and Freeze-Dried Microencapsulated Bioactive Products from *Moringa stenopetala* Leaves Extract. **Industrial Crops and Products**, v. 156, p. 112891, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112891>

DANTAS, D. et al. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry**, v. 266, n. March, p. 284–291, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.016>

DAWIDOWICZ, A. L.; WIANOWSKA, D.; OLSZOWY, M. On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH method (Problems in estimation of antioxidant activity). **Food Chemistry**, v. 131, n. 3, p. 1037–1043, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.067>

DOMIJAN, A. M.; PERAICA, M.; ZLENDER, V.; CVJETKOVIĆ, B.; JURJEVIĆ, Z.; TOPOLOVEC-PINTARIĆ, S.; IVIĆ D. Seed borne fungi and ochratoxina: a contamination of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, n. 3, p. 427-432, 2005.

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

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize/>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

FRASCARELI, E. C. et al. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 413-424. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.002>

GITHAIGA, B. M. et al. Determination of antibacterial activity of essential oils from mint (*Mentha spicata*) leaves on selected pathogenic bacteria. **J. Drugs Pharmaceutical Science**, v.2, n. 860A886E1, p. 8-14, 2018.

HONG, J.H.; CHOI Y.H. Physico-chemical properties of protein-bound polysaccharide from *Agaricus blazei* Murill prepared by Ultrafiltration and spray drying process. **International Journal of Food Science & Technology**, 42, p. 1-8, 2007.

JAFARI, S. M.; GHALEGI GHALENOEI, M.; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 311, p. 59–65, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>

JEDLIŃSKA , A. et al. Physicochemical properties of vanilla and raspberry aromas microencapsulated in the industrial conditions by spray drying. **Journal of Food Process Engineering** , v. 41, p. e12872, 2018. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12872>

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 Chemistry*, v. 47, p. 3954–3962, 1999.

KEE, L.; SHORI, A.; BABA, A. Bioactivity and health effects of *Mentha spicata*. **Integrative Food, Nutrition and Metabolism**, v. 5, n. 1, p. 1–2, 2017.

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, p. 447–452, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.033>

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, n. 2, 2015.

LAHNINE, L. et al. Thermophysical characterization by solar convective drying of thyme conserved by an innovative thermal-biochemical process. **Renewable Energy**, v. 94, p. 72–80, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.014>

LEFEBVRE, T. et al. Development of an analytical method for chlorophyll pigments separation by reversed-phase supercritical fluid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1612, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.460643>

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids:pigment photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol.**, San Diego, v.148, p.362-385, 1987.

MAJHENIČ, L.; ŠKERGET, M.; KNEZ, Ž. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. **Food Chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1258 -1268, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.074>

MANZOOR, N. et al. Effect of Blanching and Drying Temperatures on Various Physico-chemical Characteristics of Green Beans. **Asian Journal of Dairy and Food Research**, v. 38, n. 03, p. 213–223, 2019.

MAR, J. M. et al. Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. **Powder Technology**, v. 360, p. 383–391, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.062>

MEDINA-TORRES, L. et al. Microencapsulation by spray drying of laurel infusions (*Litsea glaucescens*) with maltodextrin. **Industrial Crops and Products**, v. 90, p. 1–8, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.009>

MCSWEENEY, D. J. et al. Rehydration properties of regular and agglomerated milk protein concentrate powders produced using nitrogen gas injection prior to spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 305, p. 110597, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110597>

PERRINO, E. V et al. **Ecological and Plant Community Implication on Essential Oils**. 2021.

PRAKASH, OM. et al. Mint (*Mentha spicata L.*) Oils. In: PREEDY, V. R. (Ed.) . **Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety**. London,p. 561–572, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00064-X>

PANDEY, O.; MISHRA, B.; MISRA, A. Comparative study of green peas using with blanching & without blanching techniques. **Information Processing in Agriculture**, v. 6, n. 2, p. 285–296, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.10.002>

RADÜNZ, M. et al. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 330, p. 108696, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108696>

SANTHALAKSHMY, S. et al. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37–43, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016>

THERDTHAI, N.; ZHOU, W. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia Opiz ex Fresen*). **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 482–489, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.031>

TONON, R.V.; FREITAS, S.S.; HUBINGER, M.D. Spray drying of açai (*Euterpe oleraceae mart.*) juice: effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, 2011.

URIBE, E. et al. Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita L.*) as a source of natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 190, p. 559–565, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.108>

VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinização e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.3, p.666-671, 2006.

XU, G. et al. Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, n.2, p. 330-335, 2007.

YAMAGUCHI, T. et al. Radical-Scavenging Activity of Vegetables and the Effect of Cooking on Their Activity. **Food Science and Technology Research**, v. 7, n. 3, p. 250–257, 2001.