



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



**USO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA SECAGEM INTEGRAL DE
PITAYA VERMELHA (*HYLOCEREUS COSTARICENSIS*) E SEUS IMPACTOS
NOS COMPOSTOS BIOATIVOS**

IGOR AUGUSTO GONÇALVES DE OLIVEIRA

Patos de Minas - MG

2024



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



**USO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA SECAGEM INTEGRAL DE
PITAYA VERMELHA (*HYLOCEREUS COSTARICENSIS*) E SEUS
IMPACTOS NOS COMPOSTOS BIOATIVOS**
IGOR AUGUSTO GONÇALVES DE OLIVEIRA

Orientadores:

Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza
Barrozo.

Prof. Dr. Neiton Carlos da Silva.

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos (PPGEA) da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito
parcial para obtenção do título de mestre
em Engenharia de Alimentos. Área de
concentração de desenvolvimento de
Processos e Produtos.

Patos de Minas - MG

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

O48u
2024

Oliveira, Igor Augusto Gonçalves de, 1991-

Uso de diferentes metodologias para secagem integral de pitaya vermelha (*Hylocereus costaricensis*) e seus impactos nos compostos bioativos [recurso eletrônico] / Igor Augusto Gonçalves de Oliveira. - 2024.

Orientador: Marcos Antônio de Souza Barrozo.

Coorientador: Neiton Carlos da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5159>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Tecnologia de alimentos. I. Barrozo, Marcos Antônio de Souza, 1961-, (Orient.). II. Silva, Neiton Carlos da, 1985-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA****Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas**Rua Vereador Chico Filgueira, 33, 3º andar, Sala 21 - Bairro Caiçaras, Patos de Minas-MG, CEP 38702-178
Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 13/2024 - PPGEA				
Data:	Vinte e seis de agosto de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:00
Matrícula do Discente:	42212EAL006				
Nome do Discente:	Igor Augusto Gonçalves de Oliveira				
Título do Trabalho:	Uso de diferentes metodologias para secagem integral de pitaya vermelha (<i>Hylocereus costaricensis</i>) e seus impactos nos compostos bioativos				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Marcos Antônio de Souza Barrozo (Presidente - Orientador), Beatriz Cristina Silvério (Membro Externo) e Ricardo Corrêa de Santana (Membro UFU).

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

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

Aprovado.

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 **Marcos Antonio de Souza Barrozo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/08/2024, às 16:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/08/2024, às 16:04, 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 26/08/2024, às 16:11, 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 **5631201** e o código CRC **94EB828F**.

Referência: Processo nº 23117.054265/2024-00

SEI nº 5631201

AGRADECIMENTOS

É com profunda gratidão que inicio meus agradecimentos nesta dissertação de mestrado. Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela sabedoria concedida, pela força nas horas difíceis e pelas bênçãos que permitiram a conclusão deste trabalho.

À toda minha família e em especial meus pais, aos meus amigos e ao meu querido namorado, agradeço o apoio incondicional, compreensão e amor durante toda a jornada. Vocês foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar ao estudo com tranquilidade e foco.

Aos meus orientadores, Dr. Prof. Marcos Barrozo e Dr. Prof. Neiton Silva, expresso minha profunda gratidão. Em especial, agradeço ao Neiton, que além de orientador, tornou-se um amigo. Sua paciência, apoio constante e compreensão em relação aos desafios pessoais e profissionais que enfrentei foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Um agradecimento especial aos produtores da empresa Pitayas Formosa de Lagoa Formosa, que generosamente doaram os frutos utilizados nesta pesquisa. Sua colaboração foi fundamental para o sucesso deste estudo.

Aos dedicados funcionários do laboratório, em particular aos técnicos Betânia, Dayene e Leandro, expresso minha gratidão pela assistência técnica e apoio indispensáveis durante todo o processo experimental.

Por fim, não poderia deixar de agradecer aos amigos do curso que estiveram ao meu lado, incentivando-me e apoiando-me nos momentos mais desafiadores. Em especial, a Isadora Garcia e Nayara Oliveira, cuja amizade e suporte foram fundamentais para que eu não desistisse dos meus objetivos acadêmicos.

A todos vocês, meu sincero e profundo obrigado por fazerem parte desta jornada e por contribuírem para a realização deste trabalho de pesquisa.

Muito obrigado!

RESUMO

O crescimento da fruticultura no Brasil impulsionou o mercado de frutas exóticas, como a pitaya (*Hylocereus sp.*), devido às suas características funcionais e sensoriais. Com polpa doce e suave, pode ser consumida *in natura* ou utilizada no desenvolvimento de novos produtos industrializados e na produção de corantes naturais. É importante empregar metodologias adequadas de secagem para preservar as propriedades do produto. A secagem é crucial para conservar frutas com alto teor de água (>80%), inibindo o crescimento microbiano e a atividade enzimática. A secagem dos frutos de pitaya (*Hylocereus sp.*) para obtenção de pó oferece diversas vantagens e contribui para a preservação dos compostos benéficos à saúde presentes nos mesmos. Este estudo teve como objetivo avaliar o processo integral de secagem dos frutos de pitaya (*Hylocereus costaricensis*) por *spray dryer* e *refractance window*, investigando os efeitos dessas técnicas nos produtos finais. Na secagem em *spray dryer* foi verificado o efeito de quatro variáveis independentes: temperatura do ar de secagem (°C); vazão do ar de secagem (m³/min); % de maltodextrina e vazão de alimentação (L/h). Na secagem em *refractance window* foi avaliado o impacto da temperatura (°C) e o tempo (min). As variáveis resposta analisadas para ambas as metodologias foram: umidade, teor de compostos fenólicos totais, teor de flavonoides totais, acidez total titulável, teor de ácido ascórbico, betalaína e cor. Para o *spray dryer* também foi analisado o rendimento do pó obtido. A secagem por *spray dryer* resultou em pós de pitaya com coloração rosa claro devido à adição de maltodextrina e baixos teores de umidade (inferiores a 5%). Melhores resultados foram obtidos ao reduzir a temperatura e o teor de maltodextrina, mas foi necessário o agente carreador para obter material adequado para análise. O uso do *refractance window* apresentou os melhores resultados globais, preservando compostos fenólicos, flavonoides, acidez e cor em comparação com a fruta *in natura*, embora com maior teor de umidade final. Além disso, esse método é econômico, exigindo menos investimento e dispensando a adição de agente carreador, sendo uma excelente opção para a secagem de pitaya mesmo em baixas temperaturas.

Palavras-chave: pitaya; *Hylocereus sp.*; secagem de frutas; *spray dryer*; *refractance window*; ; compostos bioativos.

ABSTRACT

The growth of fruit cultivation in Brazil has boosted the market for exotic fruits, such as pitaya (*Hylocereus* sp.), due to its functional and sensory characteristics. With its sweet and smooth pulp, pitaya can be consumed fresh or used in the development of new industrial products and in the production of natural dyes. Drying is crucial to preserve fruits with high water content (>80%), inhibiting microbial growth and enzyme activity. Employing appropriate drying methodologies is essential to preserve the product's properties. Drying pitaya (*Hylocereus* sp.) fruits to obtain powder offers several advantages and helps preserve the health-promoting compounds present in this fruit. This study aimed to evaluate the integral drying process of pitaya fruits (*Hylocereus costaricensis*) using spray dryer and refractance window methodologies, investigating the effects of these techniques on the final products. When using spray dryer, the effect of four independent variables was verified: drying air temperature (°C); drying air flow rate (m³/min); maltodextrin content (%) and feed flow rate (L/h). For refractance window method, the impact of temperature (°C) and time (min) was evaluated. The response variables analyzed for both methodologies were: final moisture, total phenolic content, total flavonoid content, total titratable acidity, ascorbic acid content, betalain content and color. For the spray dryer, the powder yield obtained was also analyzed. Spray-drying method resulted in pitaya powders with a light pink color due to the addition of maltodextrin and low moisture content (less than 5%). Better results were obtained by reducing the temperature and maltodextrin content, but the carrier agent was needed to obtain suitable material for analysis. The use of the refractance window showed the best overall results, preserving phenolic compounds, flavonoids, acidity and color compared to fresh fruit, although with a higher final moisture content. Furthermore, this method is economical, requiring less investment and eliminating the need to add a carrier agent, making it an excellent option for drying pitaya even at low temperatures.

Keywords: dragon fruit; *Hylocereus* sp.; fruit drying; spray dryer; refractance window; bioactive compounds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Flores, caules e frutos da pitaya do gênero <i>Hylocereus</i> :	6
Figura 2 - Principais espécies de Pitayas.....	7
Figura 3 - Pitaya vermelha, corte medial.....	10
Figura 4 - Estádios de desenvolvimento do fruto de pitaya.....	11
Figura 5 - Utilização da pitaya na indústria de alimentos.....	16
Figura 6 - Estrutura química básica dos compostos fenólicos.....	19
Figura 7 - Estrutura química básica dos flavonoides.....	20
Figura 8 - Estrutura química do ácido cítrico.....	21
Figura 9 - Estrutura química do ácido ascórbico.....	22
Figura 10 - Fontes de betalaínas.....	25
Figura 11 - Estruturas químicas das betalaínas: betacianinas e betaxantinas.....	26
Figura 12 - Representação esquemática do processo de secagem por <i>spray dryer</i>	32
Figura 13 - Representação esquemática do processo de secagem por <i>refractance window</i>	37
Figura 14 - Preparação de amostras de pitaya para secagem em <i>spray dryer</i>	41
Figura 15 - Preparação de amostras de pitaya para secagem em <i>refractance window</i>	42
Figura 16 – Secador de <i>spray dryer</i>	43
Figura 17 - Amostra de pitaya seca em <i>spray dryer</i> sem adição de maltodextrina. ..	44
Figura 18 - Secador de <i>refractance window</i>	48
Figura 19 - Porcionamento e distribuição da polpa de pitaya em lâmina de alumínio para secagem em RW.....	49
Figura 20 - Amostra de pitaya seca em RW sem desmoldante culinário e com a utilização do produto.....	49
Figura 21 - Rotulo de desmoldante culinário e lista de ingredientes do produto.....	50
Figura 22 - Secador <i>refractance window</i> acoplado em banho termostático.....	50
Figura 23 - Representação da cor em um sistema de coordenadas CIE	57
Figura 24 - Efeito das variáveis do PCC no rendimento obtido no <i>spray dryer</i> na secagem de pitaya.....	66
Figura 25 – Teor de Fenólicos Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	68

Figura 26 – Superfície de Resposta para o Teor de Compostos Fenólicos (TPC) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	69
Figura 27 - Teor de Flavonoides Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	71
Figura 28 - Superfície de Resposta para o Teor de Flavonoides Totais (TFC) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	72
Figura 29 – Teor de Acidez Total Titulável (ATT) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	74
Figura 30 - Superfície de Resposta para o teor de acidez total titulável (ATT) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	75
Figura 31 – Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	77
Figura 32 – Superfície de Resposta para o Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	79
Figura 33 - Teor de Betalaína (BE) para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	80
Figura 34 - Superfície de Resposta para o Teor de Betalaína (BE).	82
Figura 35 - Diferença de cor das amostras de pitaya antes e após a secagem em <i>spray dryer</i>	84
Figura 36 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor C* para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	85
Figura 37 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor H° para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	87
Figura 38 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor ΔE para os pós de pitaya secos em <i>spray dryer</i>	88
Figura 39 – Superfície de Resposta para a umidade (%) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	91
Figura 40 – Teor de Fenólicos Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	92
Figura 41 - Superfície de Resposta para o Teor de Fenólicos Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	94
Figura 42 - Teor de Flavonoides Totais (TFC) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	95
Figura 43 – Superfície de Resposta para o Teor de Flavonoides Totais (TFC) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	96

Figura 44 – Teor de Acidez Total (ATT) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	98
Figura 45 – Superfície de Resposta para o Teor de Acidez Total (ATT) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	99
Figura 46 – Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	100
Figura 47 – Superfície de Resposta para o Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	101
Figura 48 - Teor de Betalaína (BE) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	102
Figura 49 – Superfície de Resposta para o Teor de Betalaína (BE) para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	103
Figura 50 - Diferença de cor das amostras de pitaya antes e após a secagem em <i>refractance window</i> (RW).	105
Figura 51 – Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor C para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	106
Figura 52 – Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor H° para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	107
Figura 53 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor ΔE para os pós de pitaya secos em <i>refractance window</i> (RW).	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais agentes carreadores em alimentos.....	34
Tabela 2 - Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da pitaya em spray dryer ($\alpha = 2$).	45
Tabela 3 - Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para secagem da pitaya em spray dryer.	46
Tabela 4 - Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da pitaya em Refractance Window ($\alpha = 1,414$).	51
Tabela 5 - Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para secagem da pitaya em Refractance Window.	52
Tabela 6 - Resultados de caracterização do fruto de pitaya <i>in natura</i>	59
Tabela 7 - Resultados obtidos para Umidade e Rendimento do Pó na secagem em spray dryer em função das variáveis independentes.	63
Tabela 8 – Experimentos de menores e maiores rendimentos obtidos na secagem em spray dryer.	65
Tabela 9 – Resultado para as variáveis de cor dos pós de pitaya secos em spray dryer.....	83
Tabela 10 - Resultados obtidos para umidade do pó na secagem em <i>refractance window</i> (RW) em função das variáveis independentes.	90
Tabela 12 – Resultado para as variáveis de cor dos pós de pitaya secos em Refractance Window (RW).....	104
Tabela 12 – Comparativo dos Compostos Bioativos nos Métodos de Secagem dos pós de pitaya secos em Spray Dryer (SD) e Refractance Window (RW).	109

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivos específicos	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Fruticultura no Brasil	Erro! Indicador não definido.
2.2	Pitaya (<i>Hylocereus sp.</i>)	5
2.2.1	Produção e Comercialização	8
2.2.2	Pitaya Vermelha (<i>Hylocereus costaricensis</i>)	10
2.2.3	Consumo de Pitaya e seus Benefícios para a Saúde	12
2.2.4	Produção de Alimentos	15
2.3	Potencial e Compostos Bioativos	17
2.3.1	Compostos Fenólicos	18
2.3.2	Flavonoides	19
2.3.3	Ácido Cítrico	21
2.3.4	Ácido Ascórbico	22
2.3.5	Betalaína	24
2.4	Secagem	28
2.4.1	<i>Spray Drying</i>	32
2.4.2	<i>Refractance Window</i>	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1	Material utilizado	40
3.1.1	Preparo das amostras para secagem em <i>Spray dryer</i>	40
3.1.2	Preparo das amostras para secagem em <i>Refractance Window</i>	41
3.2	Metodologia	42
3.2.1	<i>Spray Dryer</i>	42
3.2.2	<i>Refractance Window</i>	47

3.2.3	Análises realizadas	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	Caracterização da Pitaya	59
4.2	Experimentos no <i>Spray Dryer</i>	63
4.2.1	Umidade e Rendimento de Secagem	63
4.2.2	Teor de Compostos Bioativos	66
4.2.3	Cor	83
4.3	Experimentos no <i>Refractance Window (RW)</i>	89
4.3.1	Umidade Final e Atividade de Água (a_w)	89
4.3.2	Compostos Bioativos.....	91
4.3.3	Cor	104
4.4	Análise Comparativa dos Compostos Bioativos	109
5	CONCLUSÃO	111
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
7	REFERÊNCIAS	114
	ANEXO	128
	APÊNDICE	129

1 INTRODUÇÃO

Os produtos naturais têm atraído crescente interesse devido às suas propriedades benéficas, especialmente no contexto da saúde e nutrição. Entre esses produtos, as frutas se destacam por suas características físico-químicas, como valor energético e compostos bioativos, atraindo tanto pesquisadores quanto consumidores em busca de uma dieta saudável e funcional (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; LIMA et al., 2013).

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de frutas no cenário global, beneficiando-se de uma ampla variedade de climas e solos que favorecem o cultivo de frutas tropicais e subtropicais (LIMA et al., 2013). A fruticultura tem se consolidado como uma fonte crucial de renda e emprego no setor agrícola, sustentando aproximadamente 5,6 milhões de trabalhadores e contribuindo significativamente para a melhoria das condições de vida dos pequenos produtores (WATANABE; OLIVEIRA, 2014). Recentemente, o mercado de frutas exóticas experimentou um crescimento notável, criando oportunidades lucrativas para os produtores e despertando um crescente interesse entre os consumidores (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; LE BELLEC et al., 2006).

A pitaya (*Hylocereus sp.*), uma fruta exótica comumente conhecida por sua aparência vibrante e características sensoriais distintas, tem ganhado destaque no mercado de frutas exóticas, especialmente na Europa e nos Estados Unidos. No Brasil, a pitaya está emergindo como uma oportunidade promissora, com cultivos crescendo em várias regiões, especialmente em São Paulo, devido ao aumento da demanda por frutas exóticas (BASTOS et al., 2006; FRÓES JÚNIOR et al., 2019).

Entre as variedades de pitaya, *Hylocereus costaricensis*, conhecida como pitaya vermelha, destaca-se pela sua casca avermelhada e polpa de cor vermelho-púrpura. Essa fruta é notável por seus elevados níveis de compostos bioativos, que conferem uma atividade antioxidante superior. A polpa, rica em ácido ascórbico, glicose e frutose, representa a maior parte do peso do fruto. Por outro lado, a casca, frequentemente descartada, contém altas concentrações de betalaínas, compostos fenólicos e flavonoides, que podem ser aproveitados na produção de corantes

naturais, oferecendo uma alternativa mais sustentável e valorizando integralmente o fruto (CHEW et al., 2019; MELLO et al., 2015).

Apesar de seu significativo potencial, a pitaya enfrenta desafios associados à sua alta perecibilidade, o que pode comprometer a qualidade e o valor comercial dos frutos após a colheita. A conservação eficaz é crucial para minimizar perdas e assegurar uma distribuição eficiente dos produtos, garantindo que eles cheguem ao mercado em condições ideais (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; SINGH; SHARMA, 2018).

A secagem é uma técnica antiga e eficaz para conservar alimentos com alto teor de água, como frutas, que possuem mais de 80% de umidade. Esse método remove a água dos alimentos através da aplicação controlada de calor, o que previne o crescimento de microrganismos e a atividade enzimática (CORNEJO et al., 2003; SILVA et al., 2021; WAGHMARE, 2021). Além de prolongar a vida útil dos alimentos, a secagem permite sua disponibilidade durante todo o ano e reduz custos com embalagem, armazenamento e transporte (BERNAERT et al., 2019; SOSSA et al., 2021). Na indústria alimentícia e farmacêutica, a secagem utiliza mecanismos de transferência de calor, como condução, convecção e radiação, além de fontes eletromagnéticas, como micro-ondas e infravermelho, para otimizar a desidratação (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2020; CUNHA et al., 2021).

Para enfrentar esses desafios, técnicas avançadas de secagem, como *spray dryer* e *refractance window*, podem ser empregadas para transformar a pitaya em pó, preservando seus compostos bioativos. A secagem por *spray dryer*, amplamente utilizada na indústria alimentícia e farmacêutica, é valorizada por sua eficiência e capacidade de preservar cor, sabor e aroma dos produtos (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009). Por outro lado, a secagem por *refractance window*, uma tecnologia mais recente e econômica, utiliza água como meio para transmitir calor e promete reduzir impactos negativos sobre as propriedades nutricionais e organolépticas dos alimentos (CALTOLDI, 2012; PARMAR; DHAMSANIYA, 2023).

Estudos como os de Dadhaneeya et al. (2023), Gautam e Abdul (2020) e Susanti et al. (2020) demonstram que tanto a secagem por *spray drying* quanto a secagem por *refractance window* oferecem vantagens distintas. Ambas as técnicas são amplamente pesquisadas para a otimização dos processos e a preservação da qualidade dos compostos bioativos.

Na indústria moderna, o objetivo deve ser sempre alcançar produtos de excelência, o que demanda um constante aprimoramento das técnicas utilizadas. No contexto da secagem, diversas variáveis podem influenciar significativamente o resultado final. Para lidar com essa complexidade, diversos estudos têm aplicado a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), uma técnica que permite a otimização de processos. A MSR é particularmente útil na análise e otimização de processos complexos, onde múltiplos fatores e suas interações impactam os resultados. Este método envolve a aplicação de procedimentos matemáticos e estatísticos para investigar a relação entre variáveis independentes e uma ou mais variáveis dependentes, visando aprimorar a qualidade e a eficiência do processo antes da produção em larga escala (AMIRI-RIGI et al., 2011; RAI et al., 2009).

Embora a pitaya seja amplamente consumida, há uma carência de estudos sobre a secagem para produção de pós e a análise dos compostos bioativos da fruta integral. A maioria dos estudos existentes se limita a uma única metodologia de secagem e frequentemente utiliza apenas uma parte específica do fruto, como polpa, casca ou sementes, geralmente com foco na composição centesimal ou no desenvolvimento de corantes naturais, deixando de explorar de forma abrangente o potencial da fruta em diferentes contextos de processamento.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o processo de secagem integral da pitaya vermelha utilizando as metodologias de secagem em *spray dryer* e *refractance window*, e analisar os efeitos dessas técnicas nos produtos finais obtidos.

1.1.1 Objetivos específicos

- i. Avaliar o processo de secagem da pitaya vermelha e identificar as variáveis relevantes para a desidratação utilizando as técnicas de *spray drying* e *refractance window*.
- ii. Avaliar o impacto de cada metodologia de secagem nos teores de compostos fenólicos totais, flavonoides totais, acidez total, ácido ascórbico e betalaínas nos produtos obtidos.

- iii. Comparar os resultados obtidos com cada método de secagem aos teores de compostos bioativos presentes nos materiais *in natura* (antes da secagem).
- iv. Determinar qual das técnicas de secagem analisadas é mais eficaz para o processamento da pitaya.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pitaya (*Hylocereus* sp.)

No Brasil, as pitayas estão emergindo como uma oportunidade promissora, com cultivos iniciando em várias regiões do país, notadamente no estado de São Paulo. O interesse dos produtores por esta fruta tem crescido devido à demanda em ascensão por frutas exóticas e ao seu alto valor no mercado. A temporada de produção das pitayas geralmente se estende de novembro a maio (BASTOS et al., 2006).

A pitaya pertence à família das *Cactaceae*, que abrange cerca de 84 gêneros e 1.400 espécies nativas das Américas. Entre os gêneros mais significativos estão *Stenocereus*, *Cereus*, *Selenicereus* e *Hylocereus*. A planta é nativa do México, América Central e América do Sul (DONADIO, 2009; RUTHS et al., 2019). A origem etimológica do termo "pitaya" remete a "pitahaya", uma palavra dos Taínos, uma civilização pré-colombiana das ilhas da América Central, que significa "fruta escamosa". Este fruto é globalmente conhecido hoje como *dragon fruit* ou "fruta do dragão", devido à sua aparência escamosa (LIMA et al., 2013; NUNES et al., 2014).

As pitayas (Figura 1) são plantas xerófilas, encontradas em habitats rupícolas ou terrestres, com ramificação característica. Seus cladódios são inicialmente verdes, tornando-se pálidos com o envelhecimento, frequentemente adornados com espinhos de 1 mm a 4 mm de comprimento. Suas flores são hermafroditas, de cor branca, de grande porte com cerca de 20 a 30 cm de largura, e abrem durante a noite. Os frutos são globosos ou subglobosos, variando de 10 a 20 cm de diâmetro, podendo ter coloração amarela ou vermelha, e são cobertos por brácteas em forma de escamas. As sementes, de aproximadamente 3 mm de diâmetro, são numerosas, escuras, e distribuídas por toda a polpa do fruto (DONADIO, 2009; RUTHS et al., 2019).

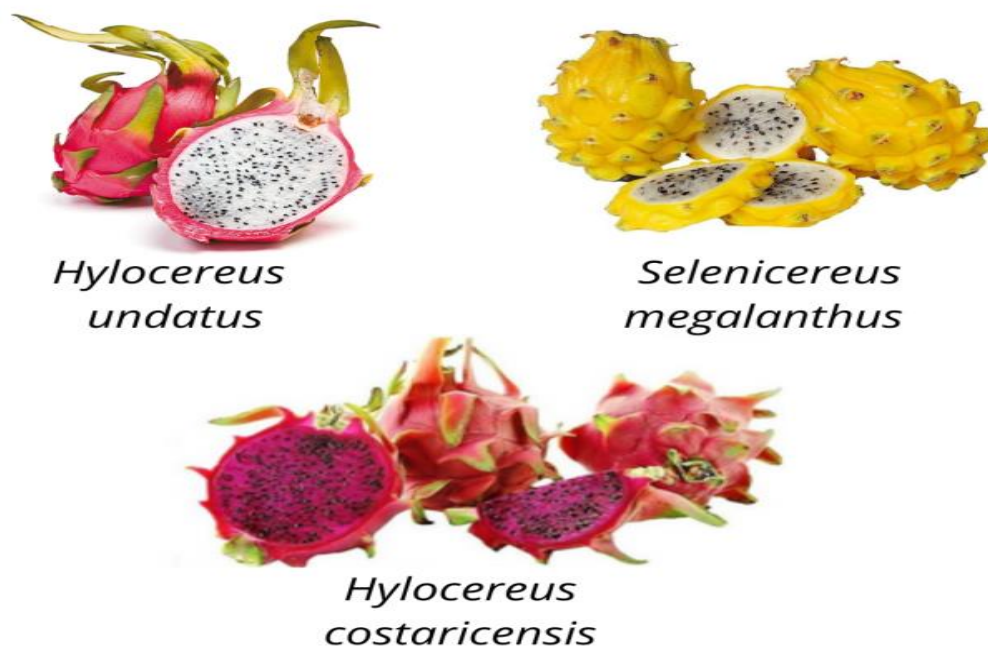
Figura 1 - Flores, caules e frutos da pitaya do gênero *Hylocereus*:



(A) Flores, caules e frutos da pitaya do gênero *Hylocereus*: (B) flor no seu florescer à noite; caules ramificados; (C) pitaya de *H. undatus* (esquerda) e *H. polyrhizus* (direita); (D) fruto e brácteas da pitaya da polpa vermelha e polpa branca, *H. polyrhizus* e *H. undatus* (D). Fonte: Adaptado de (LE; HUYNH; QUINTELA-ALONSO, 2021).

As principais variedades de pitayas (Figura 2) encontradas no mercado brasileiro são: *Hylocereus undatus*, que possui casca vermelha e polpa branca; *Hylocereus costaricensis* ou *polyrhizus*, que apresenta casca vermelha e polpa vermelho-púrpura brilhante; e *Selenicereus megalanthus*, cuja casca é amarela, com espinhos, e polpa branca. A espécie *Selenicereus megalanthus* é muito difundida na Colômbia e ainda pouco conhecida no Brasil. *Hylocereus undatus* e *Selenicereus megalanthus* são as variedades mais cultivadas e comercializadas mundialmente (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; JUNQUEIRA et al., 2010; RUTHS et al., 2019).

Figura 2 - Principais espécies de Pitayas



Fonte: adaptado de JUNQUEIRA *et al.*, (2010).

Segundo Nunes *et al.* (2014), a espécie *Hylocereus undatus* passou a ser cultivada no Brasil na década de 1990, no Estado de São Paulo e somente no ano de 2000 as outras espécies como a *Hylocereus costaricensis* foram introduzidas no país. Além dessas espécies, na região do Cerrado brasileiro, há uma espécie nativa conhecida popularmente como “pitaya saborosa ou pitaya do cerrado” (*Hylocereus setaceu*), possui a casca vermelha, polpa branca e é bastante espinhosa, sendo cultivada nas áreas do nordeste (LIMA *et al.*, 2013; RUTHS *et al.*, 2019).

Devido ao seu sabor adocicado, a pitaya pode ser consumida tanto *in natura* quanto em formas industrializadas como sucos, polpa, sorvete, mousse e geleias. Além disso, para aqueles que buscam uma alimentação saudável, esta fruta oferece diversas propriedades nutraceuticas benéficas para a saúde. Com baixo teor de lipídios, a pitaya pode complementar uma dieta equilibrada, sendo rica em flavonoides, vitamina C, vitaminas do Complexo B, fibras, nitrogênio, potássio, cálcio, ferro, manganês e zinco. Essa combinação de nutrientes a qualifica como uma superfruta. Além de seu consumo alimentar, a pitaya também é utilizada na produção de medicamentos, cosméticos e corantes naturais (FRÓES JÚNIOR *et al.*, 2019; NUNES *et al.*, 2014).

2.1.1 Produção e Comercialização

Segundo Ruths et al. (2021), a pitaya pode ser propagada tanto por sementes quanto por métodos vegetativos, como a estaquia. No método de estaquia, segmentos da planta são retirados e colocados em condições ideais para desenvolver raízes, permitindo uma produção precoce de frutos com uniformidade no cultivo. Esse método é preferível devido à capacidade de manter a uniformidade do plantel, preservar o valor agrônômico da planta e facilitar sua multiplicação.

Para o cultivo da pitaya, são necessários de 12 a 18 meses para que a planta inicie sua produção. A produtividade máxima é alcançada geralmente após quatro anos do plantio. A colheita dos frutos ocorre quando eles atingem o estágio completo de maturação. A pitaya tem uma expectativa de produção que varia entre 20 e 25 anos, dependendo do planejamento e da condução adequada do pomar (RUTHS et al., 2021; SANTOS et al., 2020).

Segundo a plataforma TRIDGE (2021), uma empresa global especializada em dados e mídia no setor agroalimentar, os principais exportadores de pitaya no mundo são países asiáticos como Tailândia (27,11%), Vietnã (18,07%) e China (5,97%). No período entre 2018 e 2021, houve um crescimento significativo nas exportações, com destaque para Hong Kong (181,68%) e Tailândia (77,9%). No entanto, o Vietnã registrou uma redução de 51,26% na produção durante esse período. Além disso, a China se destaca como o maior importador mundial de pitaya.

No Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2017, a produção de pitaya totalizou 1.459 toneladas, resultando em uma receita superior a 9,1 milhões de reais. No entanto, apenas 0,02% dos estabelecimentos agropecuários que se dedicam à lavoura permanente e temporária no país cultivam pitaya. Isso explica a alta taxa de importação do fruto devido à oferta interna limitada, resultando em um mercado restrito com preços elevados (BRASIL, 2017).

Em 2017, a região Sudeste do Brasil se destacou como a principal produtora de pitaya no país, contribuindo com 54,42% da produção total, impulsionada principalmente por seu clima favorável. Entre os estados, São Paulo liderou a produção nacional com 516,20 toneladas no ano, seguido por Santa Catarina com

328,49 toneladas e Minas Gerais com 185,91 toneladas. Esse aumento na produção reflete um crescente interesse dos consumidores paulistas por frutas exóticas nos últimos anos (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; NUNES et al., 2014).

Entretanto, uma das principais dificuldades na comercialização da pitaya está relacionada à sua perecibilidade. Após a colheita, os frutos começam a perder sua qualidade rapidamente, com um declínio acentuado na acidez e alterações no sabor. Além disso, a aparência dos frutos pode ser comprometida devido ao encolhimento das escamas, tornando a conservação um aspecto crucial durante a etapa de pós-colheita e comercialização (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; SINGH; SHARMA, 2018).

Martineli et al. (2021) estudaram as mudanças pós-colheita na pitaya vermelha e observaram que, seis dias após a colheita, houve um aumento na atividade respiratória e uma alteração na cor, resultando em perda de qualidade comercial. O controle da respiração torna-se crucial para manter a qualidade e prolongar a vida útil das frutas. As alterações pós-colheita diminuem a qualidade e o período de conservação, sendo principalmente causadas por danos mecânicos, injúrias pelo frio, deterioração, perda de água e doenças pós-colheita provocadas por fitopatógenos, que podem resultar em perdas de até 50 a 60% durante o armazenamento e a comercialização (SINGH; SHARMA, 2018).

Para reduzir as perdas pós-colheita devido à alta perecibilidade dos alimentos, superar a sazonalidade das produções e garantir uma distribuição eficiente até os centros de consumo, os produtores precisam adotar medidas rigorosas de controle. Isso inclui a implementação de técnicas avançadas de pós-colheita, programas de capacitação técnica, melhorias nas instalações de armazenamento e o uso de métodos de conservação adequados para preservar a qualidade e prolongar a vida útil das frutas (CASTRO et al., 2017).

Os frutos da pitaya podem ser processados de diversas formas, como congelamento, desidratação, fermentação, tratamento térmico e conservação química. Recentemente, produtos como polpa congelada e creme de pitaya estão se tornando populares no mercado alimentício, devido ao apelo da fruta exótica, sua cor vibrante e sabor refrescante (COUTINHO, 2020).

2.1.2 Pitaya Vermelha (*Hylocereus costaricensis*)

A espécie *Hylocereus costaricensis* ou *Hylocereus polyrhizus*, conhecidas como pitayas vermelhas (Figura 3), têm casca avermelhada e polpa vermelho-púrpura brilhante (NUNES et al., 2014; VELLANO et al., 2022). Apesar de as espécies *H. undatus* e *S. megalanthus* serem mais amplamente cultivadas e comercializadas mundialmente (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; LE BELLEC et al., 2006), a espécie *H. costaricensis* possui maiores teores de compostos fenólicos, o que lhe confere uma maior atividade antioxidante (CAPATO et al., 2021; JAYASREE; TANUJA, 2020).

Figura 3 - Pitaya vermelha (*Hylocereus costaricensis*), corte medial.



Fonte: o autor.

O desenvolvimento dos frutos de pitaya (Figura 4) é relativamente rápido, ocorrendo entre 34 e 42 dias após a antese, podendo ser antecipado em ambientes com altas temperaturas. A colheita é feita quando os frutos atingem uma coloração rosada na casca, indicando maturidade fisiológica (ALMEIDA et al., 2016). Segundo Wong e Siow (2015), a pitaya tem formato redondo ou oval, com casca vermelha e polpa succulenta que varia entre rosa e vermelho, com um sabor ligeiramente doce. A polpa contém pequenas sementes pretas intercaladas. A coloração roxa da polpa e a vermelha da casca são atribuídas principalmente ao pigmento betalaína (RAMLI; ISMAIL; RAHMAT, 2014).

Figura 4 - Estádios de desenvolvimento do fruto de pitaya.



Fonte: Adaptado de WU et al. 2019.

O estágio de maturidade adequado é crucial para garantir a qualidade final dos frutos de pitaya. Por se tratar de um fruto não climatérico, que não amadurece após a colheita, é essencial que a pitaya seja colhida no ponto ideal de maturação. Isso é fundamental para preservar suas características sensoriais e nutricionais, além de manter um sabor excelente pós-colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Após a colheita, a pitaya deteriora-se rapidamente em temperatura ambiente, apresentando uma vida útil relativamente curta de aproximadamente 6 a 8 dias sob condições naturais (CAVALCANTE, 2008).

A polpa, ou mesocarpo, constitui de 60 a 80% da massa dos frutos maduros e é caracterizada por uma textura mucilaginosa com pequenas sementes macias distribuídas uniformemente. Após a remoção das sementes, a polpa representa cerca de 55% do peso total do fruto, embora essa proporção possa variar entre diferentes espécies. Os principais açúcares encontrados na polpa são glicose e frutose (LIMA et al., 2013). A casca do fruto, por sua vez, representa aproximadamente 18 a 24% da massa total do fruto (CHEW et al., 2019).

Abreu et al. (2012), em seu estudo sobre a caracterização físico-química das pitayas vermelhas (*H. polyrhizus*), identificaram a presença de várias substâncias antioxidantes como ácido ascórbico, carotenoides e polifenóis. Essas descobertas têm despertado interesse no fruto devido ao potencial benefício dessas substâncias para a saúde humana. Além disso, foram relatadas vitaminas B1, B2, B3, betacaroteno, licopeno, vitamina E, e a presença significativa de polifenóis, potássio e magnésio.

2.1.3 Pitaya e seus Benefícios para a Saúde

Conforme Nunes et al. (2014), a pitaya era amplamente utilizada por povos indígenas da América do Sul como um remédio para diversas condições, incluindo infecções intestinais e deficiências alimentares. Este fruto oferece diversos benefícios para a saúde, sendo reconhecido por sua eficácia no combate à anemia, na melhoria da flora intestinal, no suporte cardiovascular, além de ajudar no controle dos níveis de glicose e colesterol (DONADIO, 2009; FRÓES JÚNIOR et al., 2019).

Atualmente, o consumo de frutas e vegetais tem sido amplamente associado à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), que incluem condições como diabetes mellitus (DM), câncer, doenças cardíacas, obesidade e deficiências de micronutrientes. O consumo desses alimentos proporciona micronutrientes essenciais, fibras alimentares e fitoquímicos que contribuem para a manutenção da saúde (MALEKIA, CRESPOB, CABANILLAS, 2019; POOLSUP; SUKSOMBOON; PAW, 2017; RAMLI et al., 2014).

Além disso, a fitoterapia é uma modalidade de tratamento não farmacológico que utiliza plantas e frutos como medicina tradicional ou alternativa. Produtos naturais são empregados tanto como tratamento primário, suplementos, ou em conjunto com medicamentos alopáticos como adjuvantes terapêuticos. Atualmente, há um expressivo interesse na pesquisa para desenvolver produtos naturais com propósitos terapêuticos (RAMLI et al., 2014; WIDYANINGSIH et al., 2017).

Os alimentos funcionais são aqueles que, além de fornecer nutrientes básicos, oferecem benefícios adicionais à saúde. Entre os nutracêuticos estão incluídas as fibras alimentares, probióticos, prebióticos, ácidos graxos poli-insaturados, vitaminas antioxidantes, polifenóis e especiarias (JOSHI; PRABHAKAR, 2020). As pitayas das espécies *Hylocereus* e *Selenicereus* são consumidas globalmente devido aos seus efeitos fitoterápicos e nutracêuticos, aproveitando-se das folhas, flores, polpa, sementes e casca do fruto (; POOLSUP; SUKSOMBOON; PAW, 2017; RAMLI et al., 2014; WIDYANINGSIH et al., 2017).

Atualmente reconhecida como alimento funcional, a pitaya oferece frutos ricos em fitoconstituintes bioativos, ideais para formulações nutracêuticas. A polpa da fruta é uma fonte conhecida de vitaminas essenciais como as do complexo B e vitamina C,

além de minerais como cálcio e fósforo. Pigmentos como a betacianina estão presentes tanto na polpa quanto na casca, enquanto as sementes contêm óleos essenciais. Devido a essas características, a fruta exibe propriedades antioxidantes significativas, sendo considerada importante no combate aos radicais livres (FRÓES JÚNIOR et al., 2019; JOSHI; PRABHAKAR, 2020; VISHAKHA; SINGH; DUNKWAL, 2021).

Devido ao seu alto teor de compostos fenólicos, a pitaya é reconhecida como um alimento com elevado poder antioxidante. Esses compostos têm a capacidade de ajudar na redução do colesterol LDL, conhecido como o colesterol "ruim", contribuindo para a diminuição dos riscos relacionados às doenças cardiovasculares (JOSHI; PRABHAKAR, 2020; SINHA et al., 2018). Além disso, as sementes contêm ácidos graxos essenciais como ácido linoleico e ácido linolênico, também conhecidos como ômega 6 e ômega 3, respectivamente, além de gorduras poli-insaturadas. Esses ácidos graxos auxiliam na redução dos níveis de triglicerídeos e na conversão do colesterol LDL em colesterol HDL, o "bom colesterol", o que também contribui para a prevenção de doenças cardiovasculares. Além disso, as sementes são utilizadas para tratar constipação intestinal devido às suas propriedades laxativas (JAYASREE; TANUJA, 2020; JOSHI; PRABHAKAR, 2020).

O consumo dessa fruta promove efeitos prebióticos, principalmente devido aos oligossacarídeos presentes, que são açúcares não digeríveis. Esses oligossacarídeos melhoram as atividades das bactérias no trato intestinal, estimulando o crescimento de lactobacilos e bifidobactérias, conhecidos por suas propriedades prebióticas. Os prebióticos estão associados à modulação intestinal, ao metabolismo e à absorção de nutrientes (JOSHI; PRABHAKAR, 2020; HUANG et al., 2021).

Ramli et al. (2014) conduziram um estudo utilizando 48 ratos machos da linhagem *Wistar* (idade entre 8 e 9 semanas; peso 337 ± 5 g) para investigar os efeitos da suplementação com 5% de suco de pitaya vermelha na função metabólica, hepática e renal de ratos alimentados com uma dieta rica em carboidratos e gordura. Alimentos ricos em açúcar e gordura são conhecidos por serem palatáveis e por inibir os sinais de saciedade, aumentando a ingestão de energia. Os resultados indicaram que a suplementação com suco de pitaya vermelha aumentou significativamente a ingestão de energia nos ratos, sugerindo que a fruta possui uma quantidade

significativa de macronutrientes fornecedores de energia. Além disso, observou-se uma tendência de redução da rigidez do coração e melhora do dano hepático associados à dieta rica em carboidratos e gordura.

As vitaminas e minerais presentes na pitaya oferecem diversos benefícios ao organismo. A vitamina B1 é essencial para o metabolismo dos carboidratos e para aumentar a produção de energia. A vitamina B2 ajuda a melhorar o apetite e a recuperar perdas nutricionais. A vitamina B3 contribui para a redução dos níveis de colesterol LDL, conhecido como "colesterol ruim". A vitamina C desempenha um papel fundamental no fortalecimento do sistema imunológico, estimulando a atividade antioxidante e facilitando a absorção de ferro para combater a anemia. Além disso, o alto teor de fósforo e cálcio na pitaya fortalece os ossos e desempenha um papel crucial na formação dos tecidos corporais (WIDYANINGSIH et al., 2017; JOSHI; PRABHAKAR, 2020).

A anemia é uma deficiência nutricional significativa, caracterizada pela redução no número ou tamanho dos glóbulos vermelhos ou na concentração de hemoglobina, prejudicando o transporte de oxigênio pelo sangue. Em adultos, especialmente mulheres em idade reprodutiva, gestantes e lactantes, a anemia é frequentemente causada pela deficiência de ferro. Esta condição é especialmente preocupante durante a gestação, associada a maior risco de aborto espontâneo, natimorto, prematuridade e baixo peso ao nascer, contribuindo para a mortalidade e morbidade materna e infantil. A pitaya, por exemplo, contém aproximadamente 0,55g de ferro por 100 gramas, destacando-se como uma fonte potencialmente benéfica para combater esta condição (WIDYANINGSIH et al., 2017).

Devido ao seu alto teor de fibras, especialmente na casca, a pitaya desempenha um papel significativo na digestão e na regulação dos níveis de glicose no sangue. Essas propriedades fazem dela um alimento destacado em estudos para o tratamento do pré-diabetes e diabetes tipo 2 (JAYASREE; TANUJA, 2020; HUANG et al., 2021). Além do consumo da fruta, os extratos aquosos das folhas, casca, polpa e flores da pitaya têm sido reconhecidos por suas propriedades como potentes agentes cicatrizantes. A cicatrização é particularmente desafiadora para pacientes diabéticos, tornando o uso dessa planta relevante não apenas para o tratamento da

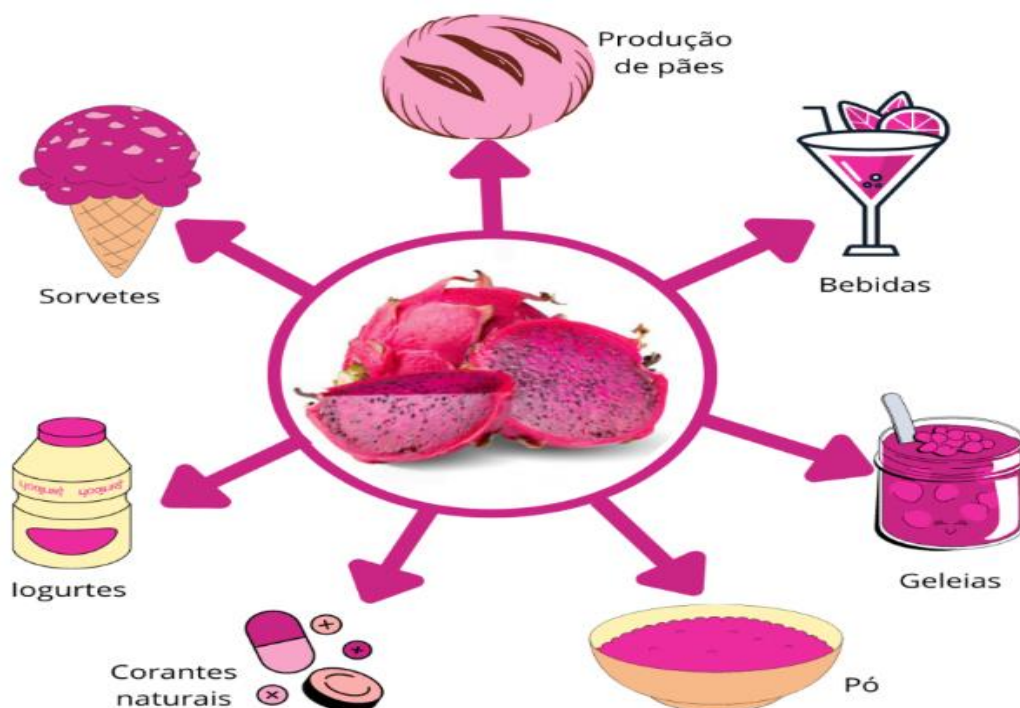
diabetes, mas também para suas complicações (JOSHI; PRABHAKAR, 2020; VISHAKHA; SINGH; DUNKWAL, 2021).

O câncer, juntamente com o diabetes mellitus, figura entre as doenças com maiores índices de mortalidade global. A pitaya tem sido objeto de estudos devido às suas propriedades anticancerígenas, atribuídas à sua riqueza em antioxidantes, especialmente polifenóis, flavonoides, ácido ascórbico e betacianinas. Esses compostos têm demonstrado efeitos benéficos significativos, especialmente no combate ao câncer de próstata, mama e estômago (JAYASREE; TANUJA, 2020; HUANG et al., 2021; POOLSUP; SUKSOMBOON; PAW, 2017; SINHA et al., 2018).

2.1.4 Produção de Alimentos

A pitaya é uma fruta com um enorme potencial na indústria de alimentos, devido às suas características funcionais e organolépticas distintas. A polpa da pitaya tem um sabor doce e suave, sendo versátil tanto para consumo *in natura* quanto para o desenvolvimento de novos produtos industrializados, como iogurtes, sorvetes, geleias e bebidas (Figura 5). Além disso, o alto teor de fibras na casca permite seu processamento como substituto de outras farinhas, agregando valor nutricional aos produtos finais (LIMA et al., 2014; ROCHA; GODOY; CUNHA, 2020; SANTOS et al., 2016).

Figura 5 - Utilização da pitaya na indústria de alimentos.



Fonte: adaptado de LIMA et al., 2014; ROCHA; GODOY; CUNHA, 2020; SANTOS et al., 2016.

Outra aplicação promissora da pitaya está na sua casca, que devido à sua coloração exuberante, pode ser utilizada para produzir corantes naturais. Produtos coloridos são conhecidos por estimular o paladar e aumentar o desejo de consumo. Na indústria de alimentos, essa técnica é frequentemente empregada na produção de embutidos, tradicionalmente coloridos com corantes sintéticos, que em alguns casos podem ser tóxicos e até cancerígenos. A substituição por corantes naturais derivados da pitaya não apenas agrega valor aos produtos, mas também oferece pigmentos com atividades antioxidantes, tornando-os mais seguros e saudáveis para o consumo (LIMA et al., 2020; OKTAVININGSIH et al., 2015; ROCHA; GODOY; CUNHA, 2020).

O estudo conduzido por Oktaviningsih et al. (2015), teve como objetivo enriquecer o valor nutricional das salsichas de frango através da adição de casca de pitaya vermelha em diferentes proporções (0%, 5%, 10%, 15% e 20%). Utilizando um método experimental com delineamento inteiramente casualizado, os pesquisadores aplicaram 5 tratamentos distintos, cada um com 5 repetições. A composição inicial das salsichas incluía 20% de carne de frango, 20% de farinha de tapioca, além de alho, cebola, pimenta, noz-moscada, açúcar, sal, óleo, ovo, STPP (trifosfato de sódio) e cubos de gelo. Os resultados demonstraram que a inclusão de 20% de casca de pitaya resultou em salsichas com textura mais suave e coloração mais avermelhada.

Moraes et al. (2021), investigaram *blends* de frutas, combinando polpa de pitaya (*Hylocereus undatus*) com polpa de acerola (*Malpighia emarginata*) em diferentes proporções (1° - 90% pitaya e 10% acerola, 2° - 70% pitaya e 30% acerola, 3° - 50% pitaya e 50% acerola). Esses blends são formulações planejadas de sucos ou polpas que visam enriquecer o valor nutricional, oferecendo altos teores de vitaminas e propriedades funcionais únicas, além de aproveitar frutas excedentes da safra e introduzir novos produtos no mercado. Após análises físico-químicas e colorimétricas, observou-se que o blend com maior proporção de pitaya destacou-se. Por outro lado, a formulação equilibrada apresentou teores superiores de ácido ascórbico devido à contribuição da acerola, conhecida por sua alta concentração de vitamina C. Os resultados indicaram que essas combinações permitiram desenvolver um produto inovador, com desempenho nutricional e funcional notáveis, além de oferecer uma solução prática para o aproveitamento de frutas maduras e excedentes da produção, agregando valor econômico ao produto final.

A produção de bebidas alcoólicas é uma das atividades mais antigas da humanidade. Capato et al. (2021) estudaram o uso de pitayas das espécies de polpa branca e vermelha na produção de vinho. Os autores concluíram que ambas as espécies são excelentes substratos para a produção de vinho, oferecendo viabilidade e promovendo novas oportunidades para o aproveitamento dessa fruta na indústria de bebidas alcoólicas.

Por outro lado, Santa et al. (2020) realizaram um estudo para desenvolver uma cerveja do estilo *frutbier*, adicionando pitaya vermelha e avaliando seus efeitos. Os autores destacaram que a pitaya contribuiu positivamente para a cor da cerveja e aumentou a concentração de fenólicos totais, sem comprometer as características essenciais da bebida ou interferir negativamente no processo de produção. A produção de cervejas do estilo fruitbier foi apontada como uma estratégia para diferenciar-se no mercado de cervejas especiais.

2.2 Potencial e Compostos Bioativos

Na pitaya, os compostos bioativos estão agrupados em categorias com base em sua estrutura química e função, incluindo compostos fenólicos, carotenoides e betacianinas (FERRERES et al., 2017). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária

(ANVISA) define compostos bioativos, também conhecidos como fitoquímicos, como substâncias consumidas como parte dos alimentos, que possuem efeitos metabólicos ou fisiológicos específicos no organismo humano. Esses compostos incluem vitaminas, minerais, enzimas e metabólitos secundários de plantas (BRASIL, 2016).

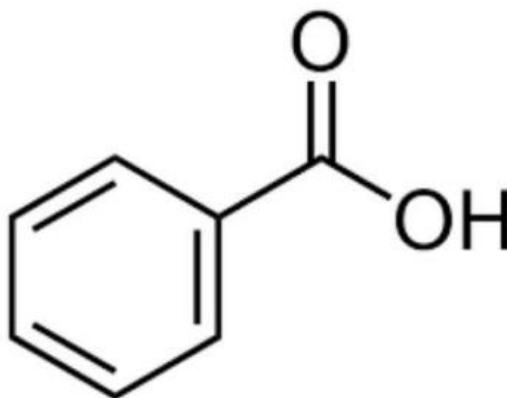
Nos próximos tópicos, serão detalhadas as características dos compostos bioativos analisados neste estudo. Será abordada a composição e a importância dos compostos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico e betalaínas, compostos presentes no fruto de pitaya. A análise desses compostos visa compreender melhor suas funções e potenciais benefícios. Esta abordagem fornecerá uma visão abrangente sobre o perfil bioativo da pitaya.

2.2.1 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos são moléculas classificadas como metabólitos secundários em plantas, apresentando uma ampla variedade de estruturas e funções. Eles podem ser categorizados em hidrossolúveis, como ácidos fenólicos, fenilpropanóides, flavonoides e quinonas, e insolúveis em água, como taninos condensados, ligninas e ácidos hidroxicinâmicos ligados à parede celular (HAMINIUK et al., 2012). Esses compostos são considerados essenciais e encontram-se em grandes quantidades no reino vegetal, sendo produzidos como resposta a várias condições, incluindo o estresse causado pela radiação UV (HAMINIUK et al., 2012; MALACRIDA; MOTTA, 2005).

Os compostos fenólicos são caracterizados por um anel aromático e podem conter um ou mais grupos hidroxila (Figura 6). Essas substâncias possuem atividades antioxidantes devido à sua capacidade de doar um átomo de hidrogênio da sua estrutura aromática aos radicais livres, mantendo-se estáveis após essa interação. Dessa forma, os radicais livres tornam-se moléculas estáveis, reduzindo assim o estresse oxidativo (GIADA; MANCINI FILHO, 2006; HAMINIUK et al., 2012; MALACRIDA; MOTTA, 2005).

Figura 6 - Estrutura química básica dos compostos fenólicos.



Fonte: Adaptado de SILVA, 2015.

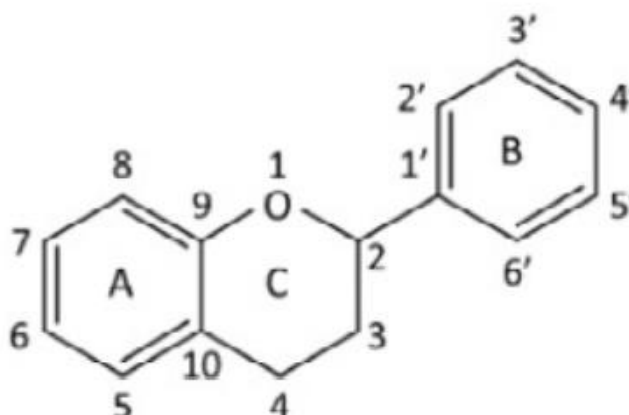
Esses compostos são essenciais na composição de pigmentos de flores e frutos, desempenhando papéis importantes na proteção contra pragas e funcionando como compostos alelopáticos. Além disso, são componentes estruturais e funcionais da matéria orgânica do solo e, nos organismos vivos, atuam como quelantes de metais de transição, entre outras funções (ZAIN; NAZERI; AZMAN, 2019).

As pitayas contêm uma variedade de compostos fenólicos, incluindo fenóis, cumarinas, flavonoides e taninos. No entanto, os fenólicos totais podem variar dependendo da espécie, cultivar e origem das frutas. Por isso, é crucial caracterizar as pitayas para compreender seu potencial nutricional e funcional (ABREU et al., 2012). Segundo Wu et al. (2006), ao avaliarem os conteúdos fenólicos da polpa e da casca da pitaya, observaram que ambas as partes são ricas em polifenóis.

2.2.2 Flavonoides

Os flavonoides representam a maior classe de compostos fenólicos encontrados nas plantas, sendo responsáveis pela pigmentação, sabor e atividades bioativas. Possuem uma estrutura química básica (Figura 7) com 15 carbonos organizados em dois anéis aromáticos ligados a um anel pirano heterocíclico. Conhecem-se aproximadamente 4.200 flavonoides, divididos em seis grupos principais: isoflavonas, flavanonas, flavanóis, flavonóis, flavonas e antocianidinas (KOPUSTINSKIENE et al., 2020; VERRUCK; PRUDENCIO; SILVEIRA, 2018).

Figura 7 - Estrutura química básica dos flavonoides.



Fonte: VERRUCK; PRUDENCIO; SILVEIRA, 2018

Devido à sua composição química que permite a neutralização de radicais livres, os flavonoides possuem atividade antioxidante, colaborando com outros antioxidantes como as vitaminas C e E. Além disso, certos flavonoides têm a capacidade de se ligar a íons metálicos, impedindo que atuem como catalisadores de radicais livres, atuando como quelantes de ferro. Assim, os flavonoides são reconhecidos por suas contribuições positivas na redução da inflamação, modulação da resposta imune, efeitos anticancerígenos e melhoria da microbiota intestinal (KOPUSTINSKIENE et al., 2020; VERRUCK; PRUDENCIO; SILVEIRA, 2018).

Segundo Esgote Junior (2017), a pitaya exibe uma forte ação antioxidante, sendo a casca a parte do fruto que contém a maior concentração de flavonoides, embora não seja normalmente consumida. Entre os flavonoides identificados estão rutina, quercetina, kaempferol e isorramnetina, compostos que são responsáveis por muitos dos benefícios nutricionais e funcionais associados a este fruto.

A concentração plasmática mais alta de flavonoides geralmente é alcançada entre 1 e 2 horas após a ingestão de alimentos ricos nesses compostos. Devido às suas interações com os macronutrientes, os flavonoides podem reduzir a absorção de glicose ao inibir enzimas envolvidas na quebra de carboidratos. Consumir alimentos que contenham lipídios pode melhorar a biodisponibilidade dos flavonoides, aumentando sua absorção intestinal devido ao aumento na secreção de sais biliares, que facilitam a formação de micelas que incorporam flavonoides. Por outro lado, a ingestão de proteínas pode diminuir a absorção dos flavonoides (KOPUSTINSKIENE

et al., 2020). Os metabólitos dos flavonoides que não são absorvidos podem ser degradados pela microbiota no cólon e posteriormente absorvidos ou excretados (VERRUCK; PRUDENCIO; SILVEIRA, 2018).

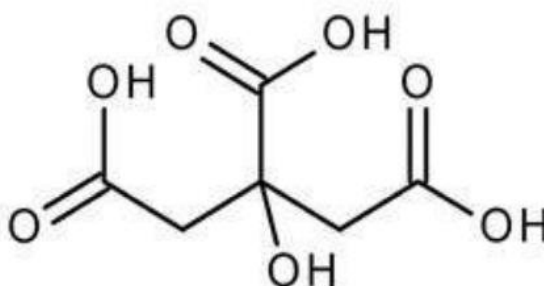
2.2.3 Ácido Cítrico

O teor de acidez é um indicador crucial da qualidade dos frutos, pois influencia na sua degradação, controle de microrganismos, atividades enzimáticas, características organolépticas, determinação do estado de maturação e escolha do método de conservação. Além disso, esses ácidos são fundamentais para a palatabilidade das frutas e a aceitação dos seus derivados (LIMA et al., 2013).

Os ácidos presentes nos frutos podem ser classificados em três tipos principais: ácido cítrico, ácido málico e ácido tartárico, dependendo do tipo predominante na fruta madura (GAO et al., 2018). Estudos realizados por Wu et al. (2019) identificaram a presença de ácido cítrico na pitaya vermelha madura, com uma concentração de 0,05 mg/g de peso seco.

O ácido cítrico (Figura 8), ou citrato de hidrogênio (2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico), é um ácido orgânico fraco encontrado em citrinos como laranjas, limões e tangerinas. Devido às suas propriedades antioxidantes, é amplamente utilizado na indústria de alimentos como conservante natural (AKBIYIK et al., 2012; PASTORE; HASAN; ZEMPULSKI, 2011). Sua adição acidifica os alimentos, ajudando a controlar o crescimento de microrganismos patogênicos como *Salmonella*, o que contribui para prolongar a vida útil dos alimentos (MAGALHÃES et al., 2019).

Figura 8 - Estrutura química do ácido cítrico.



Fonte: Adaptado de SILVA, 2015.

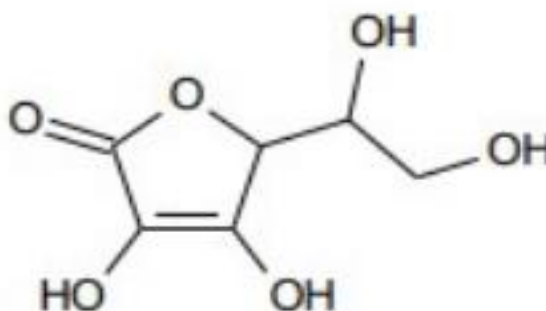
Também conhecido como acidulante INS 330, o ácido cítrico confere aos alimentos e bebidas um sabor ácido quando adicionado às suas formulações. Na indústria de alimentos, este ácido é produzido através da fermentação do microrganismo *Aspergillus niger*, em meio contendo altas concentrações de açúcar. A produção em larga escala de ácido cítrico depende diretamente da quantidade e qualidade do açúcar utilizado, assim como da linhagem específica do microrganismo (MAGALHÃES, et al., 2019; PASTORE; HASAN; ZEMPULSKI, 2011).

Aproximadamente 70% da produção de ácido cítrico é destinada à indústria alimentícia, enquanto 12% são utilizados na indústria farmacêutica e os restantes 18% são aplicados em outras indústrias (PASTORE; HASAN; ZEMPULSKI, 2011). Além de suas aplicações como acidulante, o ácido cítrico é valorizado por sua capacidade quelante, sendo utilizado, por exemplo, na limpeza de metais pesados (MAGALHÃES, et al., 2019).

2.2.4 Ácido Ascórbico

A vitamina C, também conhecida como ácido ascórbico (Figura 9), desempenha um papel crucial nos processos de oxirredução e atua como conservante em alimentos. Ela previne o escurecimento e outras reações oxidativas. O ácido ascórbico se oxida antes das outras moléculas presentes nos alimentos, protegendo-as desse processo. Dessa forma, é capaz de sequestrar radicais livres e neutralizar seus efeitos (LIZIERO; KARAHASANOVIC; SPAGNOL, 2017).

Figura 9 - Estrutura química do ácido ascórbico.



Fonte: Adaptado de QUINTÃO et al., 2016.

O ácido ascórbico é insolúvel na maioria dos solventes orgânicos e solúvel em água. É uma substância termolábil, apresentando cor branca ou amarelada, e se oxida facilmente tanto no estado sólido quanto em solução. Sua decomposição é acelerada pela exposição ao oxigênio, luz, aumento da temperatura, e pela presença de catalisadores metálicos e enzimas. Ele é mais estável em ambientes ácidos e se torna instável em meios alcalinos (MARTINELI et al., 2021; QUINTÃO et al., 2016).

Os seres humanos não são capazes de sintetizar vitamina C, portanto, é necessário obtê-la através da alimentação. Após o consumo, a vitamina C é absorvida pelos tecidos e transportada pela corrente sanguínea. Ela desempenha um papel essencial no crescimento e na reparação do tecido conectivo, além de ser fundamental para a síntese de colágeno. No entanto, fatores como calor, exposição ao ar e ambiente alcalino aceleram sua oxidação, especialmente quando os alimentos entram em contato com cobre, ferro ou enzimas oxidativas (MANGELA; MARTINS, 2021; PUHL et al., 2018).

Conforme a Ingestão Diária Recomendada (IDR) para vitamina C sugerida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que é de 45 mg/dia para adultos e que alimentos que contenham no mínimo 15% da IDR em 100g podem ser considerados como fonte de vitamina C. Portanto, a pitaya vermelha pode ser considerada uma ótima fonte de vitamina C *in natura*, já que apresenta valores superiores ao mínimo necessário para essa classificação.

A deficiência de vitamina C pode levar a complicações sérias e até fatais, como o escorbuto, uma condição resultante da hipovitaminose de ácido ascórbico. O escorbuto enfraquece as estruturas de colágeno, prejudica a imunidade e compromete a cicatrização, aumentando a vulnerabilidade a infecções graves, como a pneumonia. Devido à limitada capacidade do organismo de armazenar vitaminas hidrossolúveis, é crucial uma ingestão regular de vitamina C para prevenir a deficiência. Uma dieta diária de 100 a 200 mg de vitamina C é geralmente suficiente para manter níveis adequados e reduzir o risco de doenças relacionadas à sua falta. Entretanto, em situações de infecções ou condições como o diabetes tipo 2, as necessidades podem ser superiores (CARR; MAGGINI, 2017).

Martineli et al. (2021) estudaram as alterações pós-colheita da pitaya vermelha em duas safras distintas, observando que os frutos colhidos em 2019 apresentaram

um conteúdo de ácido ascórbico inferior (11,58 mg/100 g) em comparação com os produzidos em 2020 (20,42 mg/100 g). Essas diferenças nos níveis de ácido ascórbico foram atribuídas a fatores ambientais, como condições climáticas.

Zitha et al. (2022) investigaram o efeito da vitamina C em diferentes estágios de desenvolvimento da pitaia vermelha para determinar o momento ideal de colheita. Eles encontraram uma redução significativa no conteúdo de vitamina C ao longo do desenvolvimento da fruta, com níveis variando de 84,07 a 18,92 mg/100 g de peso fresco entre 28 e 42 dias após a antese, respectivamente.

Os teores de vitamina C nas frutas podem variar consideravelmente, sendo afetados por condições edafoclimáticas, como o tipo de solo e o clima, bem como pelo estágio de maturação das frutas. Esses fatores influenciam diretamente a composição nutricional e as propriedades fitoquímicas da pitaia vermelha (MARTINELLI et al., 2021).

2.2.5 Betalaína

As betalaínas são pigmentos hidrossolúveis que se acumulam em diversas partes das plantas da ordem *Caryophyllales*, incluindo folhas, raízes, caules, frutos, flores, brácteas, pecíolos e sementes. No entanto, as famílias *Caryophyllaceae* e *Molluginaceae* são exceções, onde as cores são atribuídas às antocianinas (CASTRO-ENRÍQUEZ et al., 2020). Além das plantas, as betalaínas também são encontradas em certos fungos, como *Amanita*, *Hygrocybe* e *Hygrosporus*, conforme ilustrado na figura 10. Entre as plantas comestíveis pigmentadas por betalaínas estão a primavera (*Bougainvillea spp.*), o amaranto (*Amaranthus spp.*), a beterraba (*Beta vulgaris L.*), frutos de cactos como o figo-da-índia (*Opuntia spp.*), a pitaia (*Hylocereus spp.*) e a acelga colorida (*Beta vulgaris cicla*) (POLTURAK; AHARONI, 2018).

As betalaínas se dividem em dois grupos principais: betacianinas e betaxantinas (Figura 10). As betacianinas são responsáveis por cores vermelho-púrpura, enquanto as betaxantinas conferem tonalidades amarelo-alaranjadas (KHOO et al., 2022; MELLO et al., 2015; NUNES et al., 2014). Além de suas funções como corantes naturais, as betalaínas possuem propriedades antioxidantes significativas, capazes de eliminar radicais livres e inibir o estresse oxidativo. Essas qualidades

tornam os betalaínas atraentes para a indústria alimentícia, como alternativa aos corantes sintéticos (NUNES et al., 2014; VELLANO et al., 2022).

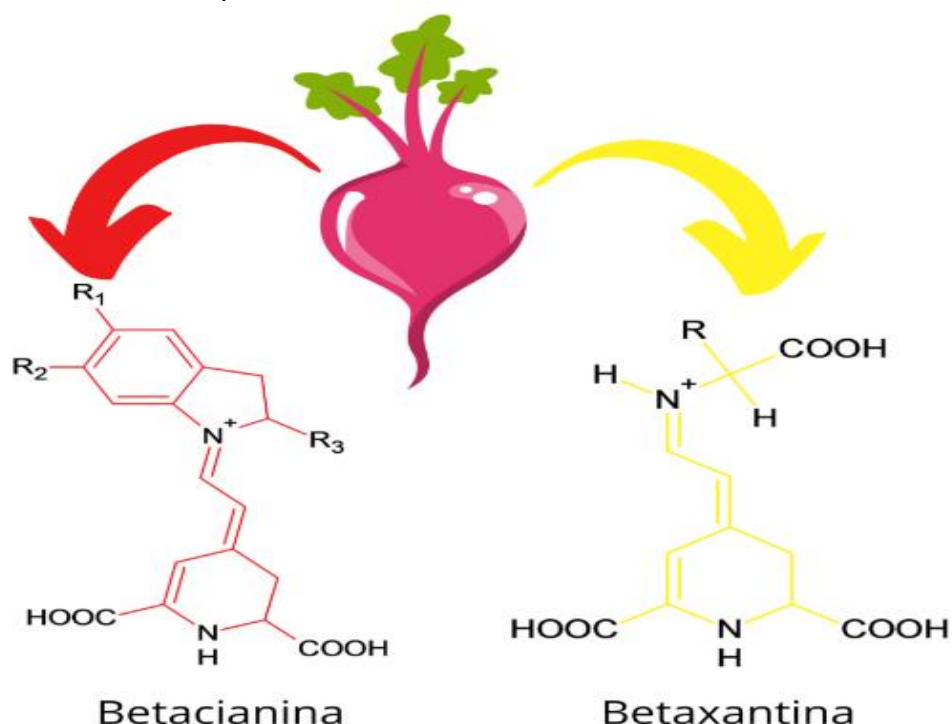
Figura 10 - Fontes de betalaínas.



Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2015).

A forma mais direta de quantificar os pigmentos de betalaínas é por espectrofotometria. As betaxantinas (amarelo) absorvem luz visível em comprimentos de onda de 470 a 480 nm, enquanto as betacianinas (vermelho) absorvem em 530 a 540 nm. Portanto, os comprimentos de onda mais eficazes para a leitura são 480 nm para betaxantinas e 535 nm para betacianinas (NADERI et al., 2012; VELLANO et al., 2022).

Figura 11 - Estruturas químicas das betalaínas: betacianinas e betaxantinas.



Fonte: Adaptado de Sadowska-Bartosz e Bartosz (2021).

Nos últimos anos, as empresas têm substituído os corantes artificiais por naturais, apesar de que, em alguns casos, os corantes artificiais ofereçam menores custos de produção e características tecnológicas desejáveis. Contudo, esses corantes artificiais têm enfrentado crescente rejeição por parte dos consumidores, o que tem impulsionado a busca por alternativas naturais (HUANG et al., 2021).

Atualmente, a beterraba (*Beta vulgaris*) é a principal fonte de betalaína na indústria alimentícia, e o corante extraído da beterraba vermelha é rotulado como E162. Este corante é amplamente utilizado em alimentos processados, como laticínios e sobremesas congeladas (MELLO et al., 2015; GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2016). O teor de betalaína na beterraba varia significativamente entre diferentes cultivares ao redor do mundo, com uma média que vai de 200 a 2100 mg/kg de peso fresco. Dentre as betalaínas presentes, estima-se que 75-95% sejam betacianinas, enquanto o restante é composto por betaxantinas. Além disso, os níveis desses pigmentos são geralmente mais altos na casca da beterraba do que no interior da raiz (SADOWSKA-BARTOSZ; BARTOSZ, 2021).

Uma desvantagem da extração de corante da beterraba, em comparação com outros alimentos, é sua composição química, que inclui substâncias como geomina e pirazina. Essas substâncias conferem à beterraba um aroma intenso e um sabor terroso, o que pode dificultar sua aceitação por alguns consumidores na indústria alimentícia (LIMA et al., 2020; MELLO et al., 2015). Além disso, a alta concentração de nitrato na beterraba está associada à formação de nitrosaminas, que são potencialmente carcinogênicas. O risco de transporte de bactérias presentes no solo também é um ponto negativo para o uso do corante de beterraba (RORIZ et al., 2017).

Entre os corantes naturais que oferecem um espectro de cor semelhante destaca-se o carmim de cochonilha e o corante extraído da pitaya. O carmim de cochonilha, no entanto, está caindo em desuso devido à rejeição crescente dos consumidores, à sua incompatibilidade com o mercado vegano e à sua baixa produção no Brasil, o que torna a oferta altamente dependente de importações (RODRIGUEZ-AMAYA, 2018).

Em contraste, a betalaína extraída da pitaya oferece uma gama de cores que varia do amarelo-alaranjado ao vermelho-púrpura, sem alterar o sabor dos alimentos. Entretanto, reações químicas como isomerização, glicólise e hidrólise podem ocorrer durante a extração desses pigmentos, especialmente quando expostos à luz, altas temperaturas e pH elevado (MELLO et al., 2015; VELLANO et al., 2022). No caso do extrato de pitaya vermelha, foi observado que pH acima de 7 e temperaturas de extração superiores a 25 °C aceleram a deterioração das betacianinas (KHOO et al., 2022).

A casca da pitaya representa aproximadamente 18 a 24% do peso total do fruto, mas frequentemente é descartada durante o processamento. No entanto, esse resíduo pode ser aproveitado na produção de corantes naturais, pois contém altas concentrações de betalaínas, além de ser rica em compostos fenólicos e apresentar elevada atividade antioxidante (MELLO et al., 2015; VELLANO et al., 2022).

Vellano et al. (2022) tiveram como objetivo extrair pigmentos da casca de pitaya usando diferentes solventes e avaliar sua estabilidade. Os autores constataram que os solventes etanólicos aquosos proporcionaram os maiores rendimentos de betacianina, com concentrações de 449 mg/L para etanol e 655 mg/L para etanol-água a 50%. Embora o metanol seja frequentemente utilizado na extração devido à

sua polaridade, ele é considerado tóxico e perigoso, além de apresentar riscos ambientais maiores em comparação com outros álcoois. Por isso, os autores optaram por utilizar apenas água e etanol para a extração.

Gengatharan, Dykes e Choo (2015) compararam as propriedades corantes da betacianina extraída da pitaya vermelha com o corante comercial de beterraba vermelha, E-162, aplicando ambos em iogurte. Após 14 dias de refrigeração, a perda de betacianina foi semelhante para ambos os corantes. Além disso, a aceitabilidade da cor proporcionada pelo corante da pitaya foi comparável à do corante E-162. Esses resultados destacam o potencial das betacianinas da pitaya vermelha como uma alternativa natural viável para corantes.

Schweggert (2018) demonstrou uma relação direta entre a concentração de betacianinas na polpa de pitaya vermelha e a maturação dos frutos, medida em dias após a florada. O estudo revelou que o teor total de betacianinas em frutos colhidos 35 dias após a florada foi de 11,70 mg/mL de peso fresco, enquanto em frutos colhidos 10 dias antes, ou seja, 25 dias após a florada, a concentração foi de 2,4 mg/mL de peso fresco. Esses resultados sugerem que tanto as condições edafoclimáticas quanto o estágio de maturação dos frutos têm um impacto significativo no teor de betacianinas (KUSZNIEREWICK et al., 2021).

2.3 Secagem

A secagem é um processo crucial que envolve a transferência de calor e massa para remover a umidade dos materiais alimentícios, resultando em produtos na forma de folhas, flocos, filmes, pós ou grânulos. Sendo um dos métodos mais eficazes e antigos para a conservação de alimentos com alto teor de água, como as frutas, que contêm mais de 80% de água. O processo envolve a remoção da umidade dos alimentos através da aplicação controlada de calor, o que impede o crescimento microbiano e a atividade enzimática (SILVA et al., 2021; WAGHMARE, 2021).

Além de prolongar a vida útil do produto, a secagem oferece a vantagem de tornar os alimentos disponíveis mesmo fora de época, além de reduzir os custos com embalagem, armazenamento, manuseio e transporte (BERNAERT et al., 2019;

SOSSA et al., 2021). O processo de secagem também tem aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2020).

Os equipamentos de secagem industrial representam, em média, cerca de 25% do consumo de energia nas indústrias de processamento de alimentos. Algumas indústrias tem investido em esforços acompanhados pela adoção de técnicas de secagem mais sustentáveis, com o objetivo de reduzir a liberação de gases tóxicos no meio ambiente (RAGHAVI et al., 2018; SANTOS et al., 2022).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), trabalha na redução do consumo de energia e das emissões dos gases do efeito estufa, demonstrando uma necessidade mundial para o desenvolvimento de novos equipamentos e técnicas de secagem para melhorar tanto a eficiência térmica e energética, como também reduzir os custos operacionais e melhorar a qualidade dos produtos (WAGHMARE, 2021).

Entre as variáveis que podem influenciar a velocidade de remoção da umidade, ou seja, a taxa de secagem, estão a natureza física e química do material, o método de secagem e as condições de processamento. Um dos principais desafios na desidratação eficiente é alcançar um processo que seja energeticamente sustentável e, ao mesmo tempo, produza um produto final de alta qualidade para o mercado consumidor (FRABETTI; DURIGON; LAURINDO, 2018).

Os equipamentos de secagem geralmente utilizam os três mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) para transferir energia ao material. O calor pode ser aplicado diretamente por meio de um gás aquecido ou indiretamente através de uma superfície aquecida. Além disso, fontes eletromagnéticas, como micro-ondas, infravermelho e radiofrequência, também são empregadas como métodos de aquecimento para otimizar o processo de desidratação (CUNHA et al., 2021).

Na desidratação convectiva, uma das técnicas mais amplamente utilizadas na indústria alimentícia, o calor é transferido diretamente do material para o ar, que transporta a água evaporada. No entanto, essa técnica pode estar associada à perda de qualidade do alimento devido ao longo período de contato do produto com o ar quente (NASCIMENTO et al., 2015).

Na desidratação por condução, também conhecida como secagem indireta ou por contato, o calor é fornecido ao alimento através de superfícies aquecidas, como bandejas, placas, cilindros ou paredes. A eficiência desse método depende da condutividade térmica do alimento, sendo crucial considerar suas características reológicas para determinar a espessura adequada ou a disposição do produto sobre a superfície aquecida (CHAVAN; VITANKAR; THORAT, 2021).

A desidratação condutiva oferece vantagens sobre a desidratação convectiva, principalmente porque não requer o aquecimento de grandes volumes de ar, resultando em alta eficiência térmica. Além disso, este método pode ser realizado a vácuo, o que reduz o tempo de secagem e minimiza os danos aos alimentos. A secagem a vácuo também ajuda a preservar compostos oxidáveis e termosensíveis, garantindo melhor qualidade do produto final (ZHU; QUEK, 2021).

A desidratação por radiação oferece vantagens significativas, incluindo a capacidade de penetrar diretamente no material sem a necessidade de um meio material de propagação. Isso reduz as perdas de energia durante o processo, tornando a transferência de calor mais eficiente. Além disso, o ar em contato com a superfície do alimento não aquece tanto quanto nos processos de convecção forçada, o que diminui o custo energético e resulta em produtos secos com boas características sensoriais (SADEGHI; MOVAGHARNEJAD; HAGHIGHI, 2019).

Para expandir o mercado e a disponibilidade dos produtos, a adoção de técnicas de secagem atualizadas é essencial. As tecnologias de secagem evoluíram ao longo do tempo e são classificadas em quatro gerações com base nas melhorias históricas. A primeira geração inclui secadores de armário e de cama. Na segunda geração, encontramos secadores de pulverização e de tambor. A terceira geração é representada por secadores por liofilização e desidratação osmótica. Por fim, a quarta geração abrange tecnologias mais avançadas, como secadores por micro-ondas, infravermelho, radiofrequência e por janela de refração (WAGHMARE, 2021).

Há alguns anos, a secagem solar e a secagem por convecção forçada eram as técnicas mais amplamente utilizadas devido aos seus baixos custos e ao tempo relativamente curto de secagem. No entanto, essas técnicas podem alterar significativamente as características nutricionais e organolépticas dos alimentos. Esse impacto levou a uma intensificação das pesquisas para desenvolver métodos mais

eficientes que preservem as propriedades físico-químicas e organolépticas dos produtos, além de reduzir os custos operacionais (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2020; CORNEJO et al., 2003; SOSSA et al., 2021).

Os principais métodos de secagem utilizados na produção de alimentos incluem a secagem por *spray dryer*, a secagem em tambor e a liofilização. Para garantir que os alimentos em pó mantenham o máximo de suas características nutricionais, físicas e químicas, é essencial que sejam produzidos com a redução de custos, a fim de se tornarem mais competitivos no mercado. No entanto, alcançar alta qualidade e baixo custo na produção de alimentos em pó pode ser desafiador, dependendo do método de secagem escolhido (ZOTARELLI et al., 2015).

Atualmente, há uma grande demanda no mercado por produtos que contenham altas concentrações de compostos bioativos, como vitaminas, pigmentos, enzimas, compostos fenólicos e óleos essenciais, devido aos seus benefícios para a saúde humana. No entanto, muitos desses compostos são sensíveis à degradação quando expostos ao calor, luz e oxigênio. Portanto, é crucial selecionar as metodologias de processamento adequadas para cada produto, a fim de preservar suas propriedades funcionais e características de qualidade, mantendo-as o mais próximo possível das do alimento *in natura* (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2020; SILVA et al., 2021; WAGHMARE, 2021).

De acordo com Waghmare (2021), um critério crucial no desenvolvimento de secadores de alimentos é garantir que eles preservem a qualidade do produto. Nesse contexto, o secador por liofilização se destaca por seu excelente desempenho na retenção das características físico-químicas e nutricionais dos produtos. No entanto, o custo do método de liofilização é significativamente mais alto do que o do *spray dryer* e da secagem ao ar. Adicionalmente, os produtos liofilizados apresentam uma rápida reidratação quando expostos ao ambiente, o que pode ser uma vantagem dependendo da aplicação desejada.

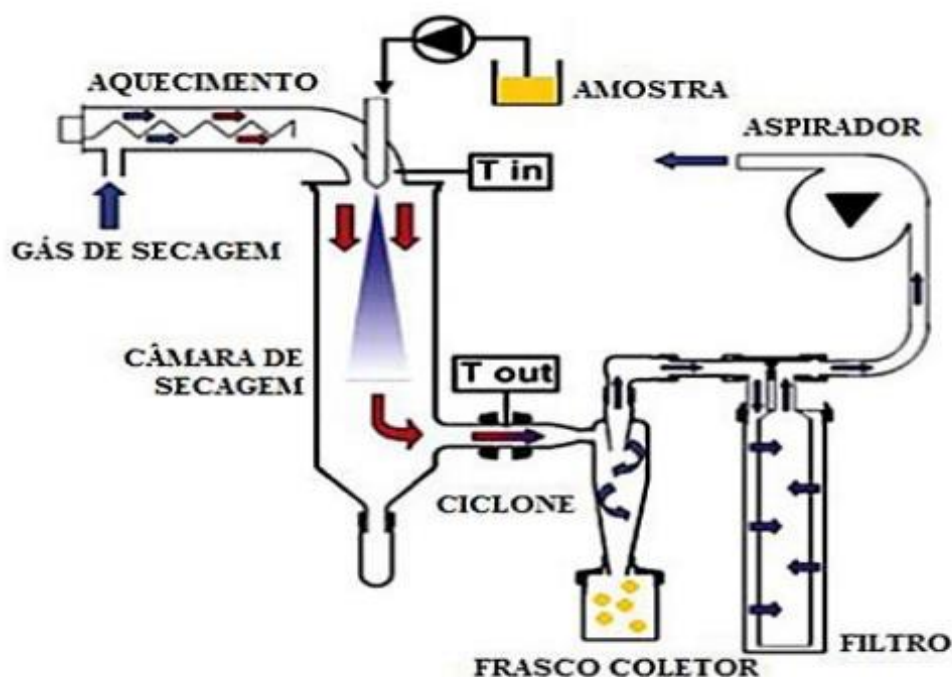
Segundo Caltoldi (2012), a tecnologia de *refractance window* (RW) apresenta um amplo potencial devido à simplicidade do equipamento em comparação com outros secadores. Para processar uma quantidade semelhante de produto, o custo de um secador com tecnologia RW é aproximadamente um terço do custo de um

liofilizador, e seu consumo de energia é inferior à metade do de equipamentos convencionais.

2.3.1 *Spray Drying*

A secagem por *spray drying*, também conhecida como secagem por atomização ou pulverização (Figura 11), teve início na metade do século XVIII, embora inicialmente tenha sido adotada em escala industrial. Os primeiros produtos amplamente produzidos com esta técnica foram o leite e o sabão em pó (MASTERS, 1991). Desde então, essa tecnologia se disseminou para diversas indústrias, sendo especialmente aplicada na secagem de produtos alimentícios e farmacêuticos (CAL; SOLLOHUB, 2010).

Figura 12 - Representação esquemática do processo de secagem por *spray dryer*.



Fonte: adaptado de Aghbashlo et al. (2012).

De acordo com Ibarz e Barbosa-Canovas (2003) e Chen e Patel (2008), o processo de secagem por atomização pode ser dividido em três fases: a primeira fase consiste na atomização do líquido de alimentação dentro do *spray dryer*. A segunda fase envolve a combinação das pequenas gotículas pulverizadas com um fluxo de gás

aquecido, o que promove a evaporação do solvente. Finalmente, a terceira fase é a separação e coleta do pó seco da corrente de gás.

As gotículas geradas pelo atomizador entram em contato com o ar quente, resultando na evaporação da água e no resfriamento simultâneo do ar. Após a secagem na câmara, o material em pó é coletado por um ciclone, onde as partículas secas são separadas do ar. As partículas secas são então eliminadas da parte inferior do ciclone (*underflow*) através de uma válvula rotativa e, em seguida, coletadas em um recipiente para formar o pó produzido (ALVES, 2012; ORDONEZ, 2005). De acordo com Celestino (2010), a secagem ocorre sob condições constantes de evaporação, de modo que a temperatura do produto não excede significativamente a temperatura de bulbo úmido do ar

A secagem por pulverização de sucos de frutas com alto teor de açúcar e ácido orgânico enfrenta dificuldades técnicas devido à sua higroscopicidade e termoplasticidade em condições de altas temperaturas e umidade. Esses compostos têm baixas temperaturas de transição vítrea, o que pode fazer com que o suco se mantenha em forma de xarope durante o processo de secagem, aderindo às paredes da câmara do secador. Isso pode resultar em rendimentos reduzidos do produto e problemas operacionais (OBON et al., 2009).

De acordo com Gharsalaoui et al. (2007), carboidratos como amidos, sólidos de xarope de milho e maltodextrina são comumente empregados como agentes de encapsulação. Esses materiais são eficazes como carreadores devido à sua baixa viscosidade mesmo em altas concentrações de sólidos e à sua boa solubilidade. Quando adicionados como aditivos na secagem, eles reduzem a temperatura de transição vítrea, prevenindo a perda de material na parede do equipamento, aumentando assim o rendimento do processo.

Os agentes carreadores mais comuns incluem proteínas, polissacarídeos, fosfolipídios, agentes tensoativos e pequenas moléculas, cada um com propriedades emulsificantes e níveis de estabilidade das emulsões variáveis (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009). No entanto, a maioria deles carece das propriedades interfaciais essenciais para uma microencapsulação altamente eficiente (GHARSALAOUI et al., 2007). Esses agentes são detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais agentes carreadores em alimentos.

Classe	Agentes carreadores
Carboidratos	Amido, maltodextrinas, xarope de milho, dextrana, sacarose e ciclodextrina
Celulose	Carboximetilcelulose, metil e etil cellulose, nitrocelulose.
Gomas	Goma arábica, agar, alginato de sódio e carragena.
Lipídeos	Cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, mono e diglicerídeos, óleos e Gorduras.
Proteínas	Glúten, caseína, gelatina, albumina, hemoglobina e peptídeos.

Fonte: Tonon; Brabet e Hubinger (2009).

Diversos autores têm utilizado a técnica de microencapsulação para proteger compostos sensíveis, como as antocianinas do açaí e do morango, que são pigmentos instáveis ao contato com luz e oxigênio, com a adição da maltodextrina. Essa técnica é eficaz na preservação desses compostos, aumentando a estabilidade do produto. Além disso, o uso de agentes carreadores melhora o manuseio do produto final e proporciona proteção adicional contra a adsorção de umidade do ambiente, resultando em pós menos higroscópicos (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009; OLIVEIRA et al., 2013).

A maltodextrina, conforme definida pela "*Food and Drug Administration*" (FDA), é um polímero de sacarídeo nutritivo não doce composto principalmente por unidades de D-glicose unidas por ligações alfa 1-4, com um índice de dextrose equivalente (DE) inferior a 20. O DE mede a extensão da hidrólise do amido e fornece uma indicação média do peso molecular. Com o aumento da hidrólise, o peso molecular médio diminui e o DE aumenta. Essa medida empírica reflete a quantidade de açúcar redutor presente no produto e é expressa em base seca (COUTINHO, 2007; AUGUSTA, 2011).

Portanto, o princípio da secagem por *spray dryer* com microencapsulação baseia-se na dissolução do núcleo em uma dispersão de um material de parede escolhido. Essa mistura é então atomizada em um fluxo contínuo de ar quente, que provoca a evaporação da água. O processo resulta na formação de partículas em pó

encapsuladas (conteúdo da fruta associado ao material de parede). Essas partículas em pó são posteriormente coletadas na câmara de secagem, produzindo partículas em pó com formato regular e esférico (BAZARIA; KUMAR, 2016).

A técnica de microencapsulação por *spray drying* é amplamente valorizada na indústria de alimentos por sua eficiência econômica e acessibilidade, produzindo partículas de alta qualidade. Este método protege o material encapsulado contra fatores que podem levar à sua deterioração, como oxigênio, luz e umidade. Além disso, contribui para a preservação do sabor e aroma, mantém a cor dos produtos, e reduz a volatilidade e a higroscopia, prolongando assim o tempo de prateleira e a estabilidade do produto (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

Para otimizar as características sensoriais e nutricionais de um produto seco por atomização, é crucial considerar várias variáveis. É necessário avaliar as propriedades do líquido a ser atomizado, como teor de sólidos, tamanho das partículas e viscosidade, pois esses fatores afetam a eficiência da secagem e a qualidade do pó final. O tipo e funcionamento do atomizador também são importantes, pois influenciam a dispersão do líquido no ar quente e a uniformidade das partículas. Além disso, as condições do ar de secagem, incluindo temperatura e umidade, impactam diretamente a eficiência do processo e a preservação das propriedades do produto. Atentar a essas variáveis é fundamental para garantir um produto de alta qualidade, tanto sensorial quanto nutricionalmente (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

Susanti et al. (2020) estudaram a desidratação por *spray drying* do extrato de betacianinas da pitaya vermelha, avaliando diferentes temperaturas de entrada do ar (140 °C, 160 °C e 180 °C) com a adição de 30% de maltodextrina em todas as condições. Os resultados mostraram que o maior teor de betacianinas foi obtido com a temperatura de entrada de 140 °C. De acordo com Ruri et al. (2017), temperaturas de entrada superiores a 200 °C reduzem a retenção de betalainas, indicando que a temperatura do ar deve ser ajustada para o nível mais baixo possível que ainda permita uma adequada redução da temperatura do bulbo úmido ao redor do ar quente.

Lee, Wu e Siow (2013) conduziram um estudo sobre a secagem por *spray drying* de sucos de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e pitaya branca (*Hylocereus undatus*) com adição de maltodextrina. O experimento avaliou os compostos bioativos antes e após a secagem, assim como o impacto do

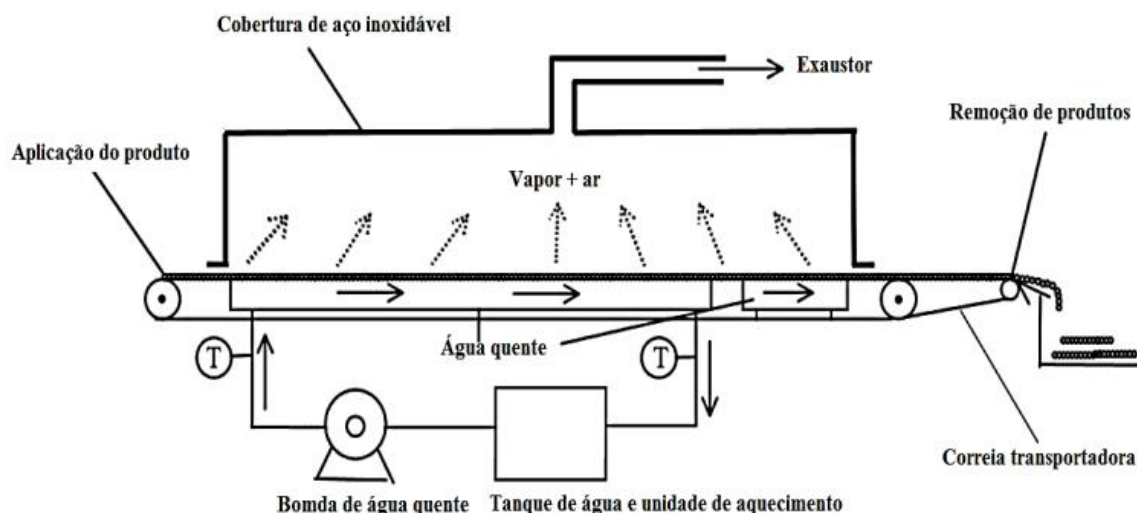
armazenamento em diferentes umidades relativas (UR). Embora a secagem tenha reduzido alguns compostos bioativos em comparação com o suco fresco, os pós resultantes mantiveram níveis estáveis de compostos bioativos por até 25 dias de armazenamento a 33% de UR. Os resultados sugerem que o pó de pitaya seco por *spray drying* pode ser considerado um ingrediente funcional ou corante natural para a produção de alimentos na indústria alimentícia.

2.3.2 *Refractance Window*

O processo de secagem por *Refractance Window* (RW) foi patenteado por Magoon (1986) e introduzido comercialmente pela empresa MCD *Technologies* em 2000. Nesse método de secagem a água é empregada como meio para transmitir o calor ao produto durante a secagem. Dependendo das condições de secagem e das características específicas do material, o processo de RW pode reduzir os impactos adversos da secagem sobre a cor, sabor e nutrientes dos alimentos. Este método tem sido estudado como uma alternativa promissora à liofilização, *spray drying* e secagem em tambor, especialmente para a produção de flocos e pós (PARMAR; DHAMSANIYA, 2023).

No processo de secagem por *refractance window* (Figura 13), uma fina camada do produto é uniformemente aplicada sobre um filme de poliéster transparente especial (*Mylar*), que flutua em água quente ou outro líquido. Este líquido transmite o calor ao produto por condução, convecção e radiação, com a radiação passando diretamente através da membrana para o produto a ser seco. Esta técnica é versátil e adequada para transformar uma ampla gama de produtos líquidos, incluindo polpa de frutas, legumes e ervas, em pós, filmes comestíveis e concentrados de alto valor agregado (NINDO; TANG, 2007).

Figura 13 - Representação esquemática do processo de secagem por *refractance window*.



Fonte: Adaptado de Nindo e Tang (2007),

A secagem por RW é uma técnica relativamente nova que oferece várias vantagens, incluindo um curto período de secagem, melhor preservação de compostos bioativos e alta eficiência energética e térmica, além de simplicidade mecânica (RAGHAVI et al., 2018; ZOTARELLI et al., 2015). Realizada sob pressão atmosférica e a temperaturas mais baixas em comparação com secadores convencionais, essa técnica tem se destacado na indústria por reduzir o consumo elétrico e reter eficazmente compostos bioativos sensíveis ao calor, como vitaminas, antioxidantes e pigmentos (GAUTAM; ABDUL, 2020; WAGHMARE, 2021).

O equipamento em escala industrial é equipado com um sistema de exaustão para remover o vapor d'água. Nesse processo, os três mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) atuam simultaneamente para promover a secagem. A energia térmica é fornecida pela água quente, que transfere calor ao material úmido por condução e radiação através da interface do filme, o qual é relativamente transparente à radiação infravermelha (NINDO; TANG, 2007).

O processo de secagem por RW é ideal para produtos com textura líquida ou semilíquida. Inicialmente, o alimento é depositado em uma esteira transportadora, que é aquecido por água. O método utiliza a refração da água para criar uma "janela" de secagem quando a energia infravermelha é transmitida através do plástico. Esta

energia infravermelha é gerada pelo contato do material com o plástico, permitindo a eficiente transferência de calor para o produto (BERNAERT et al., 2019; CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2020; SANTOS et al., 2022).

Abonyi et al. (2001) compararam a retenção de qualidade de pastas de morango e cenoura secas por *refractance window* com as obtidas por secagem em tambor, spray dryer e liofilização. Nindo, Powers e Tang (2007) investigaram a influência da secagem por RW em relação à secagem em evaporador convencional, focando na retenção de vitamina C em sucos de mirtilo e cranberry, e avaliaram o impacto das temperaturas da água e do produto na taxa de evaporação.

De acordo com Zotarelli et al. (2015), o processo de secagem por RW demonstrou ser altamente eficiente para a secagem de manga, posicionando-se como uma técnica competitiva e promissora para o tratamento de frutas. O estudo revelou que as amostras com espessura próxima a 3 mm mostraram as melhores condições de secagem para a polpa de manga.

Durante o processo de secagem o agente de transferência de calor não entra em contato direto com o alimento, assim os riscos de contaminação cruzada são evitados (BERNAERT et al., 2019). Além disso, o custo é reduzido significativamente, visto ser realizado sob pressão atmosférica e temperaturas tão baixas como 30 °C, com tempo de secagem curto, como também os produtos alcançam temperaturas consideradas baixas durante a secagem (30 a 90 °C), por isso vem apresentando ótimos resultados em relação à cor e compostos bioativos (BERNAERT et al., 2019; WAGHMARE, 2021). Quando comparado com outros métodos de secagem, como a liofilização, o aparelho requer menos de 50 a 70% de investimento de capital e 50% de redução de consumo de energia para a mesma quantidade a ser produzida (GAUTAM; ABDUL, 2020; WAGHMARE, 2021).

Conforme o estudo de Zotarelli et al. (2015), foi investigada a influência da temperatura de secagem, da origem da radiação infravermelha e da espessura da camada de polpa nas taxas de secagem da polpa de manga utilizando a técnica de Refractance Window (RW). Os resultados mostraram que temperaturas mais altas da água aumentaram as taxas de secagem em camadas mais finas de polpa. Além disso, a eficiência da secagem foi superior quando realizada com tela transparente em

comparação com uma tela pintada de preto, pois a tinta adicional aumentava a resistência condutiva.

Portanto, a técnica de secagem por RW tem sido amplamente pesquisada e aplicada, destacando-se por sua eficiência e potencial em melhorar a qualidade e a segurança dos alimentos secos. Embora existam diversos estudos sobre os benefícios do consumo de pitaya, sua caracterização físico-química e métodos de secagem, a aplicação da técnica RW à secagem de pitaya ainda é limitada. Apenas dois estudos abordaram essa técnica específica para pitaya: um focou na secagem da casca e na alteração da cor após o processo (GAUTAM; ABDUL, 2020), enquanto o outro examinou compostos bioativos em uma espécie diferente de pitaya (DADHANEEYA et al., 2023).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material utilizado

O presente estudo utilizou frutos maduros de pitaya vermelha (*Hylocereus costaricensis*), os quais foram generosamente doados pela empresa Pitayas Formosa, localizada em Lagoa Formosa, Minas Gerais, em janeiro de 2023.

Os frutos de pitaya foram lavados em água corrente e sanitizados com uma solução de água sanitária a 200 ppm. Em seguida, foram acondicionados em sacos plásticos escuros, com aproximadamente 5 kg de frutas por saco, e congelados a cerca de -18 °C em um freezer (modelo INDREL, Brasil). Para o preparo das amostras, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para determinar as melhores práticas de apresentação para cada equipamento, incluindo a necessidade de diluição e peneiramento, com o objetivo de aproveitar integralmente o fruto (casca, polpa e semente).

Utilizar o fruto integral em um processo de secagem de alimentos oferece diversas vantagens em comparação ao uso apenas da polpa ou partes específicas do fruto. Primeiramente, o aproveitamento integral do fruto permite uma extração mais completa dos compostos bioativos e nutrientes, que podem estar distribuídos não apenas na polpa, mas também na casca e outras partes do fruto. Isso é particularmente relevante em frutas como a pitaya, onde diferentes partes do fruto podem contribuir com diferentes perfis nutricionais e bioativos (HUA et al., 2018; ABREU et al., 2012).

Além disso, o uso do fruto integral pode reduzir o desperdício. Em vez de descartar partes do fruto que não são usadas na secagem, todo o fruto é aproveitado, o que é mais sustentável e econômico (CASTRO et al., 2021; SEBRAE, 2018).

3.1.1 Preparo das amostras para secagem em *Spray dryer*

Para a secagem em *spray dryer* obrigatoriamente as amostras devem possuir constituição líquida, de modo a evitar entupimentos e falhas na alimentação do equipamento. Portanto, as frutas foram cortadas e homogeneizadas com água utilizando um liquidificador doméstico (modelo Mondial Easy Power 550W) por 5

minutos, na proporção de 1 parte de fruta para 1,5 partes de água. Em seguida, as amostras foram peneiradas com uma peneira de 24 *mesh* (Tyler 710 mm) para remover partículas que poderiam obstruir o bico atomizador do *spray dryer*. Embora este procedimento resulte em alguma perda de material, é essencial para garantir a eficiência do processo.

Após o peneiramento, as amostras foram acondicionadas em potes de polietileno lacrados, com cerca de 500 g cada, envoltos em papel alumínio e saco plástico preto, e congeladas em um freezer a aproximadamente -18 °C. As amostras foram mantidas congeladas até o momento de utilização.

Figura 14 - Preparação de amostras de pitaya para secagem em *spray dryer*.

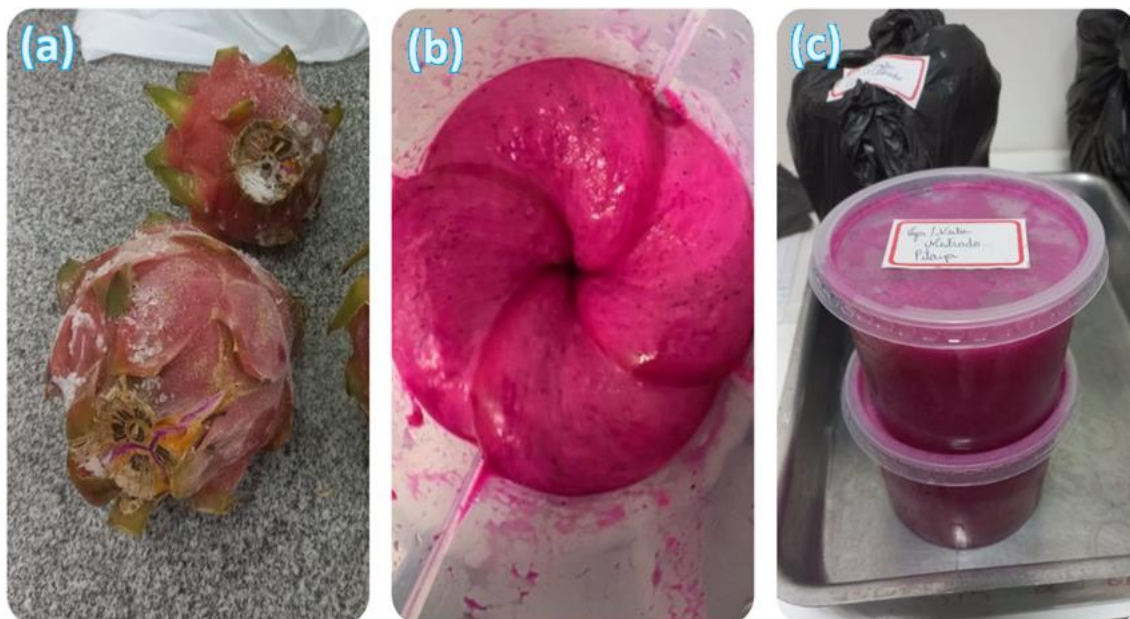


(a) Frutos de pitaya, (b) suco de pitaya liquidificado, (c) peneiramento de polpa e (d) acondicionamento da polpa.

3.1.2 Preparo das amostras para secagem em *Refractance Window*

Para a secagem por *refractance window* (RW), as amostras de pitaya (Figura 15) podem possuir aspecto mais pastoso ou de “purê”. As frutas foram cortadas e homogeneizadas em um liquidificador doméstico (modelo Mondial Easy Power 550W) por 10 minutos, sem a necessidade de adição de água para diluição ou peneiramento. Após a homogeneização, as amostras foram acondicionadas em potes de polietileno lacrados, com aproximadamente 500 g cada. Os potes foram envolvidos em papel alumínio e saco plástico preto, e as amostras foram congeladas em um freezer a aproximadamente -18 °C, onde permaneceram armazenadas até a utilização.

Figura 15 - Preparação de amostras de pitaya para secagem em *refractance window*.



(a) Frutos de pitaya, (b) polpa liquidificada e (c) armazenamento da polpa.

3.2 Metodologia

As metodologias de secagem avaliadas neste trabalho estão detalhadas nos tópicos a seguir.

3.2.1 *Spray Dryer*

O processo de secagem por atomização foi realizado utilizando um *spray dryer* (LM MSD 1.0, *LabMaq*, Brasil), localizado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias da Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas (Figura 16). Antes da secagem, as amostras foram submetidas a testes preliminares para avaliar a necessidade de utilizar agentes carreadores.

Figura 16 – Secador de *spray dryer*.



Fonte: O autor.

Durante os experimentos, a vazão de ar comprimido para a atomização foi mantida conforme as recomendações do fabricante, com uma constante de 40 L/min e o uso de bico atomizador com 1,8 mm. Para prevenir a sedimentação durante o processo, as amostras foram mantidas em constante agitação magnética, à temperatura ambiente.

Testes preliminares foram realizados objetivando avaliar a necessidade da utilização de agentes carregadores no processo de secagem. Verificou-se que, sem a utilização de agente carregador, a amostra apresentava muita aderência a câmara de secagem e no frasco coletor, como pode ser observado na Figura 18, resultando em um baixo rendimento de secagem. Assim definiu-se por utilizar a maltodextrina DE-10 (MOR-Rex ® 1910, Ingredion, Brasil) como agente carregador, sendo que a quantidade adicionada às amostras foi incluída como variável independente do planejamento experimental, tendo seus valores definidos com base em outros trabalhos da literatura (SILVA; ANDRADE; BARROZO, 2024).

Figura 17 - Amostra de pitaya seca em spray dryer sem adição de maltodextrina.



(a) frasco coletor acoplado no secador durante a secagem, (b) frasco com amostra sem adição de maltodextrina após secagem da polpa de pitaya.

A maltodextrina é amplamente utilizada como agente carreador nas metodologias de secagem, especialmente em produtos sensíveis a sabor e cor, devido à sua baixa higroscopicidade e alta solubilidade em água fria, o que ajuda a prevenir a cristalização. Além disso, seu custo acessível torna a maltodextrina uma escolha econômica e prática para esse propósito (RIBEIRO; COSTA; AFONSO, 2019).

Assim, após os testes preliminares, foi desenvolvido um Planejamento Composto Central Rotacional (PCC) com $\alpha = 2,0$ e 3 réplicas no ponto central, totalizando 27 experimentos. O objetivo do PCC foi analisar o efeito de quatro variáveis independentes distintas no processo de secagem em *spray dryer*: temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$), vazão do ar de secagem (m^3/min), porcentagem de maltodextrina (%) e vazão de alimentação (L/h), sendo as variáveis resposta: umidade final, atividade de água, rendimento de secagem, teor de compostos fenólicos totais (TPC), teor de flavonoides totais (TFC), acidez total titulável (ATT), teor de ácido ascórbico (AA), teor de betalaína (BE) e cor. Os resultados obtidos foram analisados com o auxílio do *software* Statistica, adotando-se um nível de significância de 10% ($\alpha=0,10$) para identificar os parâmetros mais significativos nas respostas obtidas. Foram utilizadas cerca de 200 g de amostra de pitaya em cada experimento.

Os níveis das variáveis independentes utilizados nos experimentos do PCC estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da pitaya em spray dryer ($\alpha = 2$).

Variáveis	- 2	-1	0	1	+ 2
Temperatura do ar de secagem (°C)	90	110	130	150	170
Vazão do ar de secagem (m ³ /min)	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
% de maltodextrina	6%	9%	12%	15%	18%
Vazão de alimentação (l/h)	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65

Fonte: Dados da pesquisa.

A definição das faixas de variação entre os limites inferiores e superiores para as variáveis independentes estudadas foi realizada a partir de dados da literatura científica e por meio da realização de testes preliminares. A matriz de planejamento do PCC realizado está apresentada na Tabela 3, com as condições utilizadas em cada experimento expressas em seus níveis reais e codificados.

Para realização dos experimentos em *spray dryer*, realizou-se o descongelamento das amostras de pitaya à temperatura de refrigeração. Em seguida, realizou-se a dissolução da maltodextrina em água destilada, seguindo as proporções definidas no PCC para cada experimento (Tabela 3)., A solução obtida foi homogeneizada em agitador magnético por um período de 10 min e após isso, foi adicionada às amostras de pitaya para realização dos experimentos.

O rendimento de secagem (RS) em *spray dryer* foi calculado utilizando a relação entre a massa de sólidos do pó coletado e a massa de sólidos da polpa alimentada no secador, conforme descrito na Equação 1:

$$RS = \frac{Ms.pó}{Ms.polpa} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que RS refere-se ao rendimento da secagem (%), *Ms.pó* é a massa de sólidos da amostra em pó (g) coletada após secagem e *Ms.polpa* é a massa de sólidos da amostra (g) alimentada no secador.

Tabela 3 - Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para secagem da pitaya em spray dryer.

Experimentos	x1	x2	x3	x4	x1	x2	x3	x4
	Temperatura (°C)	Vazão do ar de secagem (m³/min)	Maltodextrina (%)	Vazão de alimentação (L/h)				
1	110	1,3	9%	0,35	-1	-1	-1	-1
2	110	1,3	9%	0,55	-1	-1	-1	1
3	110	1,3	15%	0,35	-1	-1	1	-1
4	110	1,3	15%	0,55	-1	-1	1	1
5	110	1,7	9%	0,35	-1	1	-1	-1
6	110	1,7	9%	0,55	-1	1	-1	1
7	110	1,7	15%	0,35	-1	1	1	-1
8	110	1,7	15%	0,55	-1	1	1	1
9	150	1,3	9%	0,35	1	-1	-1	-1
10	150	1,3	9%	0,55	1	-1	-1	1
11	150	1,3	15%	0,35	1	-1	1	-1
12	150	1,3	15%	0,55	1	-1	1	1
13	150	1,7	9%	0,35	1	1	-1	-1
14	150	1,7	9%	0,55	1	1	-1	1
15	150	1,7	15%	0,35	1	1	1	-1
16	150	1,7	15%	0,55	1	1	1	1
17	90	1,5	12%	0,45	-2	0	0	0
18	170	1,5	12%	0,45	2	0	0	0
19	130	1,1	12%	0,45	0	-2	0	0
20	130	1,9	12%	0,45	0	2	0	0
21	130	1,5	6%	0,45	0	0	-2	0
22	130	1,5	18%	0,45	0	0	2	0
23	130	1,5	12%	0,3	0	0	0	-2
24	130	1,5	12%	0,7	0	0	0	2
25	130	1,5	12%	0,45	0	0	0	0
26	130	1,5	12%	0,45	0	0	0	0
27	130	1,5	12%	0,45	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Importante ressaltar que para cada variável resposta, foi encontrada a equação de regressão para descrever o comportamento dos resultados obtidos e, por conseguinte as variáveis independentes mais significativas para os mesmos. Para tal, as equações foram definidas utilizando valores codificados, onde a conversão dos valores reais para os mesmos pode ser feita conforme as Equações de 2 a 5, onde T, V, M e v correspondem aos valores reais de temperatura, vazão do ar de secagem, teor de maltodextrina e vazão de alimentação, respectivamente.

$$x_1 = \frac{(T(^{\circ}\text{C}) - 130^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$x_2 = \frac{(V(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}) - 1,5\text{m}^3/\text{min})}{0,2\text{m}^3/\text{min}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$x_3 = \frac{(M(\%) - 12\%) }{3\%} \quad (\text{Equação 4})$$

$$x_4 = \frac{(v(\frac{\text{L}}{\text{h}}) - 0,45\text{L/h})}{0,1\text{L/h}} \quad (\text{Equação 5})$$

3.2.2 *Refractance Window*

Para a secagem por *refractance window* (RW), utilizou-se um equipamento em escala piloto operando em batelada, conforme ilustrado na Figura 18. Este dispositivo é composto por um reservatório de alumínio com dimensões de 28 x 20 cm e profundidade de 8 cm, localizado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas. O equipamento segue o mesmo princípio operacional do sistema industrial utilizado para secagem por RW. No topo do reservatório, foi fixado um filme Mylar® tipo D com espessura de 0,25 mm, de forma que a face inferior permanecesse em contato direto com a água quente, enquanto a face superior servisse como suporte para o material a ser seco.

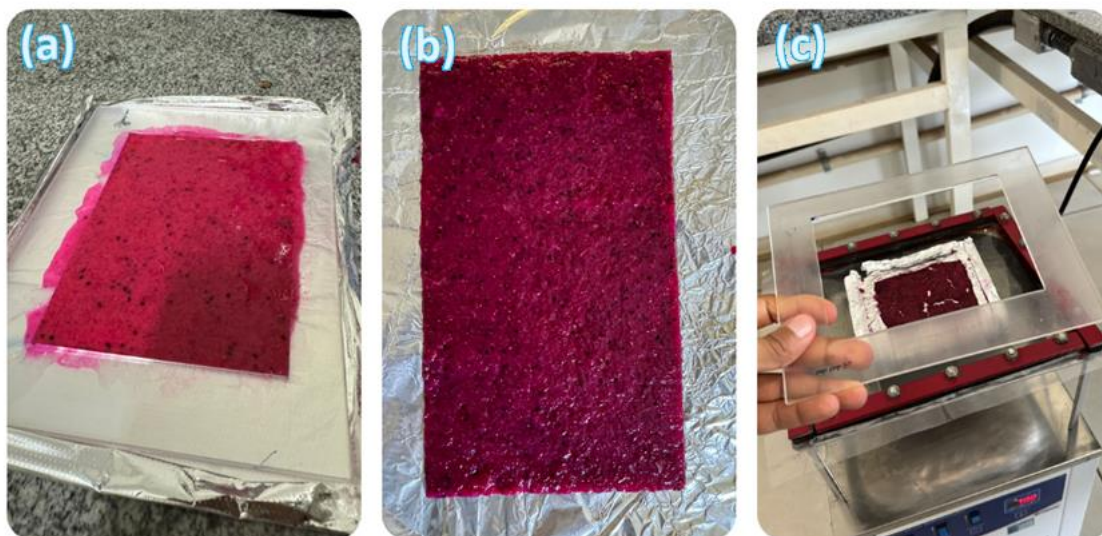
Figura 18 - Secador de *refractance window*.



Fonte: o autor.

Ao contrário da secagem por *spray dryer*, a técnica de *refractance window* não exigiu a adição de maltodextrina. No entanto, conforme relatos na literatura, foi constatado que as amostras poderiam aderir fortemente ao filme Mylar®, dificultando sua remoção para análises, o que foi confirmado em testes preliminares (DESMORIEUX et al. 2010, ORTIZ JEREZ; OCHOA-MARTÍNEZ; 2015). Para contornar esse problema, a amostra foi inicialmente espalhada sobre uma lâmina de papel alumínio, que foi então colocada sobre o filme Mylar®. Segundo Desmorieux et al. (2010), Ortiz Jerez e Ochoa-Martínez (2015) e Silva et al. (2023), a presença do papel alumínio não compromete significativamente a troca térmica devido à sua alta condutividade, e esse método facilitou consideravelmente o manuseio das amostras. Adicionalmente, para garantir uma espessura uniforme de 4 mm em cada experimento, as amostras foram moldadas sobre o papel alumínio usando uma moldura de acrílico, conforme ilustrado na Figura 19.

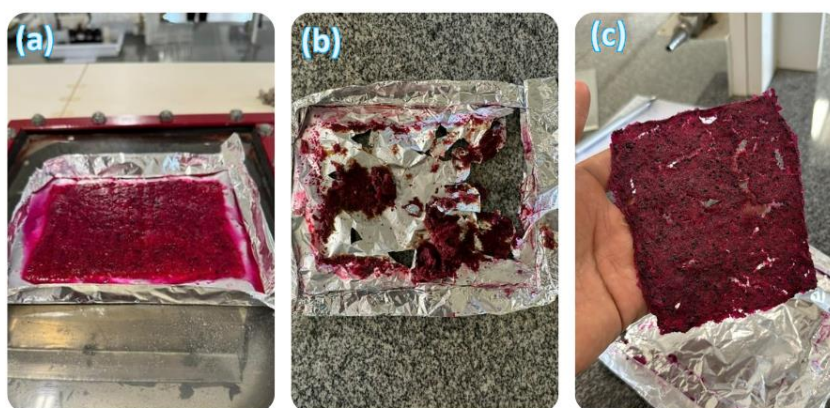
Figura 19 - Porcionamento e distribuição da polpa de pitaya em lâmina de alumínio para secagem em RW.



(a) uso do molde para espalhar a amostra, (b) amostra após uso do molde, (c) molde de acrílico utilizado.

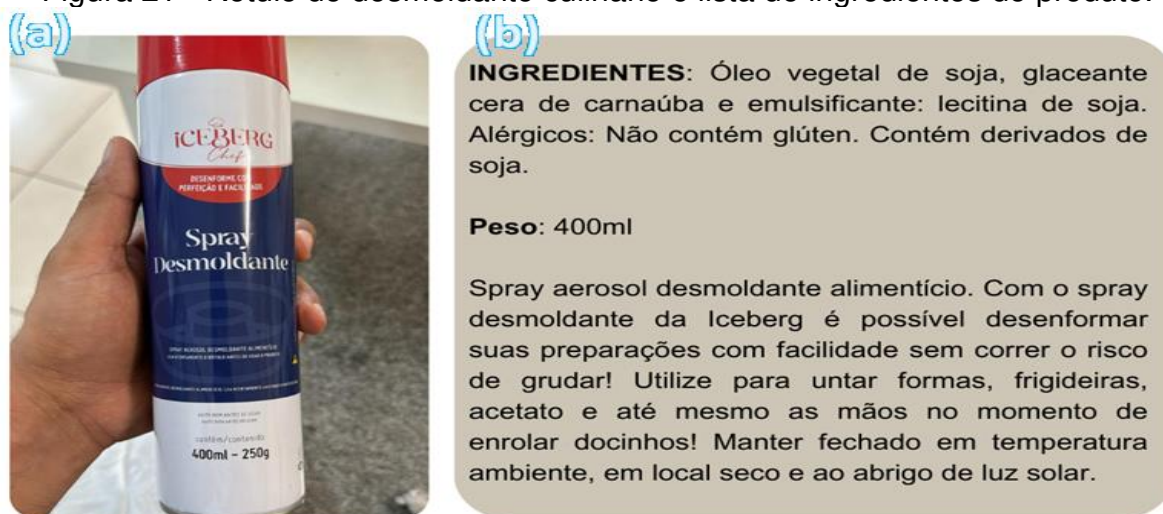
Apesar do uso da folha de papel alumínio, a amostra ainda apresentou aderência, dificultando sua remoção após a secagem. Para solucionar esse problema e minimizar a perda de material, foi aplicado um desmoldante culinário (ICEBERG CHEF) na lâmina de papel alumínio, o que facilitou a retirada da amostra (Figura 20). Esse desmoldante foi selecionado por sua fórmula simplificada, com o objetivo de reduzir a quantidade de ingredientes presentes, conforme especificado no rótulo (Figura 21), e foi adquirido em uma loja especializada.

Figura 20 - Amostra de pitaya seca em RW sem desmoldante culinário e com a utilização do produto.



(a) amostra em processo de secagem, (b) retirando amostra sem desmoldante culinário, (c) retirando amostra com desmoldante culinário.

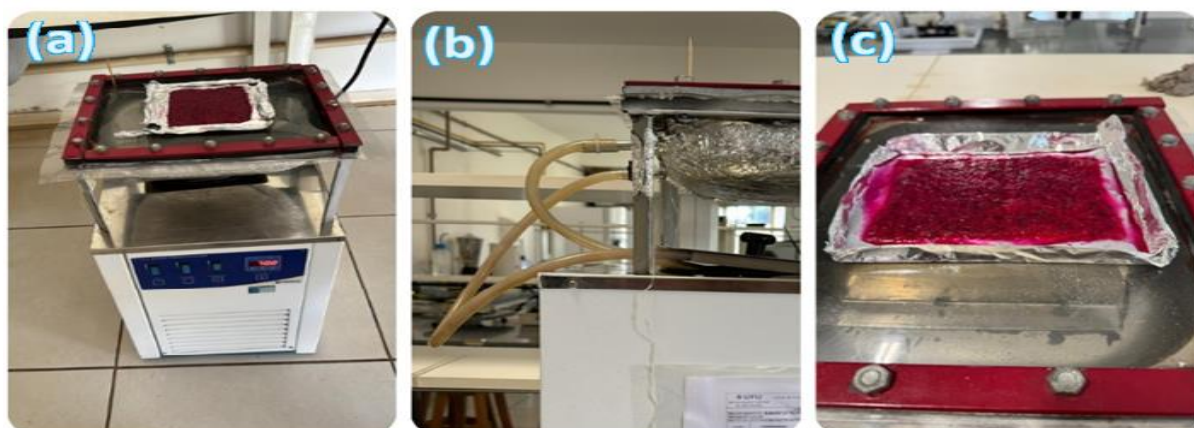
Figura 21 - Rotulo de desmoldante culinário e lista de ingredientes do produto.



(a) Rótulo do produto, (b) lista de ingredientes disponibilizado pelo fabricante.

Portanto, a amostra foi distribuída em uma camada uniforme sobre o papel alumínio previamente tratado com desmoldante culinário. Este papel alumínio foi então colocado sobre o filme polimérico (Mylar) estendido sobre a bandeja no reservatório. A água quente, proveniente de um banho termostático (TECNAL, modelo TE-2005, Brasil), circulava sob o filme, aquecendo-o e transferindo calor para a amostra de pitaya (Figura 22). A temperatura foi monitorada tanto pelo indicador do banho termostático quanto por um termômetro com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$, garantindo que a temperatura da água que deixava o reservatório fosse adequada.

Figura 22 - Secador *refractance window* acoplado em banho termostático.



(a) Secador acoplado no banho termostático (b) entrada e saída de água no secador (c) amostra de pitaya em sobre filme Mylar.

Após os testes preliminares, foi elaborado então um Planejamento Composto Central Rotacional (PCC) com $\alpha = 1,414$ e 2 réplicas no ponto central, totalizando 10 experimentos. O objetivo do PCC foi analisar o efeito de duas variáveis independentes distintas no processo de secagem em RW: temperatura da água (°C) e tempo de secagem (min), com as mesmas variáveis respostas avaliadas por *spray drying*: umidade final, atividade de água, teor de compostos fenólicos totais (TPC), teor de flavonoides totais (TFC), acidez total titulável (ATT), teor de ácido ascórbico (AA), teor de betalaína (BE) e cor. Os resultados obtidos foram analisados com auxílio do *software Statistica* e foi também adotado nível de significância de 10% ($\alpha=0,10$) para verificar os parâmetros significativos. Os níveis das variáveis independentes utilizados nos experimentos do PCC estão expostos na Tabela 4. Foram utilizadas cerca de 160 g de amostra de pitaya em cada experimento.

Os níveis das variáveis independentes utilizados nos experimentos do PCC estão expostos na Tabela 3.

Tabela 4 - Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da pitaya em Refractance Window ($\alpha = 1,414$).

Variáveis	- 1,414	-1	0	1	+ 1,414
Temperatura (°C)	55,9	60,0	70,0	80,0	84,1
Tempo (min)	95	120	180	240	264

Fonte: Dados da pesquisa.

A definição das faixas de variação entre os limites inferiores e superiores para as variáveis independentes estudadas foi realizada a partir de dados da literatura científica e por meio da realização de testes preliminares. A matriz de planejamento do PCC realizado é apresentada na Tabela 5, com as condições utilizadas em cada secagem em termos de níveis reais e codificados.

Em cada variável foi encontrada a equação de regressão para descrever o comportamento e as variáveis de maior significância. Tais equações foram definidas usando valor das variáveis independentes codificadas, as quais podem ser calculadas com base nos valores reais, assim para encontrar o valor real as variáveis codificadas foram transformadas de acordo com as Equações 6 e 7, sendo T e t correspondentes aos valores reais de temperatura e tempo, respectivamente.

Tabela 5 - Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para secagem da pitaya em Refractance Window.

Experimentos	x1	x2	x1	x2
	Temperatura (°C)	Tempo (min)		
1	60	120	-1,00000	-1,00000
2	60	240	-1,00000	1,00000
3	80	120	1,00000	-1,00000
4	80	240	1,00000	1,00000
5	55,9	180	-1,41421	0,00000
6	84,1	180	1,41421	0,00000
7	70	95	0,00000	-1,41421
8	70	264	0,00000	1,41421
9	70	180	0,00000	0,00000
10	70	180	0,00000	0,00000

Fonte: Dados da pesquisa.

$$x_1 = \frac{(T(^{\circ}\text{C}) - 70^{\circ}\text{C})}{10^{\circ}\text{C}} \quad (\text{Equação 6})$$

$$x_2 = \frac{(t(\text{min}) - 180\text{min})}{60\text{min}} \quad (\text{Equação 7})$$

3.2.3 Análises realizadas

As amostras foram submetidas a uma série de análises para avaliar suas propriedades, a presença de compostos bioativos e os efeitos das diferentes metodologias de secagem no produto final. Foram analisados tanto os materiais *in natura*, que não passaram pelo processo de secagem, quanto os materiais secos obtidos em cada técnica de secagem.

3.2.3.1 Umidade e atividade de água

O teor de umidade foi determinado pelo método de estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, de acordo com *Association of Official Analytical Chemist* – AOAC (1995). Para tal foi usada uma estufa de convecção forçada (Ethik Technology, modelo 400-

TD, Brasil). A umidade das amostras, em base úmida, foi calculada de acordo com a equação 8:

$$M = \frac{M_s - M_{ss}}{M_s} \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Em que M é 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 seco.

A atividade de água (a_w), foi determinada através do equipamento de atividade de água (*Aqualab* PRE Dewpoint) no qual, através de um sistema de controle de temperatura integrado a um sensor infravermelho, são fornecidas as leituras de a_w das amostras.

O aparelho utiliza o método de ponto de orvalho para medir a atividade de água. Neste método, a amostra é colocada dentro de uma câmara hermética, onde a temperatura é gradualmente reduzida. Durante esse processo, o aparelho monitora continuamente a pressão de vapor dentro da câmara. Quando a temperatura atinge o ponto em que o vapor de água na amostra começa a condensar, o aparelho detecta esse evento como o ponto de orvalho, que está diretamente ligado à atividade de água na amostra. Com base na temperatura na qual ocorre a condensação do vapor, o aparelho calcula a atividade de água da amostra e exibe os resultados no visor (CHEN et al., 2021).

Quando a atividade de água é igual a 1,00, toda a água está completamente disponível (100%) para suportar o crescimento microbológico, bem como para reações químicas e enzimáticas. Para garantir a preservação dos produtos secos, recomenda-se manter a atividade de água na faixa de 0,3 a 0,5. Nessa faixa, a oxidação lipídica, as mudanças químicas e enzimáticas são minimizadas e o crescimento microbiano é inibido. Em contraste, uma atividade de água igual a zero indica que não há água disponível para esses processos (OLIVEIRA et al., 2021).

3.2.3.2 Cinzas

O teor de cinzas foi realizado para a amostra in natura através da incineração da mesma em mufla (Marca Lucadema, Modelo LUCA2000F-DMRP) à temperatura de 550 °C durante 3h, utilizando-se cerca de 3 g de material previamente seco em

estufa a 105°C por 24 h. O resultado foi expresso em % de cinza em relação à massa inicial da amostra (ARAÚJO et al., 2006).

3.2.3.3 Densidade absoluta

A densidade foi calculada com o auxílio de uma proveta de 50 ml, onde era preenchida com 20 ml de amostra e avaliado o volume, sendo realizado em triplicata, conforme Equação 9, (EMBRAPA, 2017).

$$D = \frac{m}{V} \quad (\text{Equação 9})$$

Em que D é densidade, m a massa da amostra e V o volume.

3.2.3.4 Análise de Compostos Bioativos

Os compostos bioativos analisados neste trabalho incluíram fenólicos totais, flavonoides totais, ácido cítrico, ácido ascórbico e betalaína. Para avaliar os efeitos das diferentes metodologias de secagem, foram realizadas análises tanto nas amostras in natura quanto nos produtos secos obtidos. A extração dos compostos bioativos das amostras foi feita utilizando metanol ou água destilada, conforme a técnica específica empregada para cada tipo de composto.

Para a determinação dos teores de fenólicos totais e flavonoides totais, utilizou-se metanol como extrator. Inicialmente, a amostra foi misturada com metanol em um recipiente fechado. A mistura foi agitada em um vórtex (modelo VORTEX BASIC K45) por 3 minutos para assegurar uma boa mistura e extração dos compostos bioativos. Após a agitação, a amostra foi armazenada em local escuro por 1 hora, permitindo uma extração mais completa dos compostos presentes. Em seguida, a amostra foi filtrada utilizando filtro de papel (*Melitta*, nº102) para remover os sólidos e obter um extrato limpo, que foi utilizado para as análises de teores fenólicos e flavonoides totais.

Para a determinação dos teores de ácido cítrico, ácido ascórbico e betalaína, utilizou-se água destilada como extrator. As amostras trituradas foram maceradas com água destilada para a extração dos compostos desejados, e o suco obtido foi utilizado nas análises para quantificação dos teores de ácido cítrico, ácido ascórbico e

betalaína. Após a extração, a amostra também foi filtrada com filtro de papel (*Melitta*, nº102) para remover os sólidos e obter um extrato limpo.

3.2.3.4.1 Teor de Compostos fenólicos totais (TPC)

A determinação do teor de compostos fenólicos totais foi baseada no método de *Folin-Ciocalteu*, utilizando ácido gálico ($C_7H_6O_5$) como padrão de acordo com Singleton *et al.*, (1999) e leitura por espectrofotômetro na absorvância a 622 nm. Os resultados da análise foram expressos em mg de ácido gálico / 100 g amostra em base seca.

3.2.3.4.2 Teor de Flavonoides Totais (TFC)

A determinação do teor de flavonoides foi realizada pelo método colorimétrico, conforme Zhishen *et al.*, (1991), com leitura em espectrofotômetro na absorvância de 450 nm. Este método utiliza o cloreto de alumínio ($AlCl_3$) como agente de deslocamento para diminuir a interferência de outros compostos na leitura de absorvância da solução. A rutina ($C_{27}H_{30}O_{16}$) foi utilizada como padrão para obtenção da curva de calibração, os resultados foram apresentados em mg de rutina / 100 g de amostra em base seca.

3.2.3.4.3 Acidez (ATT)

A acidez total titulável foi utilizada com o objetivo de quantificar a quantidade de ácido cítrico na amostra, realizada de acordo com o método titulométrico da *Association of Official Analytical Chemist – AOAC* (1995). Para isso, titula-se os extratos obtidos da maceração com NaOH 0,1 N padronizado até a mudança de coloração. Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico / 100 g de amostra de base seca.

3.2.3.4.4 Teor de Ácido Ascórbico (AA)

O teor de ácido ascórbico também foi quantificado por titulometria, conforme metodologia que se baseia na redução do composto 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico. Nesta análise, ácido oxálico a 2% foi adicionado aos extratos e a solução resultante foi titulada com solução de DCFI 0,025% padronizada. Os

resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico / 100 g de amostra seca (AOAC, 1995).

3.2.3.4.5 Teor de Betalaínas (BE)

A determinação do teor de betalaínas foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Tang e Norziah (2007) com adaptações. Para o ensaio, 1 g da amostra foi diluída em 100 ml de água destilada, homogeneizada e, posteriormente, filtrada em filtro de papel, conforme as outras análises. Posteriormente a absorbância foi lida no espectrofotômetro na absorbância de 536 nm. Os resultados foram apresentados em mg de betanina / 100 g de amostra em base seca e o cálculo foi realizado através da Equação 10:

$$BE = \frac{Abs \cdot D \cdot MM \cdot 10^8}{\epsilon \cdot l \cdot (1 - h)} \quad (\text{Equação 10})$$

$$D = \frac{v}{v + m}$$

Em que Abs é a absorbância, D é o fator de diluição empregado (0,99), MM é a massa molar da betanina ($550 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$), ϵ é o coeficiente de extinção molar da betanina ($60.000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), l é o a largura da cubeta (1,24 cm), h é a fração de umidade (determinada conforme item 4.3) e BE é o equivalente de betanina ($\text{mg betanina} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ massa seca).

3.2.3.5 Cor

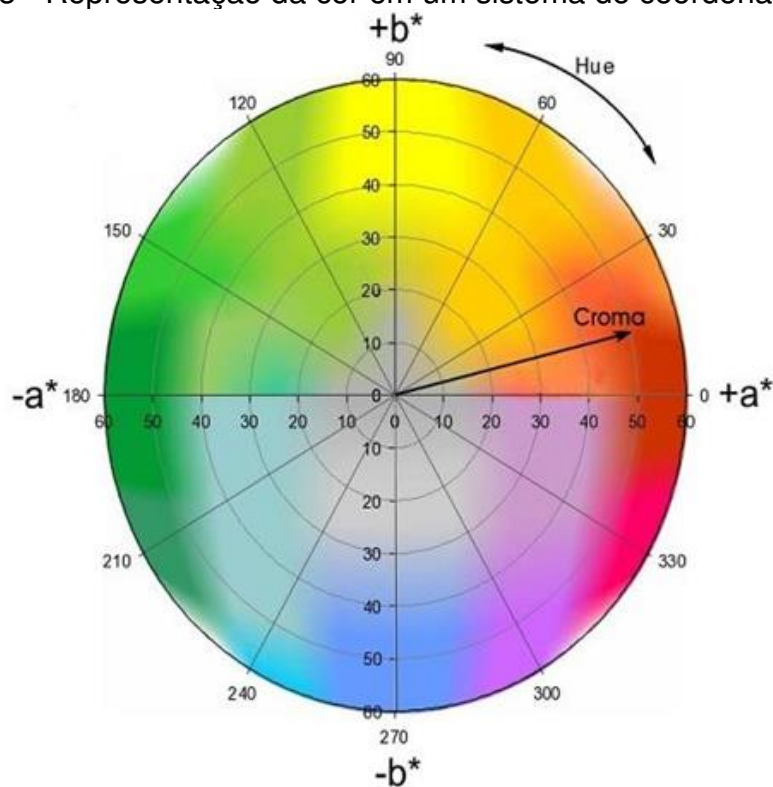
A cor pode ser aferida utilizando diferentes tipos de instrumentos, sendo os colorímetros e os espectrofotômetros os mais comuns. Os colorímetros avaliam a cor de forma similar à percepção humana, enquanto os espectrofotômetros determinam o espectro de refletância da amostra, oferecendo uma análise mais complexa e precisa (MINOLTA, 1998).

De acordo com a Comissão Internacional de Iluminação (CIE), estabelecida em 1976, a cor é representada em um espaço tridimensional, onde cada cor é identificada por um ponto específico nesse espaço. Este sistema é definido pelas coordenadas L^* , a^* e b^* :

- O eixo L^* representa a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco).
- O eixo a^* indica uma escala de tonalidades que vai de vermelho (+a) a verde (-a).
- O eixo b^* cobre uma escala de tonalidades que vai de amarelo (+b) a azul (-b).

Para representar a cor em um sistema de coordenadas polares retangulares, utiliza-se a escala CIE L^* , C^* e h^* (Figura 23). A cor é descrita tridimensionalmente por luminosidade (L^*), saturação (C^*) e tonalidade (h^*) (CORDEIRO, et al., 2015).

Figura 23 - Representação da cor em um sistema de coordenadas CIE



Fonte: Adaptado de Minolta, 1998.

Portanto, a análise de cor das amostras foi realizada utilizando um colorímetro digital modelo Konica Minolta CR-400/410, que emprega a escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As amostras secas foram mantidas em temperatura ambiente durante a análise. Adicionalmente, os parâmetros C^* (croma) e H° (ângulo Hue $^\circ$) foram calculados.

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* foram calculados os parâmetros croma de saturação de cor (C^*), o ângulo de tonalidade cromática (ângulo hue; H°), onde C^* representa a saturação ou intensidade de cor e H° onde o 0° , representa vermelho

puro; o 90°, o amarelo puro; o 180° o verde puro e o 270°, o azul puro. Também calculou-se o valor que define a diferença total da cor da amostra em relação ao padrão (ΔE). Tais parâmetros foram definidos de acordo com as Equações 11 a 13, respectivamente, em que L^1 , a^1 e b^1 é o valor CIE L^* da cor de referência da amostra *in natura*, (CORDEIRO, et al., 2015).

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (\text{Equação 11})$$

$$H^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad (\text{Equação 12})$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^1 - L^*)^2 + (a^1 - a^*)^2 + (b^1 - b^*)^2} \quad (\text{Equação 13})$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da Pitaya

As análises de caracterização da pitaya foram realizadas para avaliar o potencial do fruto e servir como referência para comparar os resultados das amostras após o processo de secagem. O objetivo dessas análises foram examinar os impactos das metodologias de secagem (*spray drying* e *refractance window*) nas propriedades do fruto. Os resultados detalhados da caracterização estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados de caracterização do fruto de pitaya *in natura*.

Análise	Resultado
Umidade	89,17 ± 0,03 %
Atividade de Água (a_w)	0,963
pH	4,69 ± 0,01**
Densidade	1,02 ± 0,01 g/cm ³
Cinzas	0,310 ± 0,012 %
Sólido Solúvel (°Brix)	9,0**
Teor de Fenólicos Totais (TPC)	1071,01 ± 32,54 mg ácido gálico / 100 g*
Teor de Flavonoides Totais (TFC)	42,27 ± 1,74 mg rutina / 100 g*
Acidez total (ATT)	2279,13 ± 198,19 mg ácido cítrico / 100 g*
Ácido ascórbico (TAA)	321,19 ± 33,63 mg de ácido ascórbico / 100 g*
Betalaína (BE)	83,45 ± 4,17 mg betalaína / 100g*
L ¹	21,9
a ¹	14,77
b ¹	2,12
C*	19,26
H°	0,14

*em base seca

**laudo disponível em Anexo I

O fruto da pitaya *in natura* apresenta um elevado teor de umidade, de $89,17 \pm 0,03\%$, e uma atividade de água (a_w) próxima de 1,0, o que indica uma alta quantidade de água e um grande potencial para deterioração. Esses valores são consistentes com os encontrados em estudos anteriores, como o de Fernandes et al. (2017), que relataram uma variação de 84,42 a 85,24%, Cordeiro et al. (2015), com 87,14%, e Santos et al. (2020), com 89,46%.

O valor de pH encontrado para a pitaya neste estudo foi de 4,69, indicando que a pitaya é uma fruta de baixa acidez (pH superior a 4,5), em comparação, frutas como a laranja (pH 3,66) e o kiwi (pH 3,3) que são mais ácidas (DUARTE et al., 2017). Estudos anteriores mostram que a espécie *Hylocereus undatus* tem um pH médio mais elevado, de 5,70, enquanto a espécie *Hylocereus costaricensis* apresenta um pH de 4,80 (LIMA, 2013). Giannoni et al. (2022) também relataram valores semelhantes, variando de 4,83 a 5,00.

O nível de acidez pode indicar o estágio de maturação do fruto, pois frutos mais verdes têm maior acidez. Com o amadurecimento, a acidez total tende a diminuir devido ao processo respiratório e à utilização de ácidos orgânicos nas reações metabólicas (MARTINELLI et al., 2021).

O teor de cinzas aferido foi de 0,31%, valor que está abaixo dos encontrados por Garcia-Cruz et al. (2013) e Oliveira et al. (2010) para a espécie *Hylocereus polyrhizus*. Nessas pesquisas, os valores oscilaram entre 0,54% e 0,69%, respectivamente.

De acordo com Lima et al. (2014), o teor de sólidos solúveis (SS), medido em graus Brix ($^{\circ}\text{Brix}$), e a massa da matéria fresca têm uma alta correlação positiva com o teor de açúcares, que é uma característica importante de qualidade. A escala de Brix quantifica a concentração de açúcares solúveis em uma solução; cada grau Brix representa 1 grama de açúcar em 100 gramas de solução (CORDEIRO et al., 2015).

No presente estudo, a pitaya vermelha apresentou um valor de 9,0 $^{\circ}\text{Brix}$. Valores próximos foram encontrados em outros estudos, como o de Cordeiro et al. (2015), que reportou 13,14 $^{\circ}\text{Brix}$ para pitayas vermelhas. Em pesquisas com outras espécies de pitayas, como *Hylocereus undatus*, foram encontrados valores de 11,6 $^{\circ}\text{Brix}$ (ENCISO et al., 2011) e 12,6 $^{\circ}\text{Brix}$ (YAH et al., 2008). Em relação aos sólidos

solúveis, é importante destacar que esses valores podem variar devido a fatores como espécie em estudo, o grau de maturidade da fruta, clima, irrigação e características do solo (CORDEIRO et al., 2015).

A concentração de compostos fenólicos (TPC) no fruto integral de pitaya foi de $1071,01 \pm 32,54$ mg de ácido gálico / 100 g de amostra seca, valor significativamente superior ao encontrado em estudos que analisaram apenas a polpa. Por exemplo, Lima et al. (2013) encontraram um valor médio de 23,15 mg para a espécie *H. costaricensis* na polpa, muito abaixo do valor encontrado neste estudo com o fruto integral, demonstrando a importância e o potencial de todas as partes do fruto (polpa, cascas e sementes) para um possível processamento do mesmo. Zitha et al. (2022) também avaliaram compostos fenólicos na polpa da pitaya vermelha em diferentes estágios de desenvolvimento e observaram um aumento de 377,59 mg ácido gálico / 100 g peso fresco aos 28 dias após a antese (maturação da flor) para 434,26 mg ácido gálico / 100 g peso fresco aos 42 dias. De acordo com os autores, essa diferença pode ser atribuída à variação ambiental durante o crescimento ou à diferença na fase de maturação dos frutos (LIMA et al. 2013; ZITHA et al. 2022).

Para a análise de flavonoides (TFC), os valores encontrados no presente estudo foram de $42,27 \pm 1,74$ mg rutina / 100 g base seca, sendo consideravelmente superiores aos relatados em estudos anteriores que utilizaram apenas a polpa da pitaya. Por exemplo, Lima et al. (2013) encontraram um valor médio de 6,03 mg para a espécie *H. costaricensis*, e para outras espécies avaliadas no mesmo estudo, os valores foram ainda menores, com uma média de 1,89 mg. Segundo Esgote Junior (2017), a pitaya apresenta ação antioxidante significativa, e a casca do fruto, embora não seja comumente consumida, contém a maior concentração de flavonoides.

Os valores de acidez total (ATT) encontrados na pitaya foram elevados, com uma média de $2279,13 \pm 198,19$ mg de ácido cítrico por 100 g. Apesar das propriedades antioxidantes do ácido cítrico, suas altas concentrações podem conferir um sabor fortemente ácido e/ou adstringente às amostras, o que pode dificultar sua aceitação sensorial (SILVA, 2015). Para contextualizar, resíduos de maracujá e acerola apresentam acidez total de 2701,35 e 2843,00 mg de ácido cítrico por 100 g, respectivamente (SILVA, 2015; SILVA et al., 2016).

Para o ácido ascórbico, foi encontrado um teor de $321,19 \pm 33,63$ mg no fruto integral, valor que supera significativamente os reportados por Giannoni et al. (2022), que encontraram uma média de $53,80 \pm 2,7$ mg no primeiro dia de estocagem, reduzindo para $51,80 \pm 2,7$ mg após 12 dias. Nurul e Asmah (2014) também relataram valores mais baixos, com 27,00 mg / 100 g na polpa fresca de pitaya vermelha. Em contraste, Liu et al. (2019) encontraram teores próximos aos deste estudo, variando entre 335 e 467 mg por 100 g de fruto integral.

A redução dos níveis de ácido ascórbico pode ser atribuída a fatores como tempo de armazenamento, temperatura e grau de maturação da fruta, que afetam a degradação do ácido ascórbico com o amadurecimento e a senescência (GIANNONI et al., 2022; LIU et al., 2019).

O teor de betalaína encontrado neste estudo foi de 83,45 mg/100 g de fruto integral, quase três vezes superior aos valores encontrados em estudos sobre beterraba (*Beta vulgaris*), que relataram teores de 31,42 mg e 35 mg/100 g (LE MOS et al., 2019; VITTI et al., 2003). É importante notar que esses estudos analisaram a beterraba e não a pitaya. Contudo, comparando com a pitaya, Hua et al. (2018) encontraram 50 mg de betanina / 100 g de peso seco na casca de pitaya de polpa vermelha, e Wu et al. (2019) relataram 32,5 mg de betanina/100 g de peso seco na polpa de pitaya vermelha, ambos valores inferiores ao teor encontrado no fruto integral analisado.

Segundo Jamilah et al. (2011), a casca da pitaya contém concentrações elevadas de pigmentos betalaína e pectina, conferindo-lhe um valor nutricional significativo. No entanto, essa parte do fruto é frequentemente descartada durante o processamento de polpas, doces e bebidas.

Na análise de cor do fruto integral da pitaya, foram obtidos os seguintes valores: $L^* = 21,9$, $a^* = 14,77$, $b^* = 2,12$, $C^* = 19,26$ e $H^\circ = 0,14$. Em comparação, Sarmento (2017) avaliou a cor da polpa de pitaya vermelha e encontrou valores de $L^* = 27,26$, $H^\circ = 1,07$ e $C^* = 27,03$.

4.2 Experimentos no *Spray Dryer*

4.2.1 Umidade e Rendimento de Secagem

Os resultados obtidos para umidade final, atividade de água (a_w) e rendimento de secagem das amostras obtidas após a secagem em *spray dryer* estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos para Umidade e Rendimento do Pó na secagem em *spray dryer* em função das variáveis independentes.

Exp.	Temperatura (°C)	Vazão do ar de secagem (m³/min)	Maltodextrina %	Vazão de alimentação (L/h)	Umidade	Atividade de água	Rendimento %
1	110	1,3	9%	0,35	2,67	0,279	38,79
2	110	1,3	9%	0,55	2,50	0,290	33,30
3	110	1,3	15%	0,35	2,97	0,292	39,86
4	110	1,3	15%	0,55	4,19	0,335	35,43
5	110	1,7	9%	0,35	4,21	0,253	42,15
6	110	1,7	9%	0,55	3,24	0,275	40,29
7	110	1,7	15%	0,35	2,81	0,262	37,41
8	110	1,7	15%	0,55	2,99	0,250	29,34
9	150	1,3	9%	0,35	1,98	0,249	31,87
10	150	1,3	9%	0,55	3,24	0,215	31,31
11	150	1,3	15%	0,35	1,89	0,175	45,55
12	150	1,3	15%	0,55	3,39	0,154	45,55
13	150	1,7	9%	0,35	4,66	0,191	36,88
14	150	1,7	9%	0,55	2,60	0,127	39,41
15	150	1,7	15%	0,35	1,91	0,129	48,12
16	150	1,7	15%	0,55	2,09	0,111	47,08
17	90,0	1,5	12%	0,45	3,89	0,187	36,95
18	170,0	1,5	12%	0,45	1,86	0,146	50,01
19	130	1,1	12%	0,45	2,94	0,162	31,47
20	130	1,9	12%	0,45	2,09	0,207	50,91
21	130	1,5	6%	0,45	3,73	0,216	25,68
22	130	1,5	18%	0,45	2,21	0,147	42,13
23	130	1,5	12%	0,3	2,68	0,163	50,25
24	130	1,5	12%	0,7	2,69	0,165	44,80
25	130	1,5	12%	0,45	1,31	0,158	43,37
26	130	1,5	12%	0,45	0,95	0,160	45,21
27	130	1,5	12%	0,45	1,26	0,163	41,85

Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme pode-se observar, a faixa de umidade dos pós obtidos na secagem em *spray dryer* variou entre 0,95 e 4,66% e a atividade de água (a_w) entre 0,111 e

0,335. Os resultados obtidos demonstram que, em todos os experimentos, independente da condição experimental adotada, foram produzidos pós com umidades inferiores a 5%, o que evidencia a eficiência deste método de secagem para amostra de pitaya vermelha. De maneira geral, alimentos com atividade de água (a_w) abaixo de 0,6 são considerados microbiologicamente estáveis e não sofrem deterioração causada por microorganismos ou reações químicas (QUEK et al., 2007).

Esses resultados foram parecidos com os encontrados por Garcia Lucas et al. (2016), que observaram que o teor de umidade do suco de pitaya seco por *spray dryer* foi inferior a 3,5%. Os autores destacam que níveis baixos de umidade reduzem as taxas de reações químicas, bioquímicas e microbianas. Além disso, o teor de umidade dos pós diminuiu com o aumento da temperatura e a diminuição da vazão de alimentação do secador. Isso se deve à maior diferença de temperatura entre o líquido atomizado e o ar de secagem, o que aumenta a força motriz para a evaporação da água e resulta em pós com menor teor de umidade (GARCIA LUCAS et al., 2016; SUSANTI et al., 2019).

No estudo conduzido por Susanti et al. (2019), a secagem da pitaya vermelha foi realizada em um *spray dryer* sob diferentes temperaturas (140, 160 e 180 °C), utilizando maltodextrina a 30% como agente carreador. Foram analisadas amostras da fruta inteira, da polpa e da casca. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura de entrada do equipamento levou a um menor teor de umidade nos pós, independentemente de se tratar da fruta inteira, da polpa ou da casca. Além disso, a maltodextrina contribuiu para a estabilidade dos pós ao longo do processo.

Ao avaliar o rendimento, pode ser verificado que os experimentos 18, 20 e 23 apresentaram o melhor resultado, estes experimentos foram realizados em condições de alta temperatura (Exp. 18), ou elevada vazão de ar de secagem (Exp. 20), ou ainda em baixa vazão de alimentação da suspensão (Exp. 23). Enquanto que o menor rendimento foi de 25,68% no experimento 21, realizado na temperatura de 130 °C, vazão do ar de secagem de 1,5 m³/min, 6% de maltodextrina (menor teor do agente carreador) e vazão de alimentação de 0,45 L/h.

Na tabela 8 estão apresentados os maiores e menores rendimentos obtidos durante a secagem de pitaya no *spray dryer*.

Tabela 8 – Experimentos de menores e maiores rendimentos obtidos na secagem em spray dryer.

Experimentos	Temperatura (°C)	Vazão do ar de secagem (m³/min)	% Maltodextrina	Vazão de alimentação (L/h)	Umidade %	Rendimento %
18	170,0	1,5	12%	0,45	1,86	50,01
23	130	1,5	12%	0,3	2,68	50,25
20	130	1,9	12%	0,45	2,09	50,91
21	130	1,5	6%	0,45	3,73	25,68
8	110	1,7	15%	0,55	2,99	29,34
10	150	1,3	9%	0,55	3,02	31,31

Fonte: Dados da pesquisa.

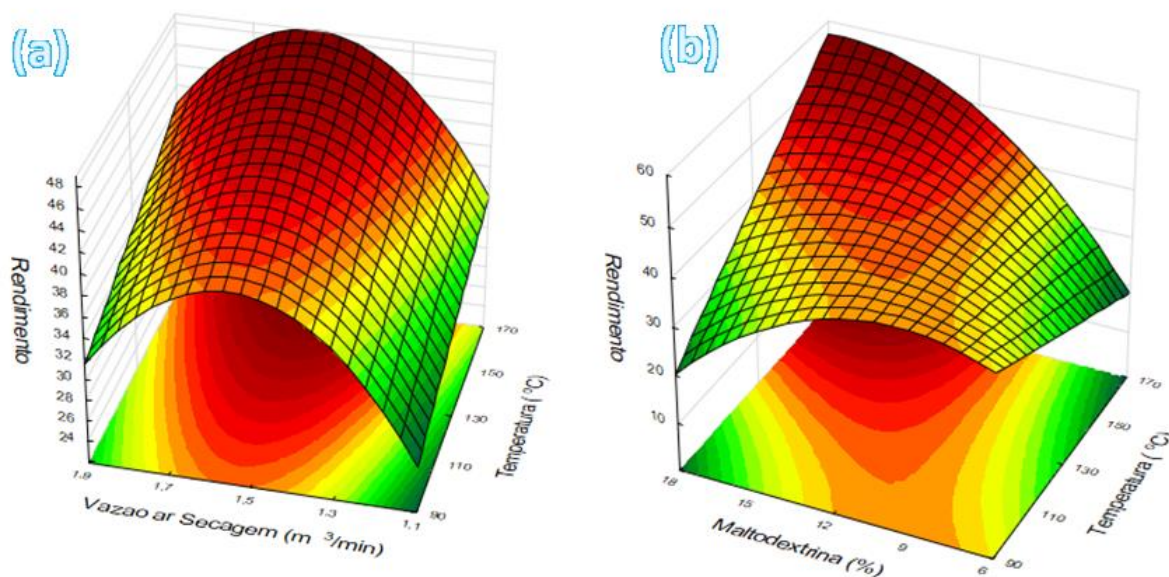
Com base nos resultados obtidos, o rendimento da secagem em *spray dryer* pôde ser expresso pela Equação 14 ($R^2 = 0,8686$), em que as variáveis vazão do ar de secagem (x_2), % de maltodextrina (x_3), e a interação da temperatura (x_1) com a % de maltodextrina (x_3), foram as variáveis mais significativas.

$$Rendimento = 43,07 + 2,18 \cdot x_1 + 6,10 \cdot x_2 - 6,27 \cdot x_2^2 + 3,44 \cdot x_3 - 2,72 \cdot x_3^2 - 1,36 \cdot x_4 + 3,52 \cdot x_1 \cdot x_3 - 2,33 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (\text{Equação 14})$$

Na Figura 24 são apresentadas as superfícies de respostas geradas de acordo com os resultados obtidos, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central. Pôde-se verificar que ao aumentar a temperatura (x_1) e utilizar valores intermediários de vazão de ar de secagem (x_2) ou também elevar a temperatura com uma dosagem maior de maltodextrina (x_3), elevou o rendimento para a secagem de pitaya em *spray dryer* nas condições avaliadas.

Na Figura 24(a), analisamos a vazão do ar de secagem e a temperatura. Observou-se que valores intermediários de vazão do ar (1,5 m³/min) e temperaturas superiores a 130 °C proporcionam os melhores rendimentos. Por outro lado, na Figura 24(b) é evidenciado que o aumento da porcentagem de maltodextrina acima de 12%, aliado a temperaturas superiores a 130 °C, também melhorou o rendimento. Essas observações indicam que tanto a temperatura, a vazão do ar quanto a composição do agente carreador desempenham papéis importantes na obtenção de uma maior quantidade de produto final nos experimentos.

Figura 24 - Efeito das variáveis do PCC no rendimento obtido no *spray dryer* na secagem de pitaya.



Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com Shofinita et al. (2021), no processo de secagem da casca de pitaya utilizando *spray dryer*, constatou-se que a utilização de maltodextrina resultou em um aumento significativo no rendimento do pó em comparação com o *whey protein isolate* (WPI). O estudo destaca também a importância do uso de um agente carreador, pois não foram obtidos resultados significativos na ausência de maltodextrina ou WPI, evidenciando a necessidade de tais aditivos para otimizar o processo, assim como também no trabalho de Silva, Andrade e Barrozo (2024), na secagem de jabuticaba em *spray dryer*.

No estudo de Chegini e Ghobadian (2005), foi relatado que o uso de maltodextrinas como agente carreador resultou em rendimentos mais elevados na secagem do suco de laranja. Resultados semelhantes foram observados por Fazaeli et al. (2012) em sua pesquisa sobre a secagem por atomização do suco de amora preta, confirmando a eficácia da maltodextrina na melhoria dos rendimentos do processo.

4.2.2 Teor de Compostos Bioativos

Os resultados das análises dos compostos bioativos da pitaya seca em *spray dryer* estão organizados nos tópicos a seguir. Para facilitar a interpretação, os

experimentos foram agrupados em quatro blocos distintos e apresentados por meio de gráficos de barras. O primeiro bloco (a) inclui os experimentos 1 a 8, realizados a 110 °C. O segundo bloco (b) abrange os experimentos 9 a 16, conduzidos a 150 °C. O terceiro bloco (c) apresenta os experimentos 17 a 24, realizados sob condições extremas das variáveis ($\pm\alpha$). Finalmente, o quarto bloco (d) inclui os experimentos 25 a 27, que correspondem às réplicas no ponto central.

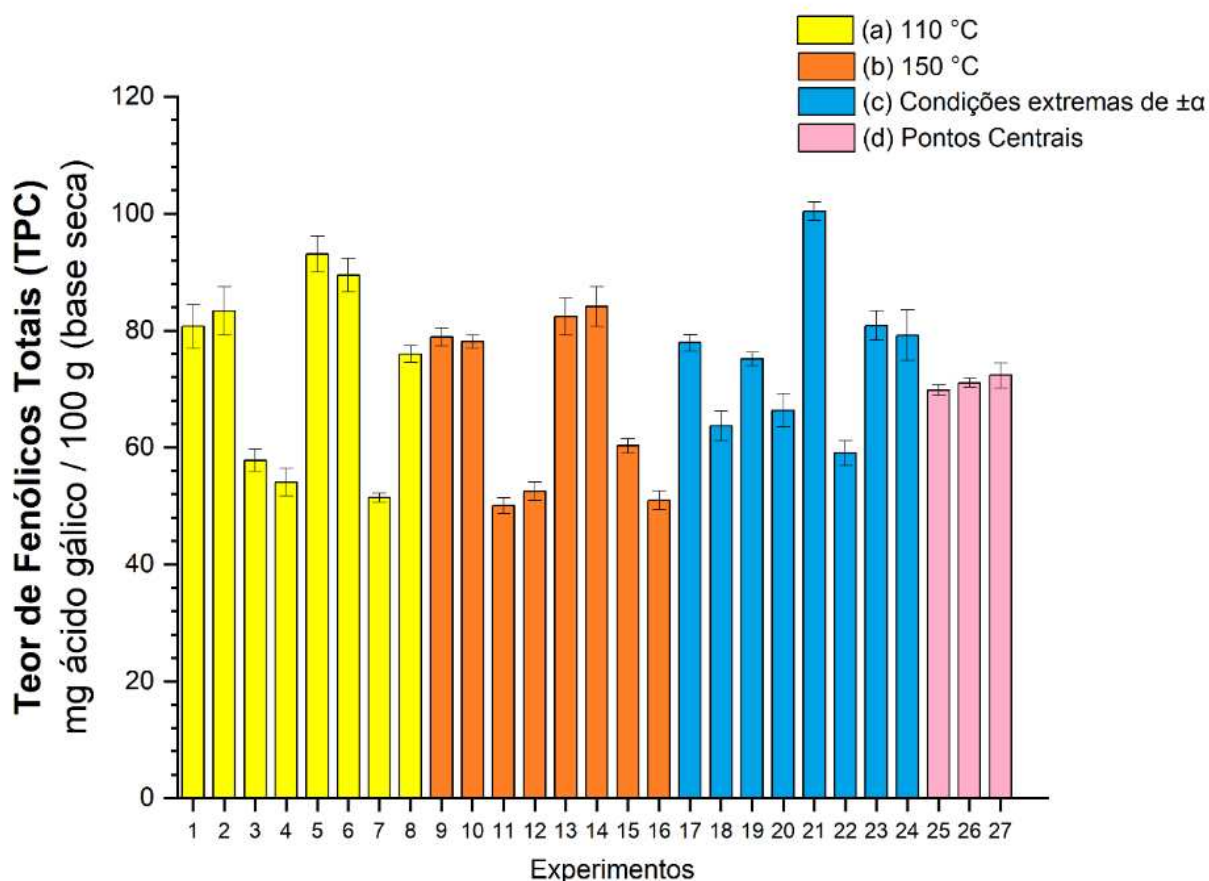
4.2.2.1 Teor de Compostos Fenólicos (TPC)

Os resultados das análises do teor de fenólicos totais (TPC) estão ilustrados na Figura 25. A análise revelou variações significativas no TPC dependendo das condições experimentais aplicadas. Os valores observados oscilaram entre 50,02 e 100,42 mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca. Essas variações destacam a influência das diferentes condições de secagem sobre a concentração de compostos fenólicos, indicando a importância de otimizar os parâmetros do processo para maximizar o teor de fenólicos no produto final.

Ao comparar os resultados de TPC com as amostras *in natura*, que apresentaram $1071,01 \pm 32,54$ mg de ácido gálico por 100 g de amostra seca, observa-se um declínio de aproximadamente 90% em relação ao maior valor obtido na secagem de pitaya em *spray dryer* ($100,42 \pm 1,57$ mg de ácido gálico / 100 g). Esse declínio pode ser principalmente atribuído à adição de maltodextrina, que se torna parte do pó final. No entanto, é importante notar que as variáveis experimentais também podem influenciar os valores de TPC, sugerindo que ajustes nos parâmetros do processo de secagem podem ser necessários para melhorar a preservação dos compostos fenólicos.

Conforme a classificação de Vasco (2008), teores de compostos fenólicos totais (TPC) abaixo de 100 mg de ácido gálico por 100 g de amostra seca são considerados baixos, valores intermediários variam entre 200 e 500 mg por 100 g de amostra seca, e teores acima dessa faixa são classificados como altos. De acordo com essa classificação, todos os experimentos realizados apresentaram teores de compostos fenólicos considerados baixos. Isso sugere que o processo de secagem aliado com a presença do agente carreador reduziu significativamente a concentração desses compostos no produto final.

Figura 25 – Teor de Fenólicos Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O maior valor de TPC foi observado sob condições intermediárias de temperatura (130 °C), vazão do ar de secagem (1,5 m³/min) e vazão de alimentação (0,45 L/h), com uma menor adição de maltodextrina (6%). Em contraste, o menor valor de TPC, registrado como 50,02 ± 1,35 mg de ácido gálico por 100 g de amostra seca, foi encontrado na amostra processada a uma temperatura elevada (150 °C), com uma maior quantidade de maltodextrina (15%), e com vazões mais baixas de ar de secagem (1,3 m³/min) e de alimentação (0,35 L/h). Esses resultados indicam que tanto as condições de temperatura (x_1), vazões do ar de secagem (x_2), adição de maltodextrina (x_3) quanto a vazão de alimentação (x_4), podem influenciar o teor de compostos fenólicos no produto final.

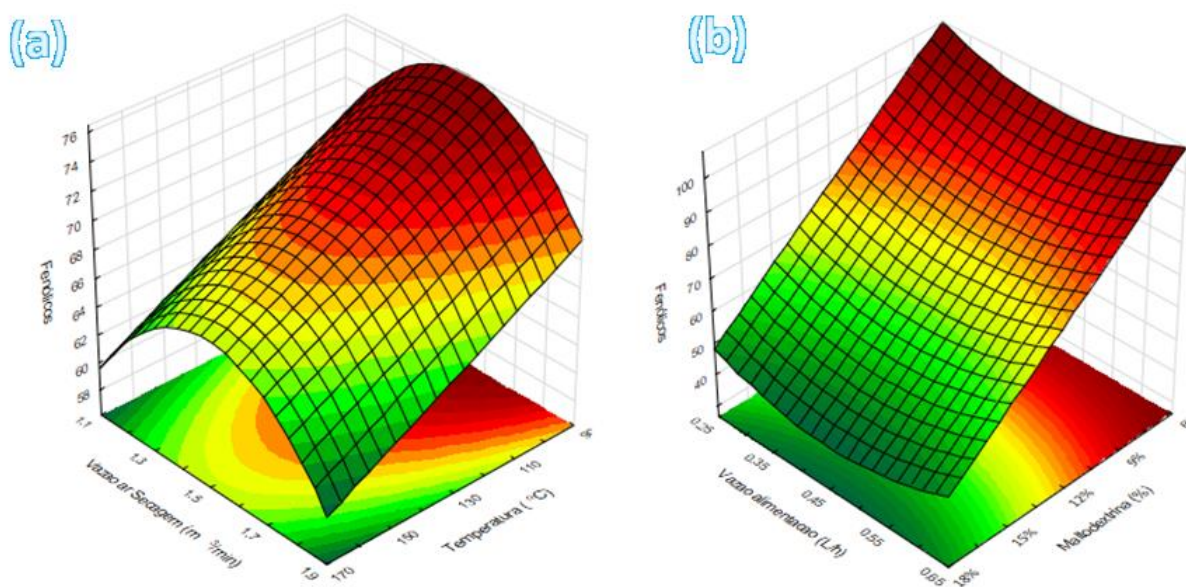
Com isso, o teor de compostos fenólicos totais (TPC) pode ser expresso pela Equação 15 ($R^2 = 0,9603$). Os resultados indicam que todas as variáveis foram

estatisticamente significativas. Especificamente, a temperatura (x_1) e a maltodextrina (x_3) mostraram efeito significativo apenas na forma linear, enquanto a vazão do ar (x_2) e a vazão de alimentação (x_4) foram significativas apenas na forma quadrática.

$$\text{TPC} = 78,16 - 2,67 \cdot x_1 - 5,91 \cdot x_2^2 - 21,99 \cdot x_3 + 2,20 \cdot x_4^2 \quad (\text{Equação 15})$$

Para facilitar a interpretação dos resultados, foi desenvolvida uma superfície de resposta, a qual está ilustrada na Figura 26.

Figura 26 – Superfície de Resposta para o Teor de Compostos Fenólicos (TPC) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: dados da pesquisa.

Na figura à esquerda 26(a), observa-se que vazões para o ar de secagem (x_2) intermediárias, próximas a 1,5 m³/min, combinadas com temperaturas (x_1) inferiores a 130 °C, favoreceram o aumento do TPC. Isso indica que essas condições proporcionam um ambiente ótimo para a preservação dos compostos fenólicos durante a secagem. Por outro lado, na figura à direita 26(b), verificou-se que teores de maltodextrina (x_3) inferiores a 12% e vazões de alimentação que são extremamente altas (0,65 L/h) ou muito baixas (0,25 L/h) resultaram em um aumento do TPC. Esses dados sugerem que tanto a quantidade de maltodextrina quanto a vazão de alimentação têm um impacto significativo no TPC, com condições de maltodextrina abaixo de 12% e variações na vazão de alimentação favorecendo a preservação dos compostos fenólicos.

A análise da superfície de resposta também revela que o aumento da temperatura (x_1) acima de 170 °C, combinado com vazões extremas do ar de secagem (x_2) de 1,1 ou 1,9 m³/min, leva a uma redução significativa no teor de compostos fenólicos totais (TPC). Este achado é corroborado pelo estudo de Lee, Wu e Siow (2013), que destacaram a sensibilidade dos compostos fenólicos ao calor, atribuindo esse fenômeno à degradação térmica dos compostos fenólicos em temperaturas mais altas, o que leva à perda desses importantes nutrientes, evidenciando a necessidade de controlar a temperatura para preservar a qualidade dos compostos fenólicos no produto final.

No estudo de Shofinita et al. (2021), ao secar a casca de pitaya utilizando métodos de secagem por pulverização, liofilização e secagem a vácuo, os teores de compostos fenólicos totais (TPC) encontrados variaram entre 50 e 250 mg de ácido gálico por 100 g de amostra. O estudo também observou que o aumento do tempo de extração ou a alteração do solvente utilizado pode levar a variações nos valores de TPC, tanto para valores superiores quanto inferiores. Além disso, o estudo enfatizou que condições genéticas, tempo de maturação e métodos de secagem podem influenciar significativamente os resultados obtidos.

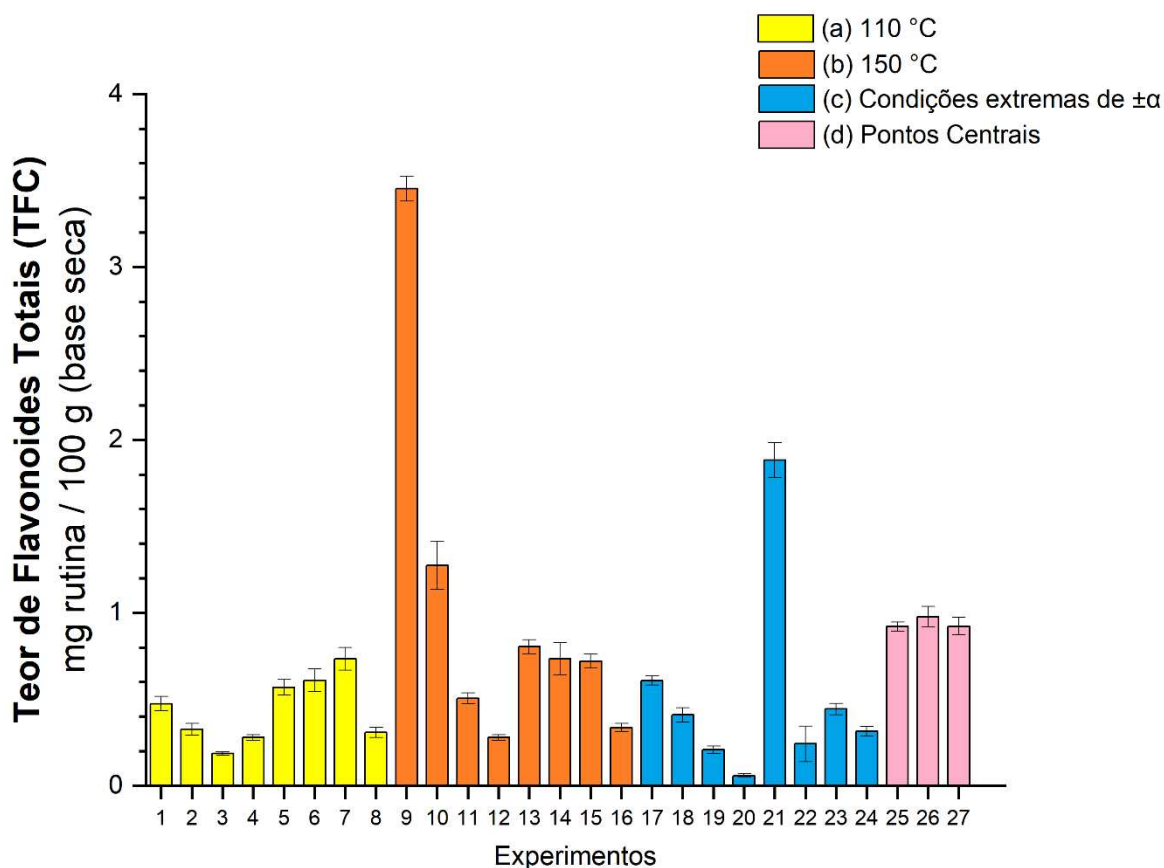
4.2.2.2 Teor de Flavonoides Totais (TFC)

Os resultados das análises do teor de flavonoides totais (TFC) estão ilustrados na Figura 27. Semelhante ao observado para os compostos fenólicos, a análise revelou variações consideráveis no TFC em função das condições experimentais empregadas. Os valores obtidos oscilaram entre 0,06 e 3,45 mg de rutina por 100 g de amostra em base seca. Essas variações indicam que o teor de flavonoides é fortemente influenciado pelas condições específicas de cada experimento. A ampla faixa de TFC observada sugere que ajustes nas condições de processamento podem ser necessários para otimizar a concentração de flavonoides no produto final.

O processo de secagem da pitaya em *spray dryer* resultou em uma redução significativa no teor de flavonoides totais em comparação com a amostra *in natura*, que apresentava $42,27 \pm 1,74$ mg de rutina por 100 g de amostra seca. Durante a secagem, houve uma diminuição média superior a 90% na concentração de

flavonoides em todas as amostras testadas, o que mostra o impacto da presença do agente carreador no produto seco obtido.

Figura 27 - Teor de Flavonoides Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa.

O melhor resultado foi obtido no teste 9, onde, a temperatura foi ajustada para 150 °C (+1), a vazão do ar de secagem foi de 1,3 m³/min (-1), a concentração de maltodextrina foi de 9% (-1), e a vazão de alimentação foi configurada para 0,35 L/h (-1) no *spray dryer*. Sob essas condições, o teor de TFC alcançado foi de 3,45 mg de rutina por 100 g de amostra em base seca.

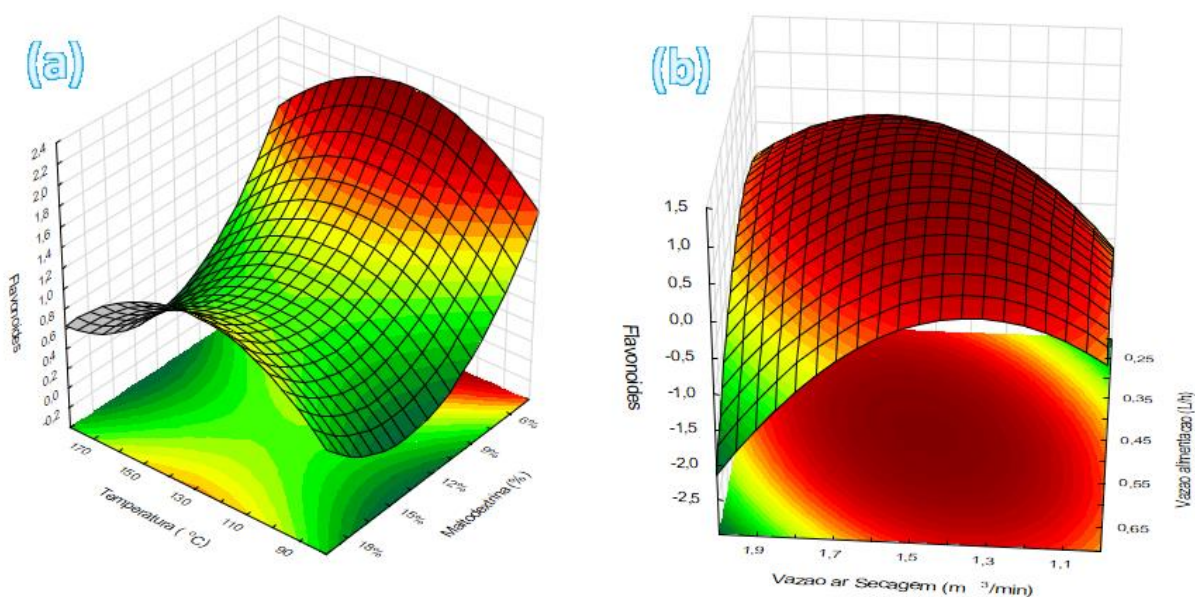
Através da regressão dos dados, o teor de flavonoides totais (TFC) pôde ser expresso pela Equação 16 ($R^2 = 0,9488$). Os resultados mostraram que todas as variáveis individuais foram estatisticamente significativas. No entanto, a temperatura (x_1) apresentou significância apenas na forma quadrática. Por outro lado, a vazão do ar de secagem (x_2), a maltodextrina (x_3) e a vazão de alimentação (x_4) foram significativas tanto na forma linear quanto na quadrática. Além disso, foram

identificadas interações significativas entre a temperatura e a vazão do ar de secagem, a vazão do ar e a maltodextrina, e a maltodextrina e a vazão de alimentação. Essas interações indicam que o efeito de uma variável sobre o TFC pode depender das condições das outras variáveis.

$$TFC = 1,06 - 0,11 \cdot x_1^2 - 0,07 \cdot x_2 - 0,21 \cdot x_2^2 - 0,47 \cdot x_3 - 0,30 \cdot x_3^2 - 0,07 x_4 - 0,14 \cdot x_4^2 - 0,17 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,13 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,20 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (\text{Equação 16})$$

Para facilitar a compreensão dos resultados, foram desenvolvidas as superfícies de resposta, apresentadas na Figura 28. Na imagem à esquerda (a), é demonstrada a interação entre a temperatura (x_1) e a concentração de maltodextrina (x_3). Na imagem à direita (b), é ilustrada a interação entre a vazão do ar de secagem (x_2) e a vazão de alimentação (x_4). Essas visualizações permitem analisar como as diferentes variáveis influenciam o teor de flavonoides totais (TFC) e facilitam a identificação das condições ótimas para o processo de secagem.

Figura 28 - Superfície de Resposta para o Teor de Flavonoides Totais (TFC) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa

Na Figura 28, observamos importantes interações que afetam o teor de flavonoides totais (TFC). A imagem à esquerda (a) mostra que, ao manter a temperatura no ponto central de 130°C e reduzir a adição de maltodextrina para menos de 9%, foram obtidos os melhores resultados em termos de TFC. Isso sugere que essas condições otimizam a preservação dos flavonoides. Por outro lado, a

imagem à direita (b) revela que, com a vazão do ar de secagem ajustada entre 1,3 e 1,5 m³/min e a vazão de alimentação configurada para 0,45 L/h, também foram condições interessantes para os resultados. Esses achados indicam que as condições centrais para essas variáveis são ideais para maximizar o teor de flavonoides totais no produto final, desde que o teor de maltodextrina seja reduzido.

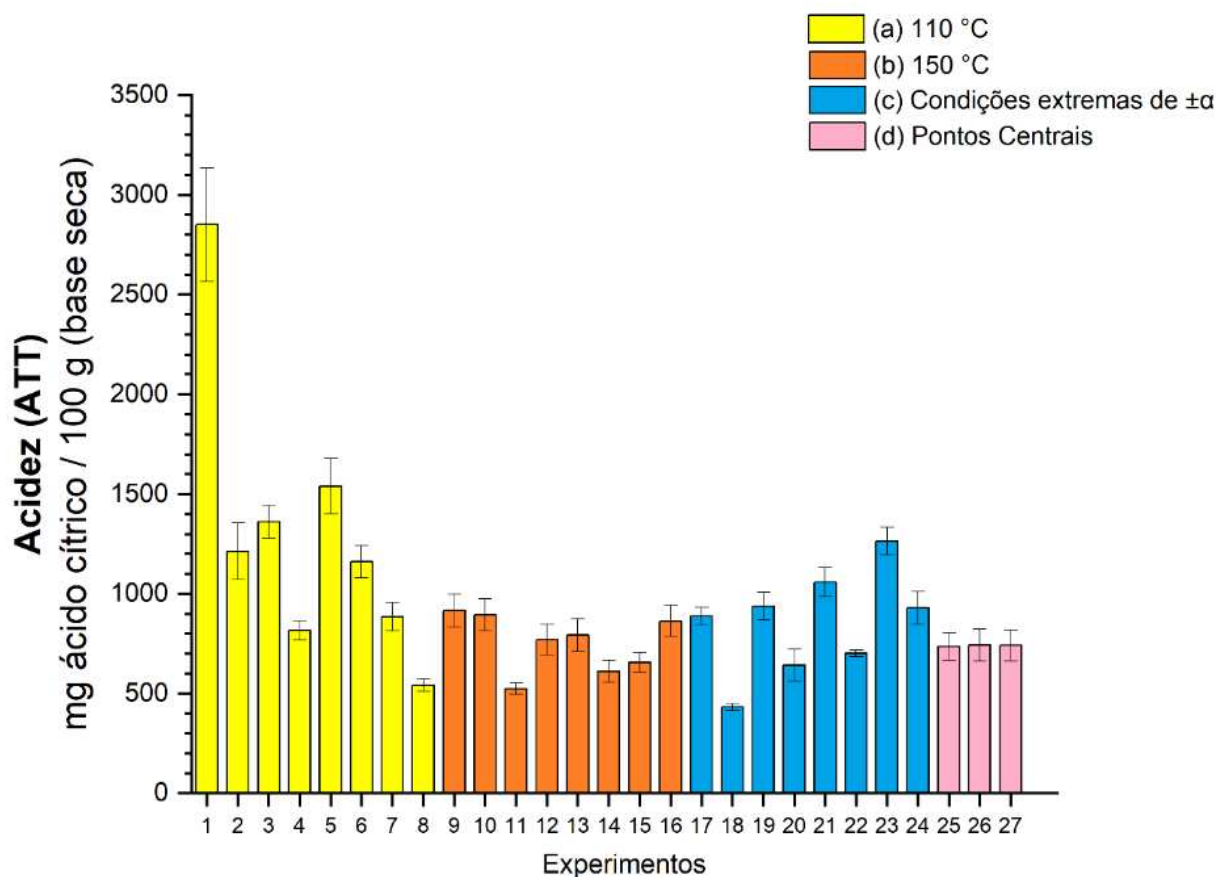
O melhor resultado foi obtido no teste 9, que apresentou uma combinação ótima de condições para maximizar o teor de flavonoides totais. Nesse teste, a temperatura foi ajustada para 150 °C (+1), a vazão do ar de secagem foi de 1,3 m³/min (-1), a concentração de maltodextrina foi de 9% (-1), e a vazão de alimentação foi configurada para 0,35 L/h (-1) no *spray dryer*. Sob essas condições, o teor de TFC alcançado foi de 3,45 mg de rutina por 100 g de amostra em base seca.

Assim como observado com os compostos fenólicos, os flavonoides também apresentaram uma redução significativa quando expostos a temperaturas extremas e altas concentrações de maltodextrina. As elevadas temperaturas durante o processo de secagem causam degradação térmica dos flavonoides, resultando em perdas substanciais desses compostos bioativos. Da mesma forma, concentrações excessivas de maltodextrina podem influenciar negativamente a preservação dos flavonoides, possivelmente devido a interações adversas que afetam a estabilidade química dos mesmos. Esses resultados ressaltam a necessidade de controlar cuidadosamente tanto a temperatura quanto a concentração de maltodextrina para minimizar a degradação e manter o conteúdo ideal de flavonoides no produto final (SHOFINITA et al., 2021; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

4.2.2.3 Acidez (ATT)

Os resultados das análises do teor de acidez total titulável (ATT) estão apresentados na Figura 29. A análise revelou variações significativas no ATT em função das condições experimentais aplicadas. Os valores obtidos variaram de 431,09 a 2851,99 mg de ácido cítrico por 100 g de amostra em base seca. Essas variações indicam que as diferentes condições de secagem influenciaram a acidez total das amostras, refletindo o impacto das variáveis experimentais sobre a concentração de ácido cítrico no produto final.

Figura 29 – Teor de Acidez Total Titulável (ATT) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa.

$$\begin{aligned}
 ATT = & 746,12 - 132,45 \cdot x_1 - 72,60 \cdot x_2 - 128,45 \cdot x_3 + 40,21 \cdot x_3^2 - 91,00 \cdot x_4 + \\
 & 94,31 \cdot x_4^2 + 49,52 \cdot x_1 \cdot x_2 + 98,22 \cdot x_1 \cdot x_3 + 125,70 \cdot x_1 \cdot x_4 + 61,71 \cdot x_2 \cdot x_3 - 50,88 \cdot x_2 \cdot x_4 + \\
 & 95,97 \cdot x_3 \cdot x_4
 \end{aligned}
 \quad (\text{Equação 17})$$

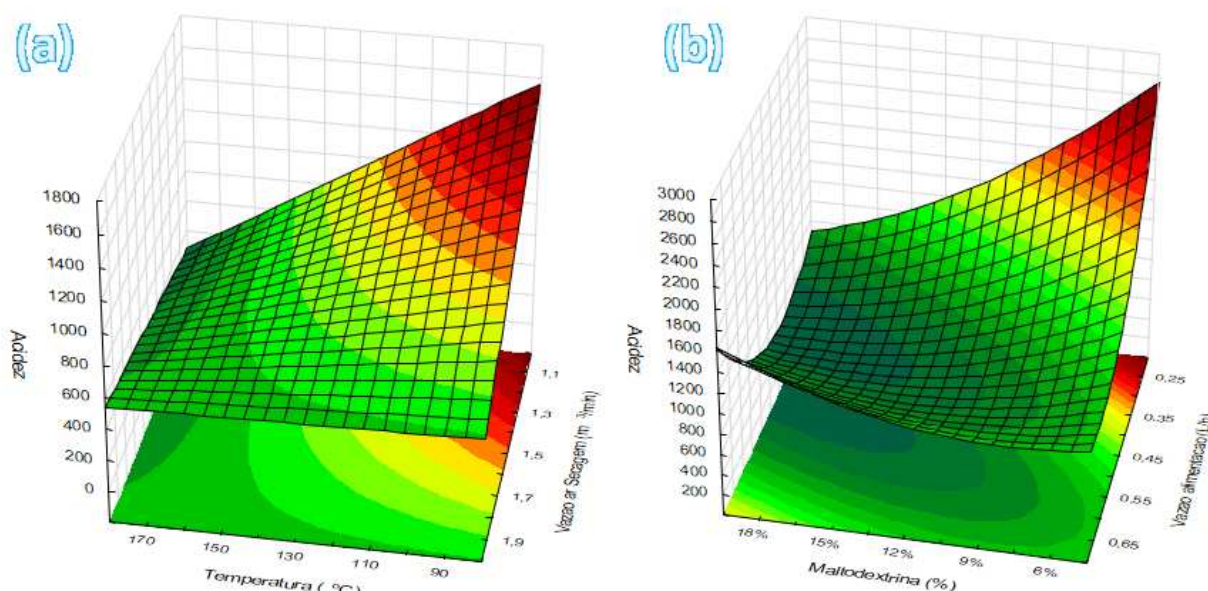
Ao avaliar o ATT, observou-se uma redução na concentração de ácido cítrico na maioria das amostras em comparação com o valor *in natura*, que foi de $2279,13 \pm 198,19$ mg de ácido cítrico por 100 g de amostra seca. O teste 1, realizado com uma temperatura (x_1) de 110 °C, vazão do ar de secagem (x_2) de 1,3 m³/min, concentração de maltodextrina (x_3) de 9% e vazão de alimentação (x_4) de 0,35 L/h, apresentou o maior teor de ácido cítrico, atingindo 2851,99 mg por 100 g de amostra seca. Em contraste, o teste 18, conduzido sob condições mais extremas com temperatura de 170 °C, vazão do ar de secagem de 1,5 m³/min, concentração de maltodextrina de

12% e vazão de alimentação de 0,45 L/h, mostrou o menor teor de ácido cítrico, com apenas 431,09 mg por 100 g de amostra seca. Esses resultados indicaram que temperaturas mais altas e maiores concentrações de maltodextrina, combinadas com variações na vazão de ar e alimentação, podem reduzir significativamente o teor de acidez nas amostras

A análise de regressão dos dados resultou na Equação 17 ($R^2 = 0,9504$), mostrando que todas as variáveis e suas interações foram estatisticamente significativas. A temperatura (x_1) e a vazão do ar de secagem (x_2) apresentaram significância na forma linear, enquanto a concentração de maltodextrina (x_3) e a vazão de alimentação (x_4) mostraram efeitos significativos tanto na forma linear quanto na quadrática. Isso indica que não apenas as variáveis individuais, mas também suas combinações afetam significativamente o ATT das amostras.

Para uma melhor compreensão dos resultados, foram elaboradas superfícies de resposta, as quais estão ilustradas na Figura 30. Essa visualização ajuda a interpretar como diferentes condições experimentais influenciam o ATT, permitindo uma análise detalhada das interações entre as variáveis estudadas

Figura 30 - Superfície de Resposta para o teor de acidez total titulável (ATT) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 30, a imagem à esquerda (a) ilustra a interação entre a temperatura e a vazão do ar de secagem. Ela demonstra que, ao reduzir a temperatura abaixo de 130 °C e diminuir a vazão do ar de secagem para menos de 1,5 m³/min, ocorreu um aumento na concentração de ATT. Em contraste, a imagem à direita (b) mostra a interação entre a concentração de maltodextrina e a vazão de alimentação. Os melhores resultados para ATT foram observados com concentrações de maltodextrina abaixo de 9% e vazão de alimentação inferior a 0,45 L/h. Essas análises evidenciam que a realização de experimentos em condições específicas dessas variáveis pode melhorar significativamente o teor de acidez das amostras.

Com base nas análises realizadas, é possível observar que os maiores teores de ATT foram alcançados em experimentos que utilizaram concentrações de maltodextrina inferiores a 9%. Essa tendência de inversa relação entre a concentração de maltodextrina e o ATT é corroborada pelo estudo de Costa (2014), que investigou o pó de polpa de graviola seca produzido por *spray dryer*. Da mesma forma que neste estudo, Costa também encontrou uma relação inversa entre a concentração de maltodextrina e o nível de acidez no produto final.

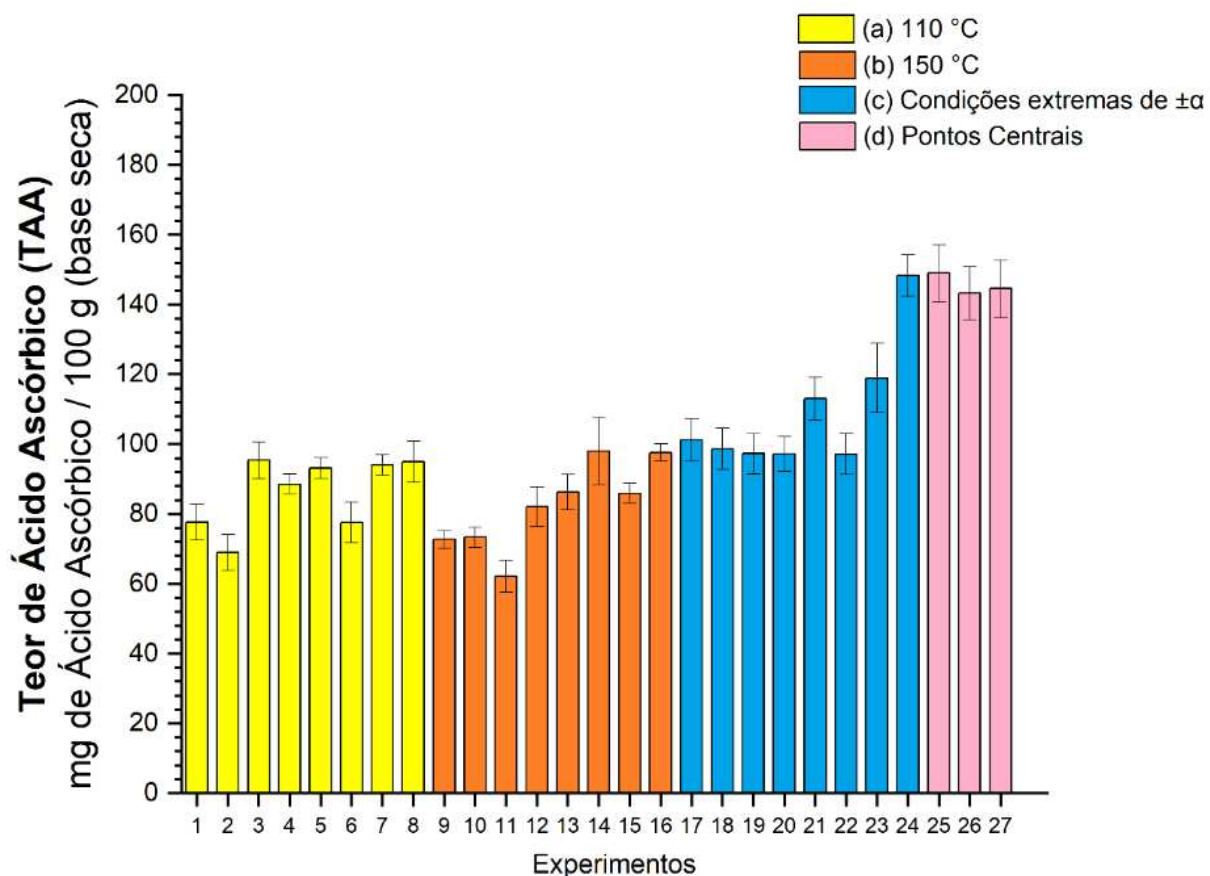
Segundo Silva (2015), a redução na concentração de ácido cítrico não afeta significativamente a qualidade do produto, uma vez que, embora o ácido cítrico possua propriedades antioxidantes, concentrações elevadas podem prejudicar a aceitação sensorial do alimento devido à sua alta acidez e potencial adstringência. Portanto, é recomendável evitar altas concentrações de ácido cítrico na produção de alimentos para garantir uma melhor aceitação sensorial.

4.2.2.4 Teor de Ácido Ascórbico (TAA)

Os resultados das análises do teor de ácido ascórbico (TAA) estão ilustrados na Figura 31. A análise revelou variações significativas no TAA, dependendo das condições experimentais empregadas. Os teores de ácido ascórbico obtidos oscilaram entre 62,13 e 148,99 mg por 100 g de amostra em base seca. Esses resultados destacam a influência das condições de processamento sobre o conteúdo de ácido ascórbico nas amostras.

Ao analisar o comportamento das amostras quanto ao teor de ácido ascórbico (TAA), observou-se uma redução significativa na concentração em quase todas as amostras em comparação com o valor *in natura*, que foi de $321,19 \pm 33,63$ mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra seca. Após o processo de secagem, a perda de concentração do ácido ascórbico variou entre 50% e 80%, evidenciando novamente os efeitos da presença do agente carreador mas, também devido a oscilação dos resultados, uma possível degradação do composto devido a condições específicas da secagem.

Figura 31 – Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa.

Para os experimentos, percebeu-se uma tendência na redução do teor de ácido ascórbico nas amostras ao elevar a temperatura, podendo ser justificado também por se trata de um composto bioativo sensível ao calor conforme já apresentado anteriormente (MARTINELLI et al., 2021; QUINTÃO et al., 2016). Além da temperatura,

percebe-se que a redução da vazão do ar de entrada também apresentou redução na concentração das amostras, já o uso de maltodextrina conforme literatura TONON; BRABET; HUBINGER, 2009; OLIVEIRA et al., 2013) pode auxiliar na retenção deste composto.

Confirmando essas observações, verificou-se que os melhores resultados estão presentes nas condições nos pontos centrais (148,99/143,22 /144,56 mg de ácido ascórbico/ 100g de amostra seca). Por outro lado, o pior resultado vou verificado no teste 11 (62,13 mg de ácido ascórbico / 100g de amostra seca), onde foi utilizado as variáveis: Temperatura (x_1) a 150 °C e maltodextrina (x_3) a 15%, com vazão de ar (x_2) a 1,3 e vazão de alimentação (x_4) a 0,35.

Através da análise de regressão dos resultados obtidos, a Equação 18 ($R^2=0,8632$) foi formulada, revelando que todas as variáveis analisadas foram estatisticamente significativas. Contudo, a temperatura (x_1) mostrou-se significativa apenas na forma quadrática. Em contraste, as variáveis vazão do ar de secagem (x_2), concentração de maltodextrina (x_3) e vazão de alimentação (x_4) apresentaram significância tanto na forma linear quanto na quadrática.

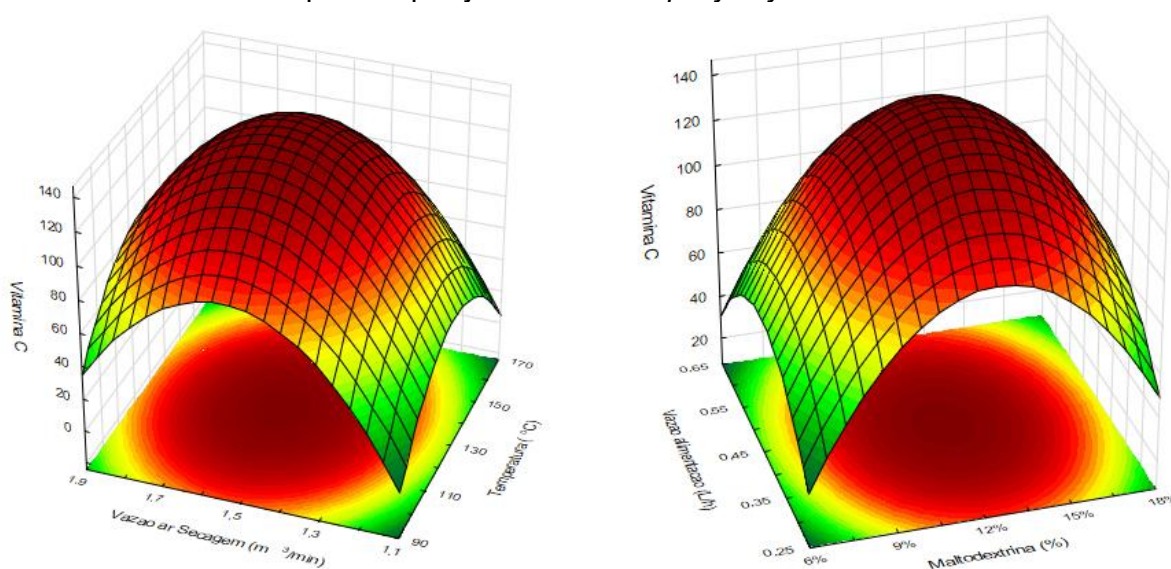
$$TTA = 140,34 - 12,82 \cdot x_1^2 - 16,57 \cdot x_2 - 42,15 \cdot x_2^2 - 19,12 \cdot x_3 - 38,42 \cdot x_3^2 + 14,06 \cdot x_4 - 21,46x_4^2 \quad (\text{Equação 18})$$

Para uma melhor compreensão dos resultados, foram desenvolvidas superfícies de resposta, conforme apresentado na Figura 32. Na imagem à esquerda (a), é mostrada a interação entre a temperatura (x_1) e a vazão do ar de secagem (x_2). Esta visualização ilustra como as variações na temperatura e na vazão do ar influenciam o resultado analisado. Na imagem à direita (b), é apresentada a interação entre a concentração de maltodextrina (x_3) e a vazão de alimentação (x_4), destacando como essas duas variáveis combinadas afetam o parâmetro em questão. Ambas as imagens proporcionam uma visão detalhada de como as diferentes condições experimentais impactam os resultados, facilitando a interpretação dos dados e a otimização do processo.

Conforme apresentado na Figura 32, a imagem à esquerda (a) revela que os melhores resultados para o teor de ácido ascórbico são obtidos com temperaturas intermediárias, variando entre 110 e 150 °C ou com vazão do ar de secagem também

intermediária, entre 1,3 e 1,7 m³/min. Da mesma forma, a imagem à direita (b) mostra que resultados ótimos são alcançados quando a concentração de maltodextrina está entre 9 e 15% ou vazão de alimentação varia entre 0,35 e 0,55 L/h. Essas observações indicam que valores intermediários para ambas as variáveis analisadas favoreceram a preservação do ácido ascórbico, oferecendo informações interessantes para o comportamento desse composto, o qual foi ligeiramente diferente dos demais bioativos analisados.

Figura 32 – Superfície de Resposta para o Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa.

No estudo de Lee, Wu e Siow (2013), observou-se que, durante a secagem de pitayas vermelhas e brancas em *spray dryer*, houve uma redução significativa no teor de ácido ascórbico em comparação com a amostra *in natura*. Os autores identificaram que altas temperaturas impactavam negativamente a retenção deste composto, mesmo em diferentes espécies de pitaya. Para este estudo, a temperatura foi avaliada na faixa de 120 a 180 °C, o que se aproxima das condições utilizadas neste trabalho.

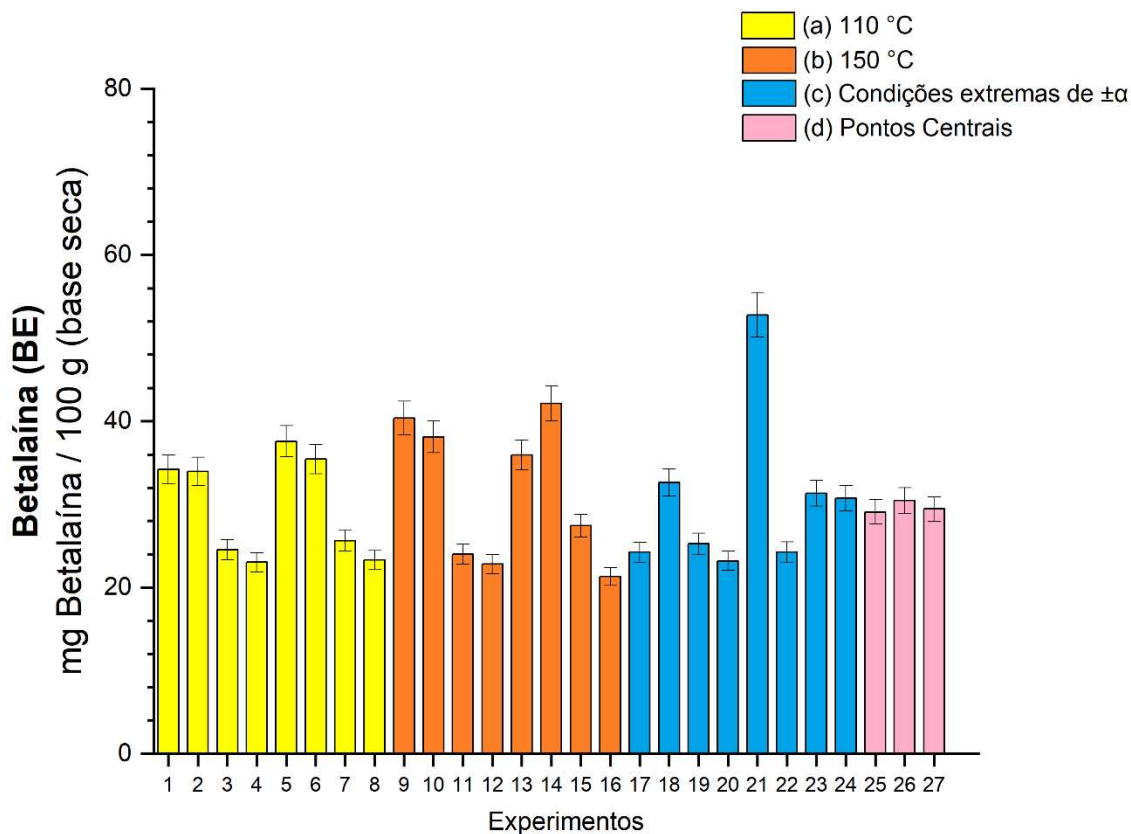
Já no estudo de Moreira et al. (2010), foi analisado o efeito do aumento da temperatura durante a secagem do bagaço de acerola em *spray dryer*, utilizando maltodextrina como agente carreador. Os resultados indicaram também que temperaturas mais elevadas tinham um impacto negativo significativo sobre o teor de ácido ascórbico, reduzindo sua concentração no produto final. No entanto, o estudo

também revelou que a adição de maltodextrina como agente carreador melhorava a retenção de ácido ascórbico. Moreira destacou que a maltodextrina possui um papel crucial na preservação desse composto, possivelmente devido à sua capacidade de formar uma matriz protetora ao redor do ácido ascórbico durante o processo de secagem, minimizando a degradação térmica.

4.2.2.5 Betalaína (BE)

Os resultados das análises do Teor de Betalaína (BE) estão ilustrados na Figura 33. A partir dos dados obtidos, mais uma vez foi possível observar uma variação significativa nos níveis de um composto bioativo no produto obtido, dependendo das condições experimentais aplicadas. Os valores registrados variaram de 21,31 a 52,79 mg de betalaína por 100 g de amostra em base seca. Essas variações indicam que diferentes condições de processamento impactam diretamente a concentração de betalaínas nos produtos finais.

Figura 33 - Teor de Betalaína (BE) para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa

Ao comparar os valores de betalaína *in natura*, que são de $83,45 \pm 4,17$ mg de betalaína por 100 g de amostra seca, com os resultados obtidos após a secagem, observa-se uma redução significativa que varia entre 36% e 75%. Esse decréscimo destaca a importância de encontrar os parâmetros ideais de secagem para preservar melhor este composto. Além disso, os resultados indicaram que a betalaína foi sensível a altas temperaturas e que o uso excessivo de maltodextrina pode também contribuir para a redução do teor desse composto.

No contexto dos resultados obtidos, o experimento 16 revelou o menor teor de betalaína, com $21,31 \pm 1,07$ mg de betanina por 100 g de amostra seca. Este experimento foi conduzido com uma temperatura de 170 °C, uma vazão do ar de 1,7 m³/min, 15% de maltodextrina e uma vazão de alimentação de 0,55 L/h. Em contraste, o experimento 21 apresentou o melhor resultado, com $52,79 \pm 2,64$ mg de betanina por 100 g de amostra seca. As condições deste experimento incluíram uma temperatura de 130 °C, uma vazão do ar de 1,5 m³/min, 6% de maltodextrina e uma vazão de alimentação de 0,45 L/h. Esses dados evidenciam que condições mais moderadas de temperatura e maltodextrina, juntamente com uma vazão de ar e de alimentação mais equilibradas, são mais eficazes na preservação da betalaína durante o processo de secagem.

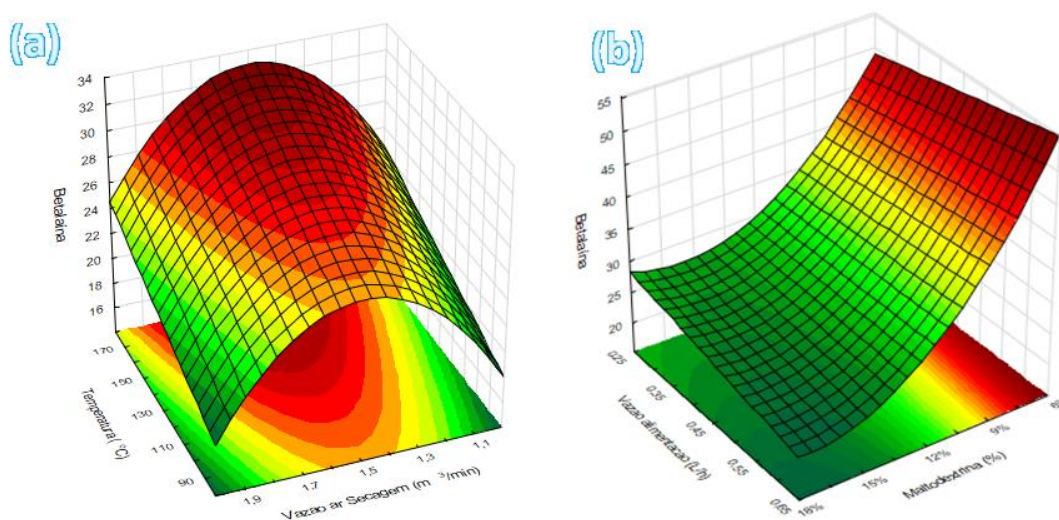
A análise dos resultados, conforme a regressão, forneceu a Equação 19 ($R^2 = 0,9558$), indicando que todas as variáveis analisadas têm significância estatística. A maltodextrina (x_3) demonstrou relevância significativa tanto na forma linear quanto quadrática, e também na interação com a temperatura (x_1). Por sua vez, a temperatura foi significativa na forma linear. A vazão do ar (x_2) foi significativa apenas na forma quadrática, enquanto a vazão de alimentação (x_4) teve significância apenas na interação com a maltodextrina. Essas observações destacam a complexidade das interações entre as variáveis e a importância de considerar tanto os efeitos individuais quanto as interações entre elas para otimizar o processo.

$$BE = 29,74 + 1,30 \cdot x_1 - 1,36 \cdot x_2^2 - 6,78 \cdot x_3 + 2,21 \cdot x_3^2 - 1,02 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,79 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (\text{Equação 19})$$

Para facilitar a interpretação dos resultados, foram elaboradas as superfícies de resposta ilustradas na Figura 34. A imagem à esquerda (a) mostra a interação entre a temperatura (x_1) e a vazão do ar de secagem (x_2), evidenciando como essas

variáveis influenciam os resultados de forma conjunta. Já a imagem à direita (b) ilustra a interação entre a concentração de maltodextrina (x_3) e a vazão de alimentação (x_4). Essas representações visuais ajudam a compreender como diferentes combinações de parâmetros afetam o processo de secagem e a composição dos produtos finais.

Figura 34 - Superfície de Resposta para o Teor de Betalaína (BE).



Fonte: dados da pesquisa.

Na Figura 34, a imagem à esquerda (a) revela que, ao elevar a temperatura acima de 150 °C e manter a vazão do ar de secagem em parâmetros intermediários (1,5 m³/min), obtém-se melhores resultados para concentração de betalaína. Por outro lado, a imagem à direita (b) mostra que reduzir a concentração de maltodextrina para menos de 9% e aumentar a vazão de alimentação para acima de 0,45 L/h também resulta em melhores teores de betalaína. Esses ajustes nas variáveis de processo seriam essenciais para maximizar a preservação da betalaína durante a secagem.

Quando a pitaya é exposta ao calor, as betacianinas enfrentam mudanças estruturais para tentar se estabilizar. Apesar de essas alterações iniciais poderem comprometer a integridade das betacianinas, estudos como os de Azeredo (2009) e Lim et al. (2011) demonstram que essas substâncias têm a capacidade de se regenerar posteriormente, recuperando parte de suas propriedades originais. No entanto, no estudo conduzido por Lee, Wu e Siow (2013), observou-se uma redução significativa no teor de betalaína durante a secagem em *spray dryer* da pitaya em comparação com a amostra in natura. Os autores destacaram que a betalaína é particularmente suscetível à degradação, especialmente quando exposta à luz.

4.2.3 Cor

Além dos teores de compostos bioativos, a cor das amostras pós-secagem em *spray dryer* também foi analisada. Os resultados da coloração instrumental dos pós obtidos estão detalhados na Tabela 9. Observou-se que a luminosidade (L^*) variou entre 12,20 e 14,53, indicando diferenças na intensidade de brilho das amostras. O parâmetro a^* (vermelho/verde) apresentou valores entre 4,25 e 6,42, refletindo variações na intensidade da cor vermelha em relação à verde. Por sua vez, o parâmetro b^* (amarelo/azul) oscilou de 0,64 a 1,21, indicando a variação na intensidade da cor amarela em relação à azul. Esses dados oferecem uma visão abrangente das mudanças cromáticas ocorridas durante o processo de secagem.

Tabela 9 – Resultado para as variáveis de cor dos pós de pitaya secos em *spray dryer*.

Experimentos	L^*	a^*	b^*	C	H°	ΔE
1	12,87	5,68	1,15	7,00	0,21	11,02
2	12,53	5,65	1,08	6,82	0,19	11,35
3	13,67	6,01	1,03	7,07	0,17	10,40
4	13,57	5,56	1,05	6,66	0,19	10,57
5	13,84	6,02	1,02	7,06	0,17	10,01
6	13,13	5,55	0,93	6,41	0,17	10,76
7	13,92	5,6	1,02	6,64	0,18	10,22
8	13,96	4,25	0,98	5,21	0,23	10,50
9	13,51	5,63	1,05	6,73	0,19	10,38
10	13,82	6,42	1,21	7,88	0,19	10,01
11	13,1	5,49	0,86	6,23	0,16	14,23
12	13,76	5,56	0,96	6,48	0,17	10,38
13	12,89	5,37	0,64	5,78	0,12	11,00
14	12,3	6,01	1,04	7,09	0,17	11,54
15	13,3	5,92	0,93	6,78	0,16	10,78
16	13,46	5,66	0,91	6,49	0,16	10,66
17	13,83	5,44	1,16	6,79	0,22	11,33
18	13,51	5,77	0,87	6,53	0,15	11,38
19	13,57	5,74	1,04	6,82	0,18	14,77
20	13,9	5,87	0,98	6,83	0,17	11,01
21	12,29	5,58	0,98	6,54	0,18	13,70
22	14,53	5,44	0,99	6,42	0,18	14,64
23	13,28	5,68	0,99	6,66	0,18	11,61
24	13,34	6,11	1,19	7,53	0,20	11,31
25	12,97	5,83	1,12	7,08	0,19	11,77
26	12,81	5,77	1,14	7,07	0,20	11,94
27	12,93	5,59	1,11	6,82	0,20	11,95

Fonte: Dados da pesquisa.

De modo geral, os pós com maior teor de maltodextrina apresentaram uma coloração mais clara, resultando em uma maior luminosidade devido à presença dos cristais brancos desse agente carreador, que se incorporam às amostras. Além disso, para uma compreensão mais detalhada dos resultados cromáticos e das interações entre os parâmetros a^* , b^* e L^* , foi realizada uma análise estatística dos resultados de C^* , H° e ΔE . Essa análise permitiu investigar a interação das variáveis do PCC com os resultados de coloração das amostras, proporcionando uma visão mais completa das mudanças cromáticas ocorridas durante o processo de secagem.

Ao analisar os resultados do parâmetro de C^* , observou-se uma redução significativa na saturação em comparação com a amostra *in natura*, que apresentou um valor de 19,26. Após a secagem, os pós de pitaya exibiram uma variação na saturação entre 5,21 e 7,88, indicando uma mudança perceptível na cor das amostras, que passaram de um vermelho-rosa para um rosa claro, conforme ilustrado na Figura 35. Essa tendência é corroborada pelo estudo de Lee, Wu e Siow (2013), que também reportou uma mudança de cor similar, com as amostras passando de vermelho para um rosa claro com tonalidades ligeiramente amareladas.

Figura 35 - Diferença de cor das amostras de pitaya antes e após a secagem em *spray dryer*.



(a) amostra *in natura*, (b) amostra após secagem. Fonte: Dados da pesquisa.

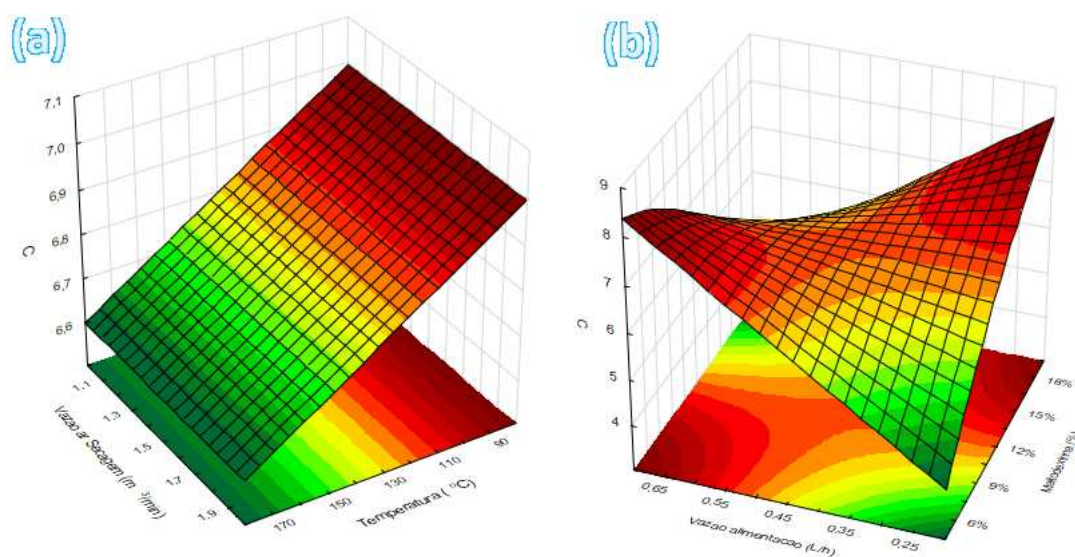
Através da análise de regressão dos dados obtidos, foi possível obter a Equação 20 ($R^2 = 0,8154$) para os resultados do parâmetro C . A temperatura (x_1) mostrou-se estatisticamente significativa apenas na forma linear. Por outro lado, a

maltodextrina (x_3) apresentou significância somente na forma quadrática. Além disso, a vazão de alimentação (x_4) revelou interações significativas com todas as variáveis analisadas no estudo (x_1 , x_2 e x_3).

$$C = 6,80 - 0,26 \cdot x_1 - 0,09 \cdot x_3^2 + 0,68 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,36 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,34 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (\text{Equação 20})$$

Para melhor compreensão dos resultados, foram desenvolvidas as superfícies de resposta, conforme apresentado na Figura 36. Na imagem à esquerda (a), é possível observar a interação entre a temperatura (x_1) e a vazão do ar de secagem (x_2). Já na imagem à direita (b), a análise foca na interação entre a concentração de maltodextrina (x_3) e a vazão de alimentação (x_4). Essas representações ajudam a entender como cada par de variáveis influencia a coloração das amostras.

Figura 36 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor C^* para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 36, a imagem à esquerda (a) mostra que, para obter melhores resultados para saturação da cor nas amostras, é mais eficaz reduzir a temperatura abaixo de 130°C, independentemente da vazão do ar de secagem. Em contraste, a imagem à direita (b) revela que a melhor retenção da cor é alcançada ao aumentar a concentração de maltodextrina para mais de 12% e manter a vazão de alimentação acima de 0,45 L/h. Esses ajustes nas variáveis permitem otimizar a saturação da cor

das amostras, evidenciando a importância de balancear a temperatura e a concentração de maltodextrina durante o processo de secagem.

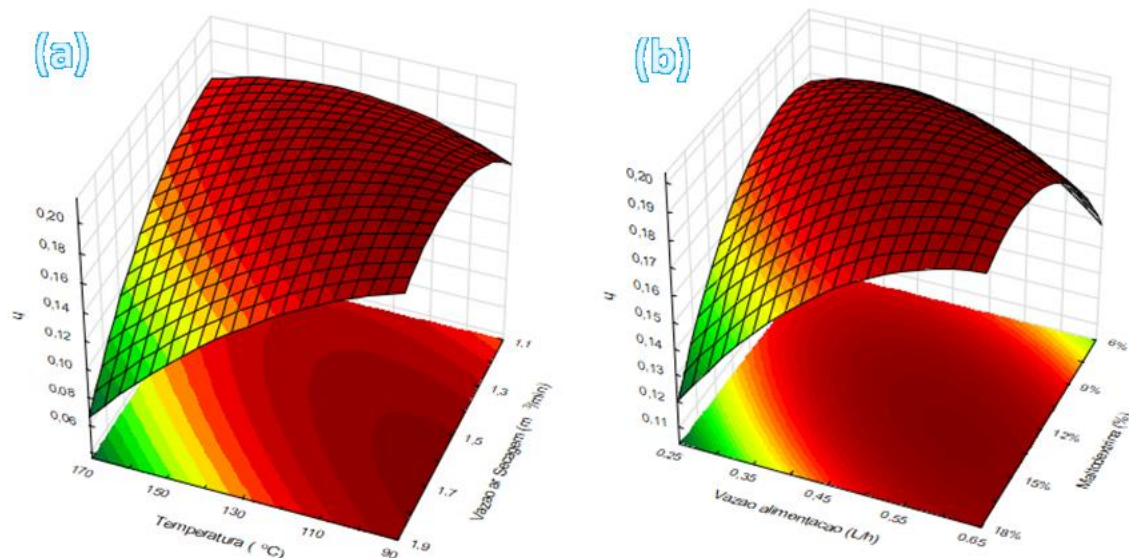
Para o parâmetro H° , observou-se que tanto a amostra *in natura* quanto os pós secos apresentaram tonalidades de rosa claro com valores próximos ao ângulo 0° (vermelho), variando de 0,12 a 0,23. No entanto, com o aumento da temperatura durante o processo de secagem, houve uma redução nesse parâmetro. Essa diminuição pode estar associada à destruição dos compostos responsáveis pela cor, como sugerido por Tonon, Brabet e Hubinger (2009). Em seu estudo, observaram que o aumento da temperatura resultou na degradação das antocianinas no açaí, levando a uma coloração mais clara nos pós, corroborando a hipótese de que a destruição de compostos coloridos contribui para a redução da intensidade da cor.

Através da análise de regressão dos resultados obtidos, foi obtida a Equação 21 ($R^2 = 0,8897$), que revelou a influência das variáveis no tom (H°) das amostras. A equação demonstra que a temperatura (x_1), a vazão do ar (x_2) e a vazão de alimentação (x_4) afetaram significativamente os resultados tanto na forma linear quanto quadrática. A maltodextrina (x_3) teve impacto significativo apenas na forma quadrática. Além disso, foram identificadas interações estatisticamente significativas entre a temperatura e a vazão do ar, entre a vazão do ar e a maltodextrina, e entre a maltodextrina e a vazão de alimentação, evidenciando a complexidade das influências combinadas sobre a coloração das amostras.

$$H^\circ = 0,20 - 0,02 \cdot x_1 - 0,01 \cdot x_1^2 - 0,01 \cdot x_2 - 0,01 \cdot x_2^2 - 0,01 \cdot x_3^2 + 0,01 \cdot x_4 - 0,01 \cdot x_4^2 - 0,01 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,01 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,01 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (\text{Equação 21})$$

Para melhor compreensão dos resultados, foram desenvolvidas as superfícies de resposta apresentadas na Figura 37. Na imagem à esquerda (a), observamos a interação entre a temperatura (x_1) e a vazão do ar de secagem (x_2), evidenciando como variações na temperatura influenciam a coloração das amostras em função da vazão do ar. Já na imagem à direita (b), analisamos a interação entre a concentração de maltodextrina (x_3) e a vazão de alimentação (x_4), destacando como essas variáveis afetam a tonalidade da coloração dos pós.

Figura 37 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor H^* para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: dados da pesquisa.

Conforme apresentado na Figura 37, a imagem à esquerda (a) revela que a melhor tonalidade de cor é alcançada quando a temperatura (x_1) é mantida abaixo de 130°C e a vazão do ar de secagem (x_2) está entre 1,5 e $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$. Por outro lado, a imagem à direita (b) indica que os melhores resultados para a coloração são obtidos com uma concentração de maltodextrina (x_3) em torno de 15% e uma vazão de alimentação (x_4) superior a $0,45 \text{ L/h}$.

De acordo com Romano et al. (2020), a classificação do valor de ΔE , que mede a diferença de cor entre amostras, é a seguinte: valores menores que 1,0 indicam diferenças de cor não perceptíveis aos olhos humanos; valores entre 1 e 2 são perceptíveis apenas com uma observação atenta; valores de 2 a 10 são perceptíveis num piscar de olhos; diferenças entre 11 e 49 indicam que as cores são mais semelhantes do que opostas; valores entre 50 e 99 mostram que as cores são mais opostas do que semelhantes; e um valor de 100 indica que as cores são exatamente opostas.

Avaliando os resultados obtidos, o parâmetro de cor ΔE variou entre 11,65 e 14,77, o que indica que as amostras pós-secagem possuem diferenças de cor visivelmente perceptíveis em relação à amostra in natura, de acordo com a classificação de Romano et al. (2020). No entanto, as variações de cor entre as

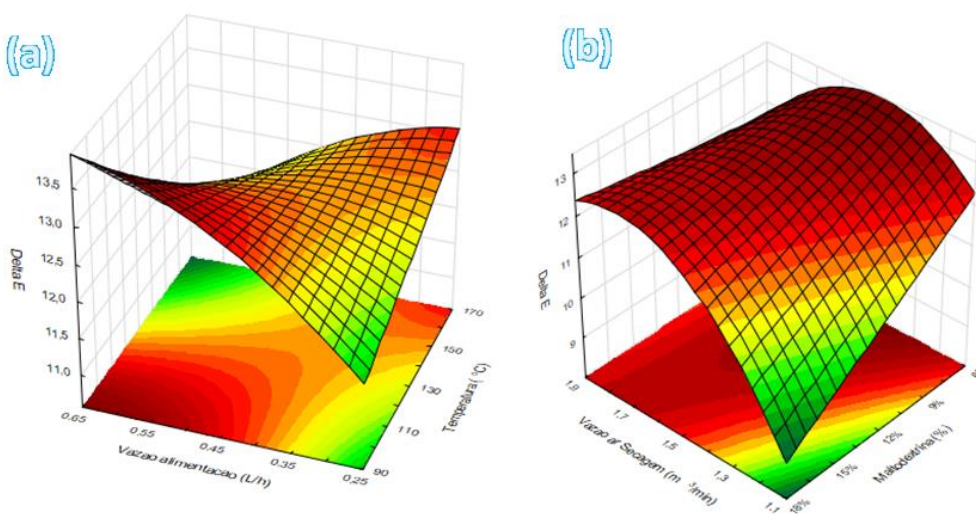
amostras secas são relativamente pequenas, resultando em tonalidades que são mais semelhantes do que opostas entre si. Isso sugere que, apesar das alterações na cor devido ao processo de secagem, as amostras mantêm uma certa uniformidade cromática em comparação umas com as outras.

A análise de regressão dos dados resultou na Equação 22 ($R^2 = 0,9463$), que revela a significância estatística das variáveis na determinação da cor das amostras. A temperatura (x_1) e a maltodextrina (x_3) mostraram-se significativas apenas de forma linear, enquanto a vazão do ar (x_2) apresentou significância tanto na forma linear quanto quadrática. Por outro lado, a vazão de alimentação (x_4) revelou significância apenas na forma quadrática. Além disso, as interações entre temperatura e vazão do ar, temperatura e maltodextrina, temperatura e vazão de alimentação, vazão do ar e maltodextrina, e vazão do ar e vazão de alimentação também foram estatisticamente significativas, indicando que essas variáveis interagem de maneira complexa e influenciam conjuntamente a coloração das amostras.

$$\Delta E = 12,81 - 0,11 \cdot x_1 + 10,29 \cdot x_2 - 0,83 \cdot x_2^2 - 0,32 \cdot x_3 - 0,09 \cdot x_4^2 + 0,89 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,35 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,36 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,38 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,29 \cdot x_2 \cdot x_4 \quad (\text{Equação 22})$$

Para facilitar a interpretação dos resultados, foram elaboradas as superfícies de resposta da Figura 38. Essa visualização mostra como variações dos parâmetros afetam a cor, permitindo avaliar a diferença de cor das amostras.

Figura 38 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor ΔE para os pós de pitaya secos em *spray dryer*.



Fonte: dados da pesquisa.

Conforme demonstrado na Figura 38, os resultados de ΔE para diferença de cor revelam padrões distintos. Na imagem à esquerda (a), observa-se que temperaturas (x_1) abaixo de 110 °C combinadas com uma vazão de alimentação (x_4) inferior a 0,45 L/h resultam em menores diferenças de cor, indicando uma tonalidade mais semelhante à amostra *in natura*. Por outro lado, a imagem à direita (b) mostra que uma vazão de ar de secagem (x_2) intermediária, em torno de 1,5 m³/min, combinada com uma menor concentração de maltodextrina (x_3), abaixo de 9%, apresentou melhores resultados em termos de similaridade de cor. Esses padrões sugerem que ajustes precisos nos parâmetros de secagem podem melhorar a correspondência de cor das amostras ao produto original.

Bassey, Cheng e Sun (2022) observaram em seu estudo sobre a secagem de pitaya utilizando secadores de infravermelho que as amostras expostas a temperaturas mais baixas apresentaram valores de ΔE menores. Esse fenômeno foi atribuído à menor degradação dos pigmentos, especialmente devido à baixa estabilidade da betalaína em altas temperaturas, e ao impacto reduzido de reações oxidativas, como a reação de Maillard durante a caramelização dos açúcares.

4.3 Experimentos no *Refractance Window* (RW)

4.3.1 Umidade Final e Atividade de Água (a_w)

Os resultados obtidos para o teor de umidade final em base úmida (b.u.) e atividade de água das amostras secas em *refractance window* (RW) estão apresentados na Tabela 10. Esses dados fornecem uma visão detalhada sobre a eficiência do processo de secagem e a retenção de umidade nas amostras após o tratamento, permitindo avaliar a eficácia do método de secagem empregado e sua influência na qualidade final do produto.

A umidade dos pós variou de 10,08% a 50,76%, e a atividade de água (a_w) apresentou uma faixa de 0,279 a 0,936, o que era esperado já que variadas condições operacionais combinando temperatura e tempo foram avaliadas. Os dados indicaram que apenas os experimentos 2, 4, 6 e 8 obtiveram níveis de atividade de água adequados para armazenamento das amostras (OLIVEIRA et al., 2021). Esses resultados demonstram que o RW pode ser eficiente na secagem de pitaya vermelha,

mesmo em temperaturas baixas, desde que com um tempo mais elevado de secagem. Os testes 1 e 2 evidenciam, por exemplo, que um aumento no tempo de secagem resulta em uma redução significativa tanto na umidade quanto na atividade de água, ressaltando a necessidade de um controle preciso do tempo de secagem para garantir a qualidade e a estabilidade das amostras.

Tabela 10 - Resultados obtidos para umidade do pó na secagem em *refractance window* (RW) em função das variáveis independentes.

Experimentos	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Umidade final (%)	Atividade de água (a_w)
1	60	120	50,76	0,936
2	60	240	11,63	0,279
3	80	120	34,58	0,710
4	80	240	10,08	0,328
5	55,9	180	27,66	0,866
6	84,1	180	10,64	0,279
7	70	95	48,39	0,876
8	70	264	10,26	0,315
9	70	180	44,27	0,836
10	70	180	32,33	0,715

Fonte: Dados da pesquisa.

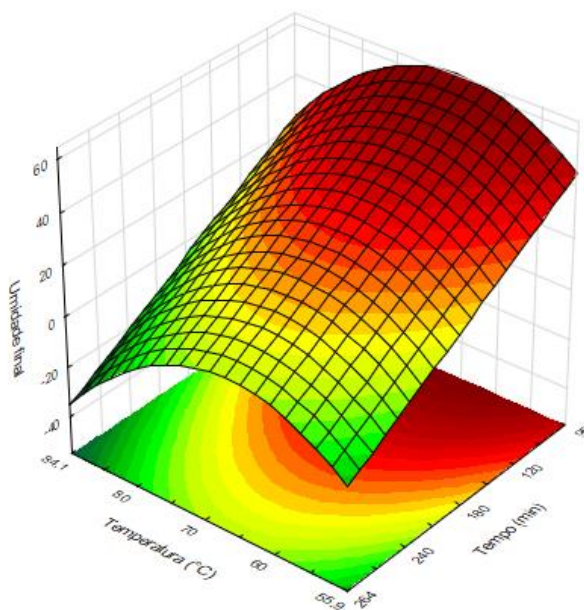
De acordo com o estudo de Dadhaneeya et al. (2023), que investigou a secagem de fatias de pitaya (*Hylocereus undatus*) com espessura de 5 e 7 mm, o método RW demonstrou ser particularmente eficiente. O RW conseguiu atingir um teor de umidade final de 6,50% (base seca) em 960 minutos (60 °C). Em comparação, outros métodos de secagem, como liofilização, secagem a vácuo e secagem em forno de ar quente, exigiram tempos significativamente mais longos para alcançar o mesmo teor de umidade final, com durações de 1320, 1200 e 1080 minutos, respectivamente. Esses resultados destacam a eficiência do RW em termos de tempo, oferecendo uma alternativa eficaz para a secagem de pitaya.

Através da análise de regressão dos dados obtidos para umidade final, foi obtida a Equação 23 ($R^2 = 0,9098$). Essa equação revela uma forte interação da temperatura (x_1), que se mostra significativa tanto na forma linear quanto quadrática. Por outro lado, o tempo (x_2) apresentou significância apenas na forma linear.

$$Umidade (\%) = 33,89 - 5,23 \cdot x_1 - 7,289 \cdot x_1^2 - 14,69x_2 \quad (\text{Equação 23})$$

Para melhor compreensão dos resultados, foi desenvolvida a superfície de resposta, apresentada na Figura 39, a qual demonstra o efeito das variáveis na umidade final do produto obtido. Observou-se um efeito significativo da temperatura e do tempo nos resultados de umidade. Quando a temperatura era reduzida, era necessário aumentar o tempo; por outro lado, ao elevar a temperatura, o tempo poderia ser diminuído para obter os melhores resultados de umidade analisados..

Figura 39 – Superfície de Resposta para a umidade (%) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: dados da pesquisa.

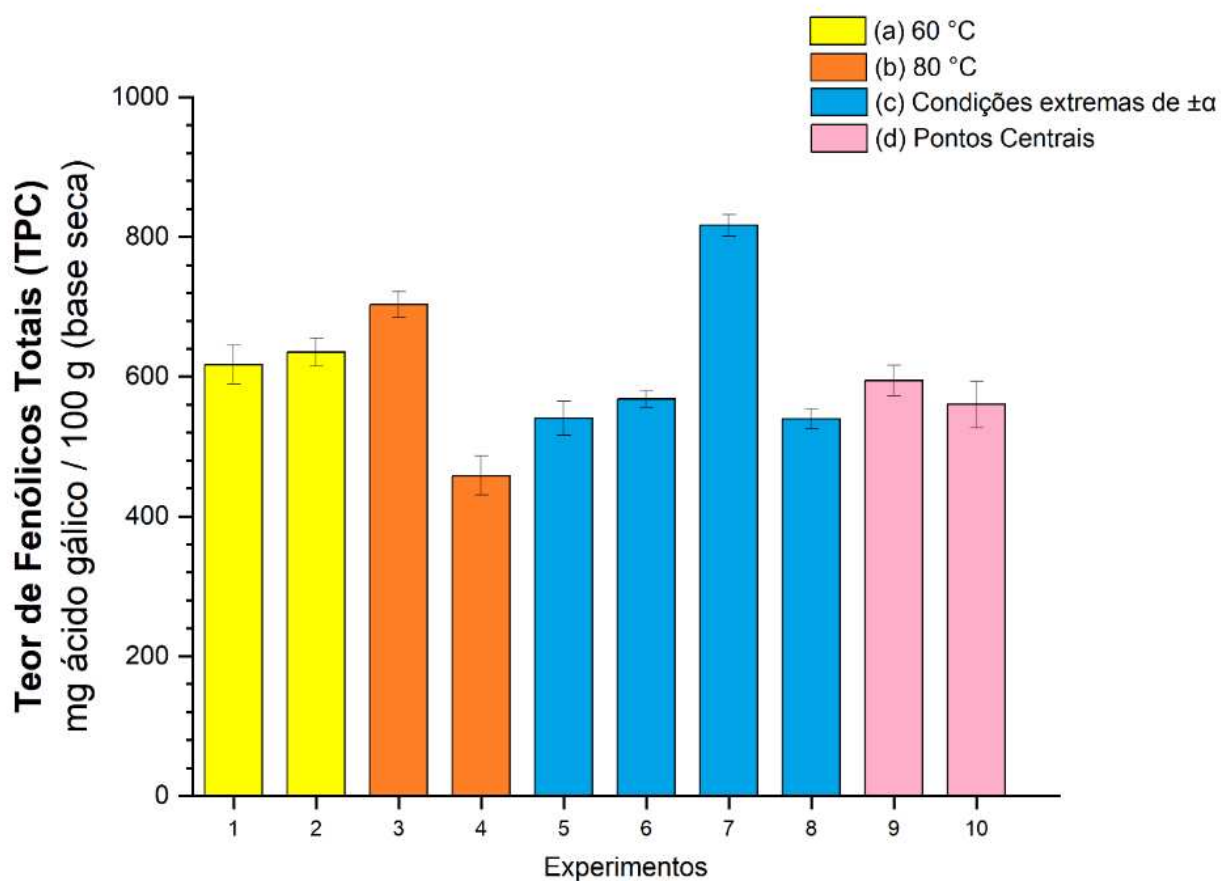
4.3.2 Compostos Bioativos

Os resultados das análises dos compostos bioativos da pitaya seca em RW estão detalhados nos tópicos a seguir. Para uma melhor compreensão, os dados foram organizados em gráficos de barras e os experimentos foram divididos em quatro blocos distintos: (a) Experimentos 1 e 2, realizados a 60 °C; (b) Experimentos 3 e 4, conduzidos a 80 °C; (c) Experimentos 5 a 8, que utilizaram condições extremas das variáveis ($\pm\alpha$); e (d) Experimentos 9 e 10, que representam as réplicas no ponto central. As análises dos compostos bioativos serão discutidas a seguir para proporcionar uma visão clara e estruturada dos efeitos das diferentes condições de secagem.

4.3.2.1 Teor de Fenólicos Totais (TPC)

Os resultados das análises do teor de fenólicos totais (TPC) estão ilustrados na Figura 40. A análise revelou variações significativas no TPC em função das condições experimentais aplicadas. Os valores obtidos para o teor de fenólicos totais oscilaram entre 458,51 e 816,93 mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca, indicando que diferentes condições de secagem influenciaram de maneira substancial a concentração de compostos fenólicos na pitaya.

Figura 40 – Teor de Fenólicos Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

Em comparação com a amostra in natura, que apresentava $1071,01 \pm 32,54$ mg de ácido gálico por 100 g de amostra seca, observou-se uma redução menos acentuada durante o processo de secagem em RW, mesmo com o aumento da temperatura, com uma média de redução variando entre 24% e 57%. Além disso, os

valores obtidos com o método de RW foram superiores aos alcançados com a secagem por *spray dryer*. Esse resultado pode ser atribuído à ausência da necessidade de adição de maltodextrina e ao uso de temperaturas mais moderadas durante a secagem em RW, o que contribuiu para uma melhor preservação dos compostos fenólicos.

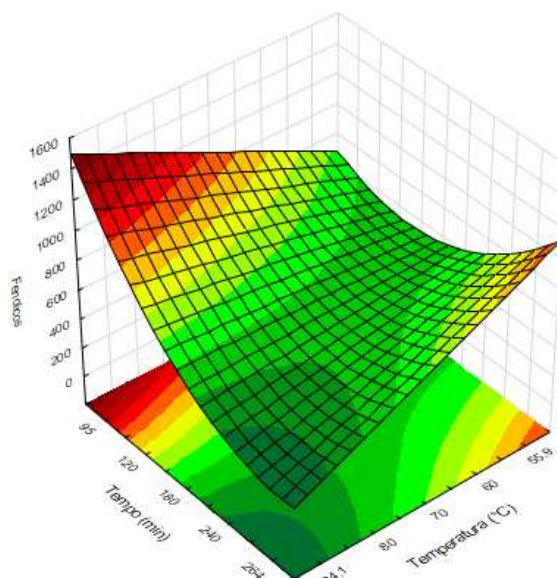
Através da análise de regressão dos resultados obtidos, foi obtida a Equação 24 ($R^2 = 0,9121$). Esta equação revela que o tempo (x_2) teve um efeito significativo em todas as formas analisadas, tanto linear quanto quadrático. Em contraste, a temperatura (x_1) demonstrou significância apenas quando interagiu com o tempo, sem impacto significativo isolado nas condições experimentais.

$$TPC = 560,74 - 77,35 \cdot x_2 + 53,46 \cdot x_2^2 - 65,66 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Equação 24})$$

Para facilitar a compreensão dos resultados referentes ao teor de fenólicos totais (TPC), foi desenvolvida a superfície de resposta, apresentada na Figura 41. Esta representação visual permite uma análise mais clara das variáveis envolvidas e como elas afetam o conteúdo de fenólicos totais nas amostras.

Conforme indicado pela superfície de resposta apresentada na Figura 41, os melhores resultados para o teor de fenólicos totais (TPC) são alcançados quando se eleva o tempo de secagem para além de 240 minutos a temperaturas mais baixas, como 60°C, ou quando se reduz o tempo de secagem a temperaturas mais altas, como 80°C. Essas condições maximizaram a retenção dos compostos fenólicos nas amostras.

Figura 41 - Superfície de Resposta para o Teor de Fenólicos Totais (TPC) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

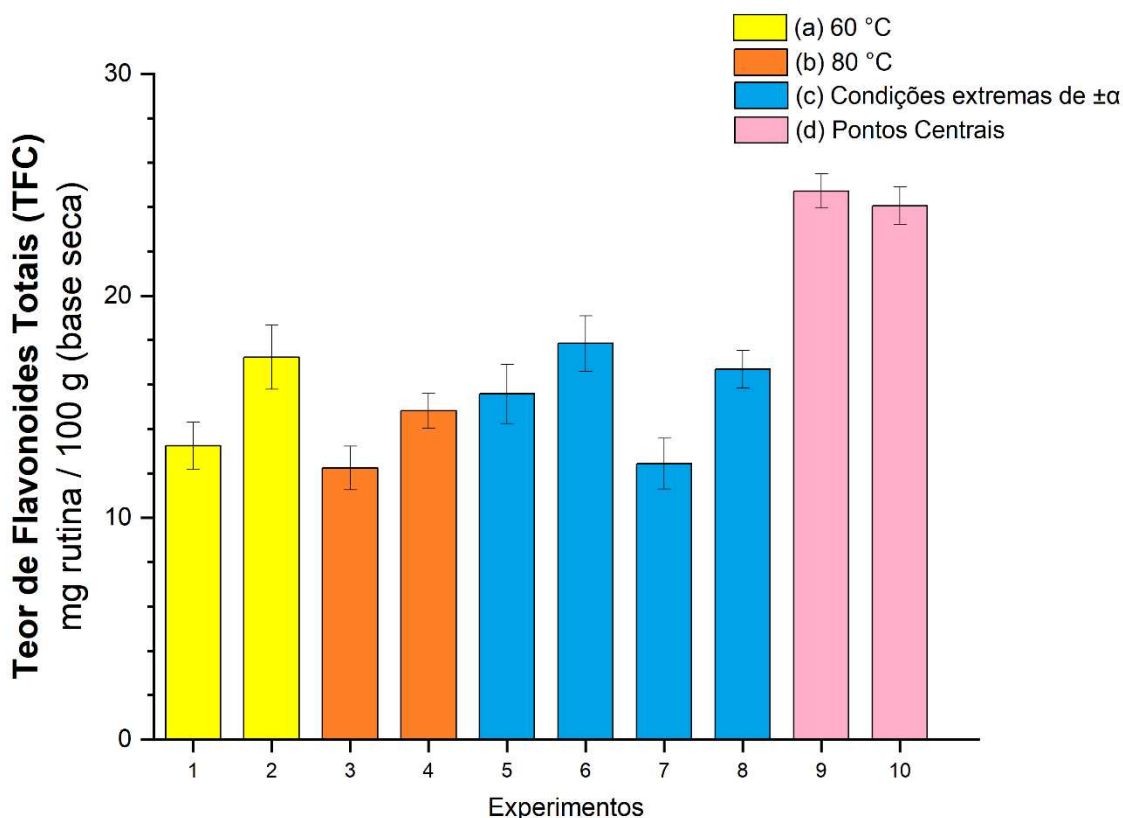
Thaiudom et al. (2023) observaram que os valores de fenólicos totais nas amostras de pitaya in natura foram inferiores, com 211,83 mg de ácido gálico por 100g, o que pode ser atribuído à diferença de espécie (*Hylocereus undatus*). Após o processo de secagem, entre os métodos avaliados, o RW apresentou os melhores resultados com 165,52 mg de ácido gálico por 100 g, embora esses valores sejam inferiores aos encontrados no estudo atual. A perda média de compostos fenólicos durante a secagem foi de apenas 20%. Os autores também destacaram que a redução no teor de fenólicos totais pode ser atribuída à degradação desses compostos, que são sensíveis ao calor. Em comparação, outros métodos de secagem utilizam temperaturas mais elevadas e expõem as amostras a períodos mais longos, o que pode acentuar a degradação dos compostos fenólicos.

4.3.2.2 Teor de Flavonoides Totais (TFC)

Os resultados das análises do teor de flavonoides totais (TFC) estão apresentados na Figura 42. A análise revelou variações significativas nos níveis de TFC em função das condições experimentais empregadas. Os valores encontrados para o TFC variaram de 13,25 a 24,05 mg de rutina por 100 g de amostra seca,

indicando que diferentes condições de secagem influenciaram consideravelmente a concentração deste composto bioativo nas amostras.

Figura 42 - Teor de Flavonoides Totais (TFC) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

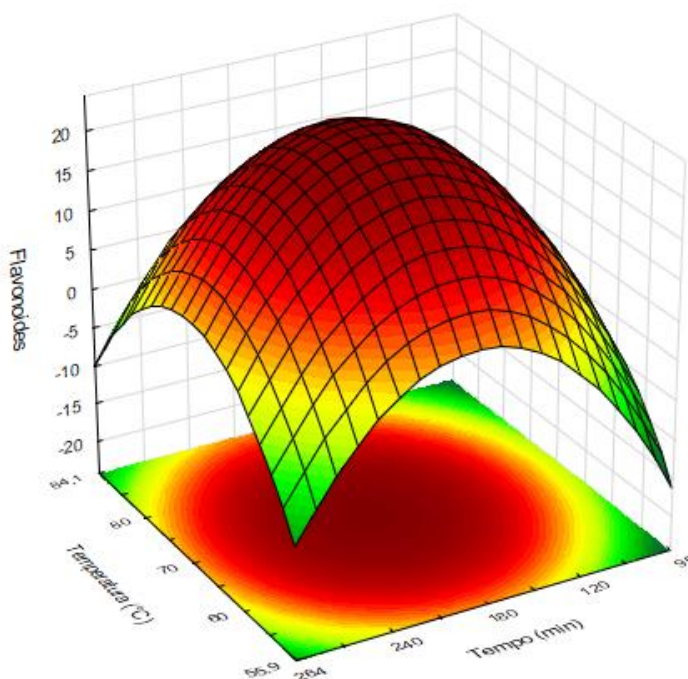
Conforme mencionado anteriormente, os flavonoides são compostos sensíveis que podem sofrer degradação significativa quando expostos ao calor. No caso da pitaya, observou-se uma redução notável no teor de flavonoides totais após o processo de secagem, em comparação com as amostras *in natura*, que apresentavam $42,27 \pm 1,74$ mg de rutina por 100 g de amostra em base seca. Entretanto, ao contrário do método de secagem por *spray dryer* (SD), a secagem em RW mostrou-se mais eficaz na retenção dos teores de flavonoides totais. Enquanto o método SD resultou em perdas consideráveis, a secagem em RW apresentou uma perda de flavonoides que variou entre 43 e 68%, evidenciando uma retenção superior.

Através da análise de regressão dos dados obtidos, o teor de flavonoides totais (TFC) pode ser descrito pela Equação 25 ($R^2 = 0,9461$). Nesta equação, a temperatura (x_1) mostrou-se estatisticamente significativa na forma quadrática, enquanto o tempo (x_2) teve um efeito significativo tanto na forma linear quanto na quadrática. Essa modelagem permite entender melhor como as variações de temperatura e tempo impactam a retenção de flavonoides totais durante o processo de secagem.

$$TFC = 24,38 - 4,15.x_1^2 + 1,57.x_2 - 5,23.x_2^2 \quad (\text{Equação 25})$$

Para facilitar a interpretação dos resultados do teor de flavonoides totais (TFC), foi elaborada uma superfície de resposta, apresentada na Figura 43. Esta superfície ilustra a influência conjunta da temperatura (x_1) e do tempo (x_2) sobre os teores de flavonoides totais. A análise visual da figura permite observar como diferentes combinações desses parâmetros afetam a retenção de TFC, oferecendo informações sobre as condições ideais para a preservação desses compostos durante o processo de secagem.

Figura 43 – Superfície de Resposta para o Teor de Flavonoides Totais (TFC) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

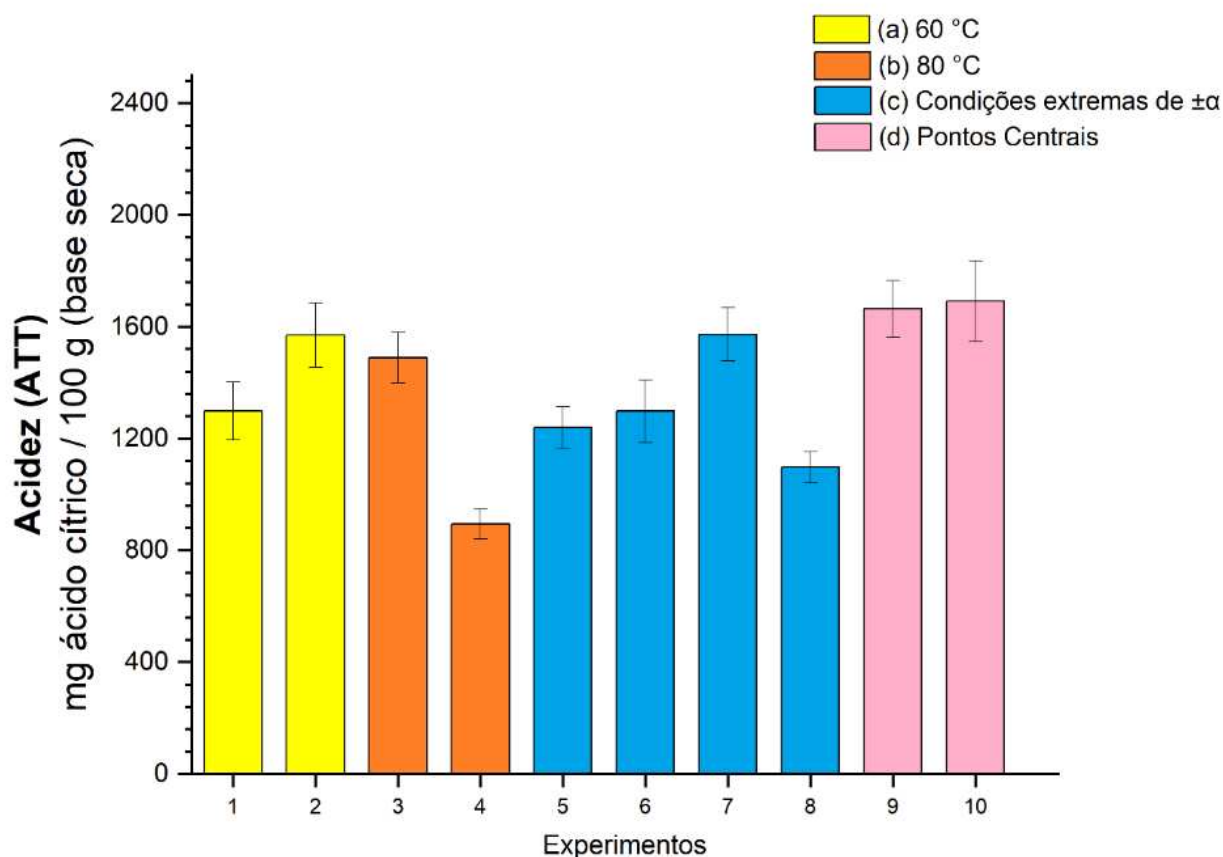
Conforme ilustrado na superfície de resposta, os melhores resultados para o TFC são observados nas condições centrais, com uma temperatura de 70 °C e um tempo de secagem de 180 minutos. Por outro lado, os menores valores de TFC são registrados nas extremidades tanto das variáveis de temperatura quanto de tempo, evidenciando que desvios significativos para mais ou para menos em relação a esses parâmetros resultam em menor retenção de flavonoides totais.

Ao comparar os resultados com os de Dadhaneeya et al. (2023), observou-se que a amostra de pitaya *in natura* apresentava TFC inferiores, com 3,12 mg de rutina por 100 g de amostra seca. Durante o processo de secagem, o método de RW demonstrou um desempenho notável, apresentando teores de 2,82 mg para as fatias e 2,84 mg para a polpa, posicionando-se como o segundo melhor entre os métodos estudados. Em contraste, o método de liofilização obteve os melhores resultados, com 2,94 mg para as fatias e 3,01 mg para a polpa. Apesar disso, o método de RW mostrou uma retenção significativa de aproximadamente 90% dos flavonoides totais, corroborando a eficácia desse método para preservar os teores de flavonoides durante a secagem.

4.3.2.3 Acidez Total (ATT)

Os resultados das análises do teor de acidez total (ATT) estão apresentados na Figura 44. Ao avaliar os mesmos, percebeu-se uma redução da concentração de ácido cítrico na maior parte das amostras em comparação à *in natura* (2279,13 ± 198,19 mg de ácido cítrico / 100g de amostra seca). Além disso, com base nos resultados obtidos após a secagem (893,97 a 1691,73), foi verificado também uma diferença importante entre os testes, quase o dobro em comparação ao menor com o maior resultado.

Figura 44 – Teor de Acidez Total (ATT) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



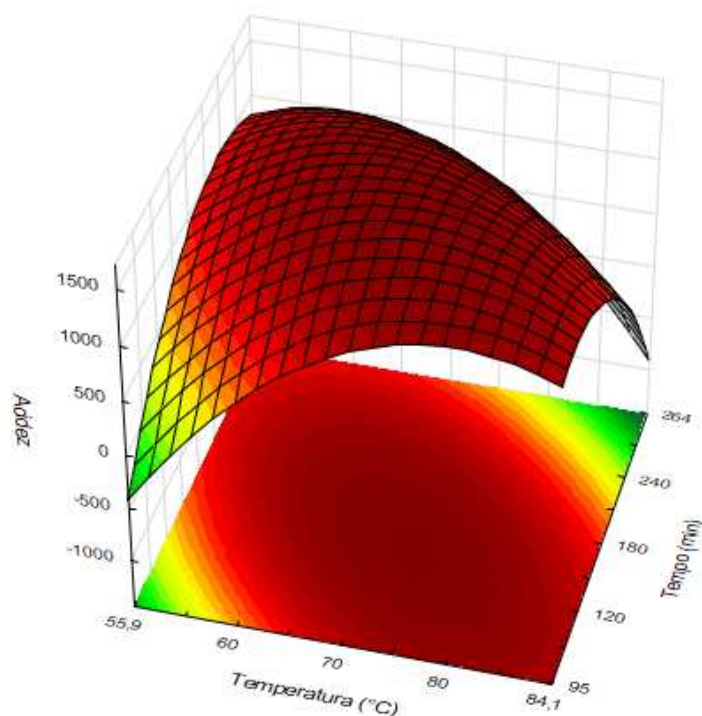
Fonte: Dados da pesquisa.

Através da análise de regressão dos dados, o teor de acidez total (ATT) pôde ser descrito pela Equação 26 ($R^2 = 0,8752$). Nesta equação, a temperatura (x_1) apresentou significância estatística na forma quadrática, enquanto o tempo (x_2) foi significativo tanto na forma linear quanto na quadrática, além das interações entre essas variáveis.

$$ATT = 1678,10 - 202,03.x_1^2 - 124,64.x_2 - 168,53.x_2^2 - 216,67.x_1.x_2 \quad (\text{Equação 26})$$

Para uma análise mais detalhada dos resultados de ATT, foi desenvolvida a superfície de resposta apresentada na Figura 45. Esta representação visual permite uma melhor compreensão da influência das variáveis no teor de acidez total, destacando como as diferentes combinações de temperatura e tempo afetam o ATT das amostras.

Figura 45 – Superfície de Resposta para o Teor de Acidez Total (ATT) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

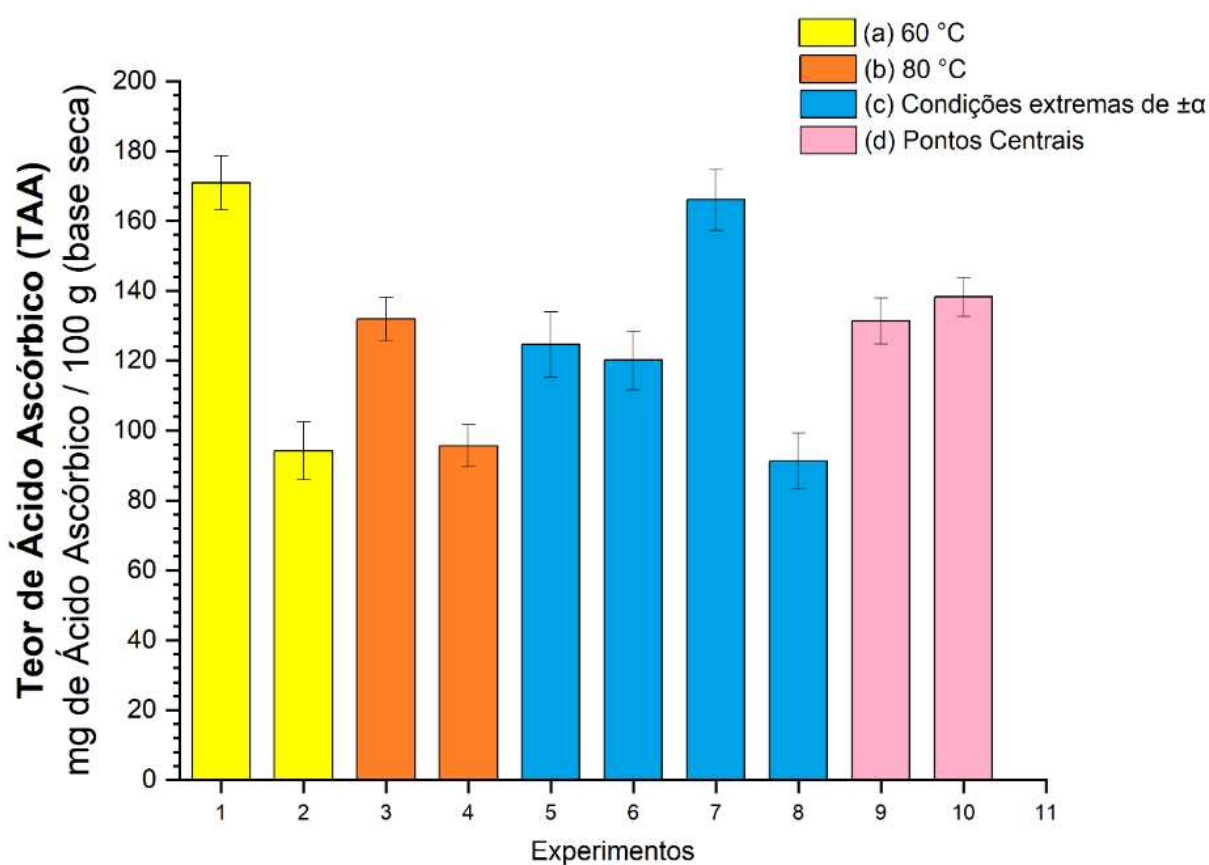
Conforme ilustrado na superfície de resposta, os experimentos realizados com temperaturas superiores a 60 °C e tempos de secagem menores que 180 min apresentaram os maiores níveis de acidez. No entanto, conforme discutido anteriormente, produtos com alta acidez podem ser rejeitados pelos consumidores devido à sua falta de palatabilidade (SILVA, 2015). Portanto, para a secagem em RW, o melhor resultado em termos de acidez foi encontrado no Experimento 4, que apresentou o menor teor de acidez, com $893,97 \pm 54,18$ mg de ácido cítrico / 100 g de amostra seca, resultando em uma redução de 60%. As condições para este experimento foram uma temperatura de 80 °C e um tempo de secagem de 240 minutos.

4.3.2.4 Teor de Ácido Ascórbico (TAA)

Os resultados das análises do teor de ácido ascórbico (TAA) estão ilustrados na Figura 46. As análises revelaram variações significativas no TAA, dependendo das condições experimentais adotadas. Os dados obtidos mostram teores variando de

91,23 a 170,90 mg de ácido ascórbico em 100g de amostra em base seca, indicando uma diferença substancial entre os diferentes testes realizados. , Observou-se também uma redução significativa na concentração da maioria das amostras em comparação com o valor *in natura*, que é de $321,19 \pm 33,63$ mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra seca. Em média, houve uma perda de cerca de 50% em relação ao maior valor obtido.

Figura 46 – Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

Destacam-se, entre os resultados obtidos, os três maiores valores de Teor de Ácido Ascórbico (TAA): Experimento 1 com 170,90 mg, Experimento 7 com 166,08 mg e Experimento 10 com 138,22 mg. Observou-se também que os menores resultados foram associados a experimentos com os maiores tempos de secagem (acima de 240 minutos), especificamente os Experimentos 8, 4 e 2, respectivamente. Isso sugere que o ácido ascórbico, por ser um composto extremamente sensível, pode

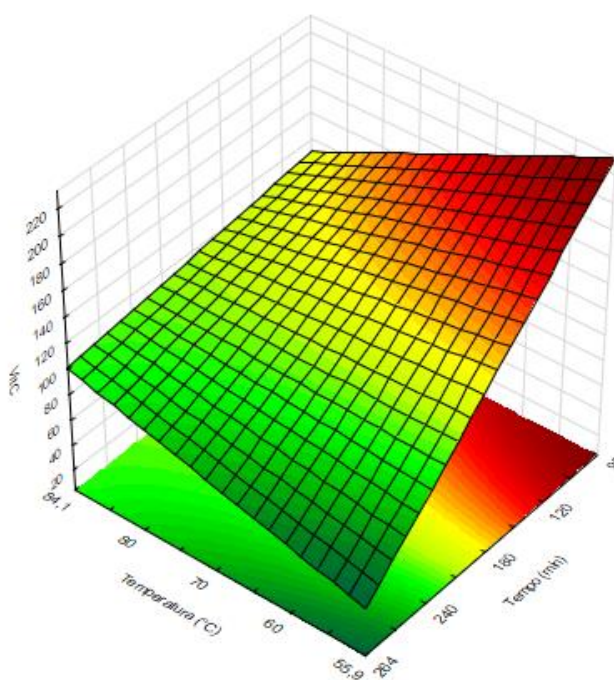
sofrer oxidação quando exposto ao ar por períodos prolongados (ASIIMWE et al., 2022).

Através da regressão de dados, o TAA pôde ser expresso pela equação 27 ($R^2 = 0,9464$). Nesta equação, tanto a temperatura (x_1) quanto o tempo (x_2) mostraram-se estatisticamente significativos na forma linear, assim como a interação entre essas variáveis, com uma alta significância do tempo nos resultados obtidos.

$$\text{TAA} = 126,45 - 5,487 \cdot x_1 - 27,35 \cdot x_2 + 10,09 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Equação 27})$$

Para uma melhor compreensão dos resultados do teor de ácido ascórbico (TAA), foi desenvolvida uma superfície de resposta, apresentada na Figura 47. Esta figura ilustra a interação entre as variáveis, permitindo uma visualização mais clara dos efeitos combinados da temperatura e do tempo sobre o TAA.

Figura 47 – Superfície de Resposta para o Teor de Ácido Ascórbico (TAA) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

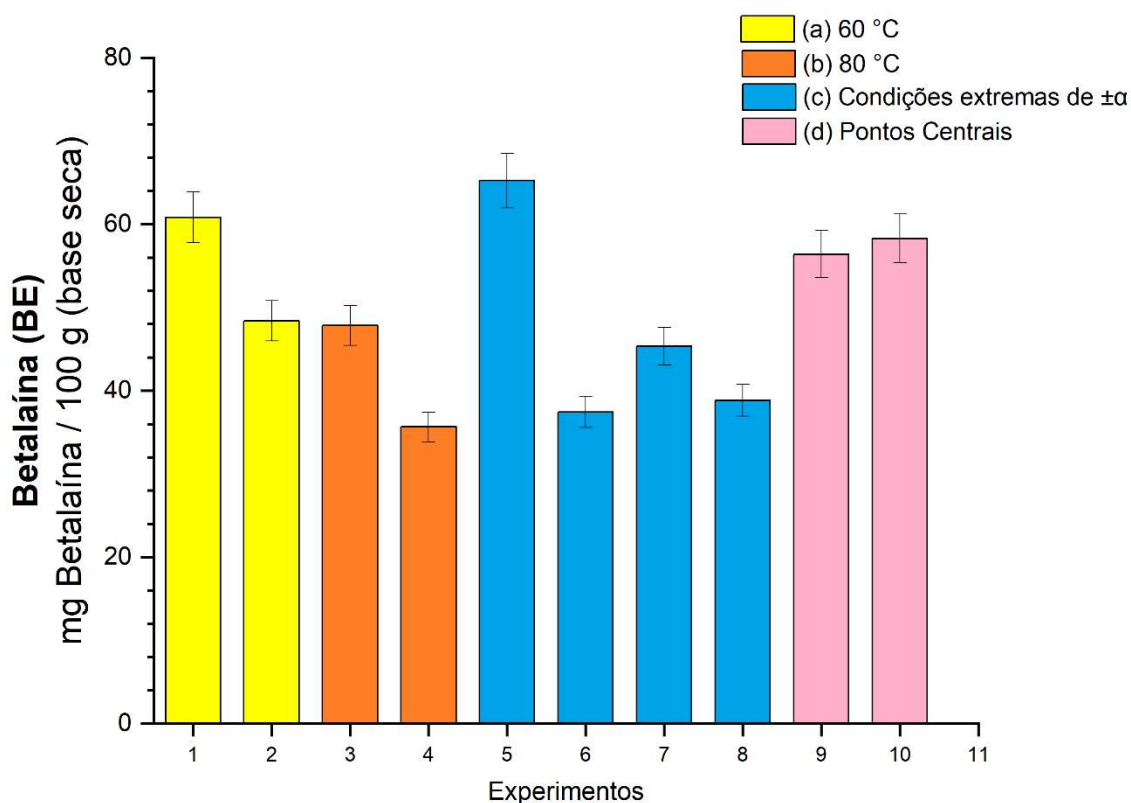
Conforme mostrado na superfície de resposta, os melhores resultados são obtidos com temperaturas abaixo de 70°C e tempos de secagem reduzidos, abaixo de 180 minutos. Resultados semelhantes foram relatados por Asiimwe et al. (2022),

que estudaram o processo de secagem de maracujá em RW. Os autores observaram que o aumento da temperatura e do tempo de secagem resultou em uma redução no teor de ácido ascórbico. Eles verificaram que a degradação do ácido ascórbico foi mais pronunciada em amostras submetidas a altas temperaturas e longos períodos de exposição durante o processo de secagem.

4.3.2.5 Betalaína (BE)

Os resultados das análises do Teor de Betalaína (BE) estão ilustrados na Figura 48. Observou-se que o BE também variou de acordo com as condições aplicadas em cada experimento. Os valores obtidos para o BE oscilaram entre 35,66 a 65,24 mg de betalaína por 100 g de amostra em base seca.

Figura 48 - Teor de Betalaína (BE) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa

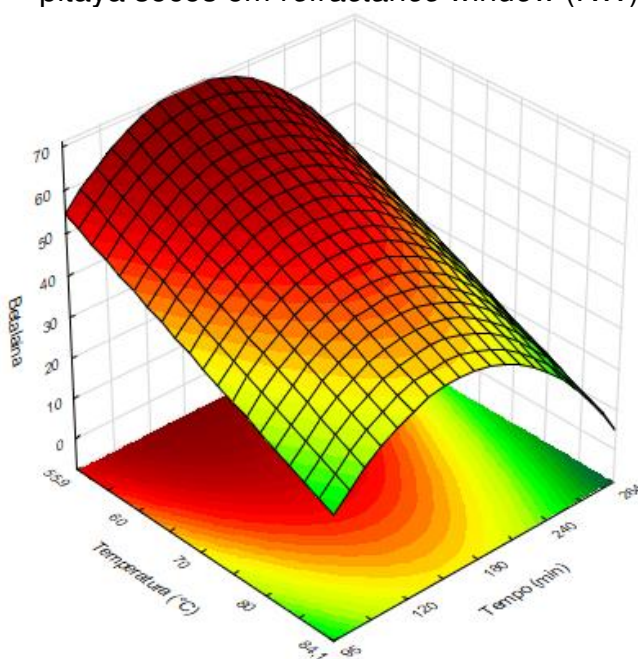
Ao comparar os valores de betalaína *in natura* ($83,45 \pm 4,17$ mg de betalaína por 100 g de amostra em base seca), observou-se uma redução que varia de 22% a 57%, destacando a importância de ajustar os parâmetros de secagem para otimizar a preservação deste composto. O maior teor de betalaína foi encontrado no Experimento 5, com $65,24 \pm 3,26$ mg por 100 g de amostra em base seca, utilizando temperatura (x_1) de $55,9^\circ\text{C}$ e tempo (x_2) de 180 minutos. O segundo maior teor foi observado no Experimento 1, com $60,85 \pm 3,04$ mg por 100 g de amostra em base seca, com temperatura de 60°C e tempo de 120 minutos.

Através da análise de regressão, o teor de betalaína (BE) pôde ser descrito pela Equação 28 ($R^2 = 0,9065$). Nesta equação, a temperatura (x_1) mostrou-se significativa apenas na forma linear, enquanto o tempo (x_2) foi estatisticamente significativo tanto na forma linear quanto na forma quadrática.

$$BE = 54,34 - 8,13 \cdot x_1 - 4,23 \cdot x_2 - 6,13 \cdot x_2^2 \quad (\text{Equação 28})$$

Para tornar os resultados mais compreensíveis, foi desenvolvida uma superfície de resposta, que pode ser vista na Figura 49. Esta representação gráfica mostra como as variáveis independentes (tempo e temperatura) interagem, proporcionando uma visão detalhada do impacto dessas variáveis no teor de betalaína (BE).

Figura 49 – Superfície de Resposta para o Teor de Betalaína (BE) para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme a superfície de resposta, observa-se que a redução da temperatura para abaixo de 70°C e a manutenção do tempo de secagem entre 120 e 180 minutos resultam nos melhores teores de betalaína. Essas condições são indicadas como ótimas para a preservação do composto, conforme evidenciado pela análise.

No estudo de Bassey, Cheng e Sun (2022), foi observado que o aumento da temperatura no secador de infravermelho acima de 60°C resultava em uma redução no teor de betalaína da pitaya (*Hylocereus undatus*). Além disso, a diminuição do tempo de secagem contribuía para a melhor retenção dos compostos, corroborando com os resultados obtidos com a secagem por RW neste estudo. Observações semelhantes foram relatadas em pesquisas anteriores sobre a sensibilidade ao calor dos compostos de betalaína em beterraba e pitaya (ARAÚJO et al., 2020; NISTOR et al., 2017)

4.3.3 Cor

Assim como na secagem em *spray dryer*, além dos teores de compostos bioativos, a cor das amostras pós-secagem em RW também foram avaliadas. Os resultados obtidos nas análises da coloração instrumental dos pós obtidos são apresentados na Tabela 12. Verificou-se que a luminosidade (L^*) variou de 8,11 a 16,81, o parâmetro a^* (vermelho/verde) foi de 5,98 a 14,51 e o parâmetro b^* (amarelo/azul) variou de 1,73 a 4,31.

Tabela 11 – Resultado para as variáveis de cor dos pós de pitaya secos em Refractance Window (RW).

Experimentos	Temperatura (°C)	Tempo (min)	L	a	b	C	h	ΔE
1	60	120	10,89	6,62	1,73	12,48	17,42	13,70
2	60	240	10,78	7,19	3,33	19,94	30,56	13,51
3	80	120	16,81	14,51	4,31	23,41	21,52	5,55
4	80	240	9,85	7,33	2,92	14,81	25,44	14,18
5	55,9	180	10,81	8,71	1,73	15,72	13,85	12,64
6	84,1	180	9,88	5,98	2,94	12,83	29,97	14,91
7	70	95	12,52	10,07	2,86	17,90	20,14	10,52
8	70	264	10,99	8,35	2,55	15,72	21,3	12,67
9	70	180	8,11	6,25	2,59	12,14	22,63	16,22
10	70	180	11,74	6,45	2,62	12,79	26,69	13,14

Fonte: Dados da pesquisa.

De modo geral, os pós apresentam coloração com tom vermelho escuro, totalmente diferente dos pós produzidos por *spray drying*, podendo justificar que a não utilização de maltodextrina nessa metodologia originou parâmetros de L^* menores, reduzindo a claridade dos pós e resultados maiores de a^* , deixando as amostras com coloração avermelhada. Além disso, para melhor entendimento dos resultados de cor e a interação dos parâmetros a^* , b^* e L^* , foi realizado a análise estatística dos resultados de C , h e ΔE , verificando a interação das variáveis do PCC nos resultados de coloração das amostras.

Ao avaliar os resultados do parâmetro de cor C , podemos verificar um aumento da saturação da amostra *in natura* (19,26) em comparação aos pós, variando entre 12,14 e 23,41, ou seja, após a secagem percebe-se que as amostras de pitaya variaram de vermelho-roxo para vermelho intenso, conforme apresentado na Figura 50.

Figura 50 - Diferença de cor das amostras de pitaya antes e após a secagem em *refractance window* (RW).



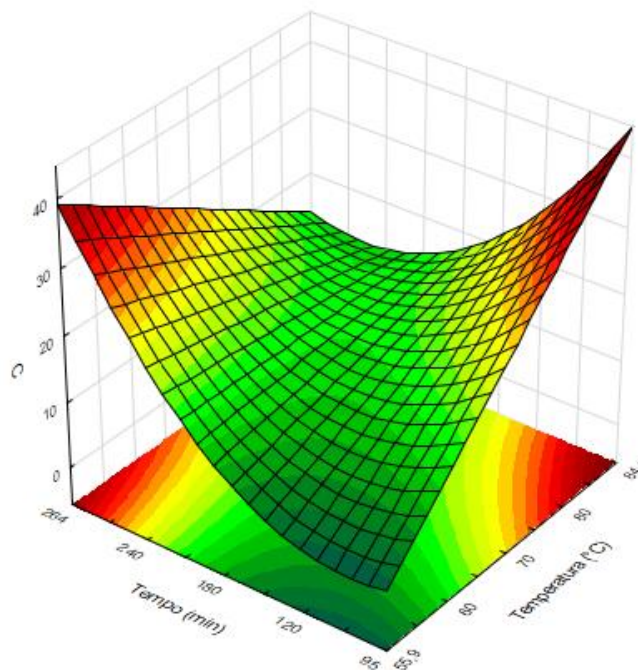
(a) amostra *in natura*, (b) amostra após secagem em RW. Fonte: Dados da pesquisa.

Através da análise de regressão dos resultados obtidos, foi desenvolvida a Equação 29 ($R^2 = 0,9952$). A partir dessa equação, verificou-se que a temperatura (x_1) demonstrou significância estatística apenas na forma linear, enquanto o tempo (x_2) apresentou significância tanto na forma linear quanto na forma quadrática. Além disso, a equação permite a análise da interação entre essas variáveis.

$$C = 13,40 + 2,89 \cdot x_1 - 0,64 \cdot x_2 + 4,29 \cdot x_2^2 - 5,03 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Equação 29})$$

Para uma melhor compreensão dos resultados, foi elaborada uma superfície de resposta, apresentada na Figura 51. Esta figura ilustra como as variáveis analisadas interagem e afetam os resultados de cor.

Figura 51 – Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor C para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme indicado pela superfície de resposta, o aumento da temperatura (x_1) acima de 70°C e do tempo (x_2) além de 180 minutos resulta em pós com tons vermelhos mais saturados. Por outro lado, a redução desses parâmetros leva a amostras com colorações mais claras e menos saturadas.

Para o parâmetro H° , embora a coloração varie em diferentes tons de vermelho escuro, observa-se que os resultados permanecem dentro do intervalo de 0 a 360° (vermelho), tanto na amostra in natura (0,14) quanto nos pós secos, com valores variando entre 13,85 e 30,56.

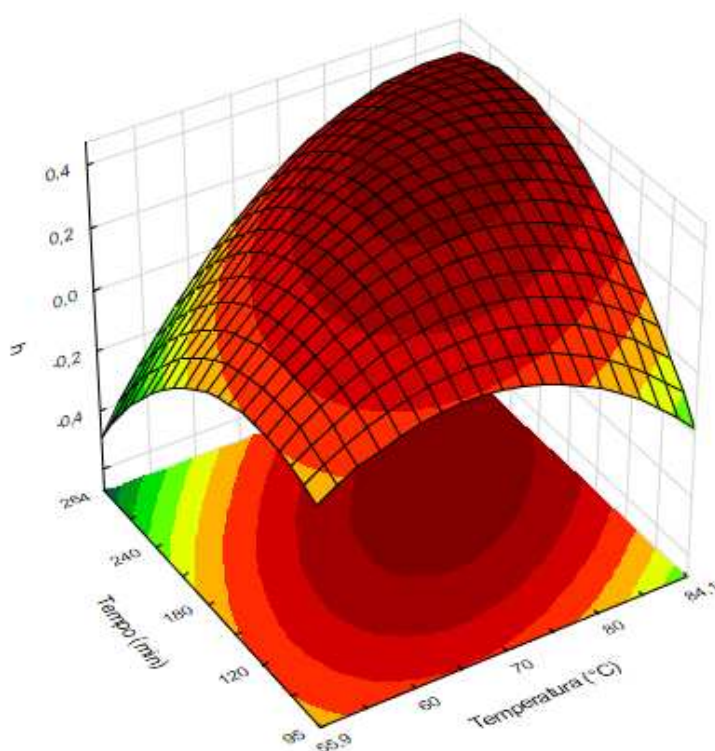
Através da análise de regressão dos resultados obtidos, foi desenvolvida a Equação 30 ($R^2 = 0,9182$), que permite verificar as interações entre as variáveis na tonalidade das amostras. A variável temperatura (x_1) apresentou significância tanto na

forma linear quanto na quadrática, enquanto a variável tempo (x_2) mostrou significância apenas na forma quadrática. Além disso, a interação entre as variáveis foi estatisticamente significativa.

$$H^{\circ} = 0,43 + 0,08.x_1 - 0,06.x_1^2 - 0,06.x_2^2 + 0,07.x_1.x_2 \quad (\text{Equação 30})$$

Para uma melhor compreensão dos resultados, foi desenvolvida uma superfície de resposta, apresentada na Figura 52.

Figura 52 – Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor H° para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: dados da pesquisa.

Ao avaliar a superfície de resposta, observa-se que os menores valores de H° são alcançados ao reduzir a temperatura para abaixo de 70°C e o tempo de secagem para menos de 120 minutos. Essas condições resultam em pós com tonalidades mais vermelhas e são mais favoráveis para minimizar a degradação das betalaínas. Resultados semelhantes foram encontrados por García-Lucas et al. (2016).

O parâmetro de cor ΔE variou entre 5,55 e 16,22 identificando que as amostras apresentam cor visivelmente diferente da amostra *in natura*, mas entre si apresentam

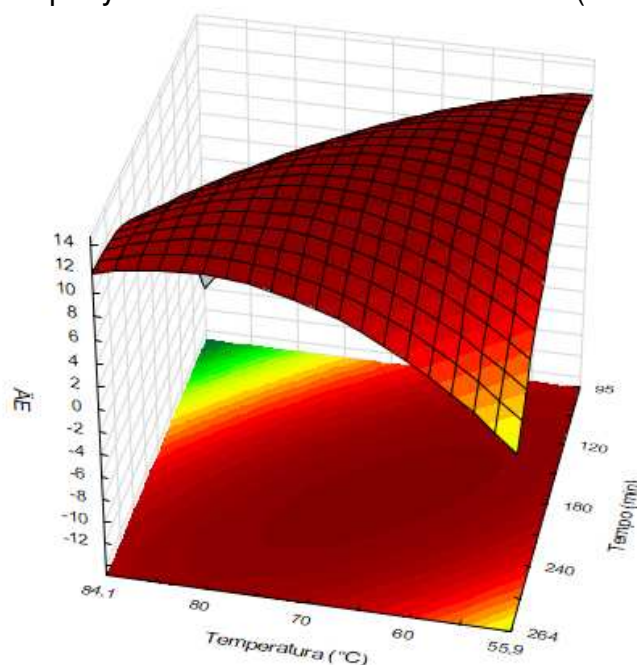
colocaram semelhante. Abdul (2020), ao secar frutos de pitayas vermelhas (*Hylocereus polyrhizus*) em diferentes métodos de secagem verificou que a secagem por liofilização (21,82) e RW (28,2), apresentavam menor alterações na diferença total de cor das amostras secas em comparação com amostras *in natura* e que a secagem por ar quente apresentava o pior resultado (33,76) para este parâmetro de cor.

Através da regressão dos resultados obtidos, obteve-se a Equação 31 ($R^2=0,9700$), onde as variáveis temperatura (x_1) e tempo (x_2), apresentaram estatisticamente significativas tanto na forma linear quanto na forma quadrática, assim como, a interação das variáveis.

$$\Delta E = 14,47 - 1,02 \cdot x_1 - 1,84 \cdot x_1^2 + 0,94 \cdot x_2 - 1,42 \cdot x_2^2 + 2,43 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Equação 31})$$

Para uma melhor compreensão dos resultados, foi desenvolvida uma superfície de resposta, apresentada na Figura 53. Conforme mostrado nesta superfície de resposta, para otimizar a retenção da cor das amostras, é recomendável utilizar temperaturas (x_1) mais baixas e menores tempos (x_2) durante a secagem por RW.

Figura 53 - Superfície de Resposta para o Parâmetro de Cor ΔE para os pós de pitaya secos em *refractance window* (RW).



Fonte: dados da pesquisa.

4.4 Análise Comparativa dos Compostos Bioativos

Como cada método de secagem possuiu suas particularidades, a Tabela 12 apresenta os melhores resultados obtidos para cada composto bioativo, separados por método de secagem. Para os resultados obtidos com o método de *refractance window* (RW), foram considerados apenas os testes 2, 4, 6 e 8, que apresentaram um teor de atividade de água (a_w) adequado conforme a literatura. Além disso, para facilitar a visualização, o número do experimento correspondente a cada resultado será indicado entre parênteses.

Ao comparar os métodos de secagem, observa-se que a secagem de pitaya por RW obteve a maioria dos melhores resultados para os compostos bioativos. Destacam-se os compostos fenólicos (TPC), cujo teor foi seis vezes superior ao obtido pela secagem por *spray dryer*, e os flavonoides (TFC), com um teor cinco vezes superior. Esses resultados indicam que o método RW foi altamente eficiente na secagem, preservando significativamente os compostos sensíveis ao calor e garantindo a integridade dos bioativos e que o fato do mesmo não utilizar agente carreador permite produtos finais com maior quantidade de compostos bioativos.

Tabela 12 – Comparativo dos Compostos Bioativos nos Métodos de Secagem dos pós de pitaya secos em Spray Dryer (SD) e Refractance Window (RW).

Bioativo	<i>In natura</i>	SD	RW
TPC	1071,02 ± 32,54	100,42 ± 1,57 (21)	635,56 ± 19,78 (2)
TFC	17,09 ± 1,63	3,45 ± 0,07 (9)	17,85 ± 1,25 (6)
ATT	2279,13 ± 198,19	2851,99 ± 285,20 (1)	1569,96 ± 116,29 (2)
TAA	321,19 ± 33,63	144,56 ± 8,17 (27)	120,11 ± 8,46 (6)
BE	83,45 ± 4,17	52,79 ± 2,64 (21)	48,40 ± 2,42 (2)

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao comparar os teores de TAA, observou-se que a secagem por *spray dryer*, devido ao acréscimo de maltodextrina, resultou em uma elevação na acidez do produto. Em geral, para o desenvolvimento de produtos alimentícios, uma menor acidez é desejável, pois tende a tornar o alimento mais palatável e aumentar a aceitação pelos consumidores (SILVA, 2015). No entanto, a secagem por *spray dryer* apresentou uma maior retenção de TAA e BE em comparação ao método RW. Isso pode ser atribuído ao papel da maltodextrina na encapsulação desses compostos,

reduzindo sua degradação durante o processo de secagem (SHOFINITA et al., 2021; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009). Por outro lado, o teor de BE foi semelhante nos dois métodos de secagem.

5 CONCLUSÃO

A comparação entre métodos de secagem revelou que a secagem por *spray dryer* (SD) requer a adição de maltodextrina como agente carreador para alcançar um rendimento satisfatório. Em contraste, o método de *refractance window* (RW) não necessitou de um agente carreador, contudo foi necessário o uso de um desmoldante culinário para facilitar a remoção da amostra da folha de papel alumínio. Ambos os métodos foram eficazes para produzir um material com baixo teor de umidade e atividade de água adequada para armazenamento.

Os resultados mostraram que a pitaya é uma excelente fonte de compostos bioativos, com altas concentrações de fenólicos, flavonoides, acidez e vitamina C e betalaína, tanto na fruta fresca quanto nos pós após secagem. A secagem por RW demonstrou superioridade para a maioria dos compostos bioativos. Em particular, a concentração de compostos fenólicos totais (TPC) foi seis vezes maior e a de flavonoides totais (TFC) cinco vezes maior em comparação com a secagem por SD. Esse método destacou-se por sua alta eficiência na preservação dos compostos sensíveis ao calor, com um tempo de secagem reduzido, em média inferior a 120 minutos, e a uma temperatura de 70°C.

Por outro lado, a secagem por SD resultou em um aumento na acidez total (ATT) devido à adição de maltodextrina. Uma menor acidez é geralmente preferida para melhorar a palatabilidade e aceitação dos produtos alimentícios. Apesar disso, a secagem por SD apresentou maior retenção de ácido ascórbico (TAA) e betalaínas (BE), possivelmente devido à maltodextrina, que protegeu esses compostos da degradação durante a secagem. Notavelmente, embora o teor de BE tenha sido superior no SD, os resultados foram similares entre os dois métodos de secagem em estudo.

Para a preservação da cor, foi observado que temperaturas mais baixas e menor tempo de secagem resultaram na melhor retenção da cor da amostra. A adição de maltodextrina na secagem por SD resultou em pós com um maior valor L^* (indicativo de clareza), produzindo uma tonalidade rosa claro. Em contraste, os pós obtidos por RW, que não utilizaram maltodextrina, mantiveram um tom vermelho intenso, apresentando uma cor mais escura com o aumento da temperatura.

Dada a alta perecibilidade e sazonalidade da pitaya, as metodologias de secagem analisadas oferecem boas alternativas para sua conservação e comercialização. A utilização integral do fruto, incluindo a casca frequentemente descartada, não só ajuda a reduzir resíduos, mas também promove a sustentabilidade nos processos industriais.

Portanto, tanto a secagem por SD quanto a secagem por RW são métodos recomendados para a preservação da qualidade bioativa da pitaya. Ambas as técnicas demonstraram eficácia na retenção dos compostos bioativos da fruta. A secagem por SD destacou-se pela maior retenção de acidez total, ácido ascórbico e betalaína, enquanto a secagem por RW apresentou superioridade na preservação de compostos fenólicos e flavonoides, além de oferecer vantagens econômicas e operacionais. Dessa forma, a escolha entre os métodos pode ser influenciada pelas necessidades específicas do processo industrial e pelas prioridades em termos de custo e eficiência.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização de secagem com pitaya em diferentes metodologias;
- Realização de secagem em liofilizador para comparar a retenção dos compostos bioativos;
- Realização de cinética de secagem nas metodologias utilizadas;
- Avaliação do *shelf-life* dos pós;
- Avaliação da estabilidade dos nutrientes e aplicação em produtos, como também realização de análise sensorial do pó obtido na melhor técnica de secagem
- Avaliação da estabilidade da cor após adição em produtos alimentícios como corante natural.

7 REFERÊNCIAS

- ABONYI, B. I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C. G.; CHEW, B. P.; MATTINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window System. *Journal of Food Science*, v. 67, n. 2, p. 1052-1056, 2001.
- ABREU, W.C.; LOPES, C. O.; PINTO, K. M.; OLIVEIRA, L. A.; CARVALHO, G. B. M; BARCELO, M. F. P. Physicochemical characteristics and total antioxidant activity of red and white pitaya. *Rev Inst Adolfo Lutz* 71 (4), 656-61, 2012.
- AGHBASHLO, M.; MOBLI, H.; RAFIEE, S.; MADADLOU, A. Energy and exergy analyses of the spray drying process of fish oil microencapsulation. *Biosystems Engineering*, v. 111, p. 229-241, 2012. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2011.12.001
- AMIRI-RIGI, A.; MOHAMMADIFAR, M. A.; EMAM-DJOMEH, A.; MOHAMMADI, M. Response surface optimisation of spray dryer operational parameters for low-phenylalanine skim milk powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 1830–1839, 2011.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 16a ed., Vol. 1, Gaithersburg, MD, 1995.
- ARAÚJO, A. A. de S; MERCURI, L. P; SEIXAS, S. R. S; STORPIRTIS, S; MATOS, J. R. Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* vol. 42, n. 2, abr./jun., 2006.
- ASIIMWE, A; KIGOZI, J.B; BAIDHE, E; MUYONGA, J.H. Optimization of refractance window drying conditions for passion fruit puree. *LWT - Food Science and Technology*, v.154, jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112742>
- ASIOLI, D; ASCHEMANN-WITZEL, J; CAPUTO, V; VECCHIO, R; ANNUNZIATA, A; NÆS, T; VARELA, P. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, v 99, 58–71, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022>
- AUGUSTA, I.M. Extração e secagem da casca de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L) Merryl et Perry) para obtenção de corante. 2011, 134 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience*, v. 14, p. 21–27, 2016.
DOI:10.1016/j.fbio.2015.11.002

BERNAERT, N; DROOGENBROECK, B.V; PAMEL, E.V; RUYCK, H. Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing. *Trends in Food Science & Technology*, v. 84, p. 22–24, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.029>

Bovi, D.C.M.L.; Correia, A.F.K; Gutierrez, E.M.R; Bovi, V.M.L; Harder, M.N.C. Determinação dos teores de betalaína e composição centesimal de beterraba in natura e tipo chips. *Brazilian Journal of Food Research, Campo Mourão*, v. 10 n. 2, p. 80-92, abr./jun. 2019. <https://10.3895/rebrapa.v10n2.9521>

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.

CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray-Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 99, n. 2, p. 575-586, 2010.
DOI:10.1002/jps.21886

CALÍN-SÁNCHEZ, A; LIPAN, L; CANO-LAMADRID, M; KHARAGHANI, A; MASZTALERZ, K; CARBONELL-BARRACHINA A.A; FIGIEL, A. Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods*, v. 9, 2020.
<https://doi.org/10.3390/foods9091261>

CAPATO, O. M., CÔRREA, K. S., OLIVEIRA, E. A., MALDONADO, R. R. Aplicação de polpas de pitaia branca e vermelha para obtenção de bebida alcoólica fermentada. *Scientia Vitae*, v. 11, p. 11 – 21, 2021.

CARR, A. C., MAGGINI, S. Vitamin C and Immune Function. *Nutrients*, v. 9, n. 11, 2017. <https://doi.org/10.3390/nu9111211>

CASTOLDI, M; ZOTARELLI, M; DURIGON, A; CARCIOFI, B; LAURINDO, J. Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. *Drying Technology*, Vol. 33, 2015. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.989327>

CASTRO, J. C.; MARDIGAN, L.P.; WATANABE, R.; FILHO ABREU, B.A. Conservação de frutos de pitaia (*Hylocereus undatus* Haw.) com utilização de

revestimentos comestíveis e refrigeração. *Brazilian Journal of Food Research*, v. 8, n. 4, p. 89-103, 2017. DOI: 10.3895/rebrapa.v8n4.4544

CASTRO, T.A; LEITE, B.S; ASSUNÇÃO, L.S; FREITAS, T.J; COLAUTO, N.B; LINDE, G.A; OTERO, D.M; MACHADO, B.A.S; RIBEIRO, C.D.F. Red tomato products as an alternative to reduce synthetic dyes in the food industry: A review. *Molecules*, v. 26, p.1–24, 2021. <https://10.3390/molecules26237125>

CAVALCANTE, Í. H. L. Pitaia: propagação e crescimento de plantas. 2008.
CHAVAN, A.; VITANKAR, V.; THORAT, B.. CFD modeling and experimental study of solar conduction dryer. *Drying Technology*, v.39, n.8, p. 1087-1100, 2021. DOI:10.1080/07373937.2020.1846051

CHEN, F., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., GUO, C., YU, D. Comparative analysis of composition and hygroscopic properties of infrared freeze-dried blueberries, cranberries and raspberries. *Drying Technology*, 1-16, 2021. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1913418>

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Manufacturing better quality food powders from spray drying and subsequent treatments. *Drying Technology*, 26, 1313–1318. 2008.

CHEW, Y. M.; HUNG, C.-H.; KING, V. A.-E. Accelerated storage test of betalains extracted from the peel of pitaia (*Hylocereus cacti*) fruit. *Journal of food science and technology*, v. 56, n. 3, p. 1595-1600, 2019. DOI: 10.1007/s13197-019-03673-1

CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. Pós-Colheita de Frutos e Hortaliças – fisiologia e manuseio. 2 ed. Lavras/MG: Editora UFLA, 2005.

CORDEIRO, M.H.M; SILVA, J.M; MIZOBUTSI, G.P; MIZOBUTSI, E.H; MOTA, W.F. Caracterização física, química e nutricional da pitaia-rosa de polpa vermelha. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal -SP, 37(1), 020-026, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-046/14>

COSTA, J. P.; ROCHA, É. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Study of the physicochemical characteristics of soursop powder obtained by spray-drying. *Food Science and Technology*, v. 34, n. 4, p. 663-666, 2014. <https://doi.org/10.1590/1678457X.6380>

COUTINHO, A. M. Caracterização físico-química e avaliação da atividade antioxidante de polpas de pitaias (*Hylocereus undatus* e *Hylocereus costaricensis*) in natura e congeladas. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2020. 63p.

CUNHA, L. C. M., MONTEIRO, M. L. G., DA COSTA, B. R. C., GUEDES, J. M., RODRIGUES, B. L., FORTUNATO, A. R., CONTE-JUNIOR, C. A. Effect of microencapsulated extract of pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel on oxidative quality parameters of refrigerated ground pork patties subjected to UV-C radiation. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 45, n. 3, p. e15272, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15272>

DONADIO, L. C. Pitaya. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 1, 2009. doi:10.1590/S0100-29452009000300001

DUARTE, M. H., QUEIROZ, E. D. R., ROCHA, D. A., COSTA, A. C., ABREU, C. M. P. D. Qualidade de pitáia (*Hylocereus undatus*) submetida à adubação orgânica e armazenada sob refrigeração. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 20, 2017. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.11515>

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / TEIXEIRA, P. C; et al., editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

ENCISO, T.O; ZAZUETA, M.E.I; RANGEL, M.D.M; TORRES, J.B.V; ROMERO, M.V; VERDUGO, S.H. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexico*, Chapingo, v. 34, n. 1, p. 63-72, 2011. DOI:10.35196/rfm.2011.1.63

ESGOTE JUNIOR, J.D. (2017). Composição química e atividade antioxidante de diferentes espécies de pitaias. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Processos Químicos e Biotecnológicos), Toledo/PR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 64p.

FERRERES, F., GROSSO, C., GIL I., VALENTÃO, P., MOTA, A.T.; ANDRADE, P.B Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit by-products using microwave-assisted extraction. *Food chemistry*, n.230, 463-474, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.03.061

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

FRÓES JÚNIOR, P. S. M., CARDOSO, N. R. P., REBELLO, F. K., HOMMA, A. K. O., Lopes, M. L. B. (2019). Aspectos da produção, comercialização e desenvolvimento da cultura da pitaya no estado do Pará. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.16 n.29; p. 264, 2019. DOI:10.18677/EnciBio_2019A19

GAO, Y; KAN, C; WAN, C; CHEN, C; CHEN, M; CHEN, J. Effects of hot air treatment and chitosan coating on citric acid metabolism in ponkan fruit during cold storage. PLOS ONE, v. 13, n. 11, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206585>

GARCÍA-LUCAS, K. A; MENDEZ, L; RAMÍREZ, J; CAMPANELLA, O; PATEL, B; BARRIADA-BERNAL, L. Physical properties of spray dried *Stenocereus griseus* pitaya juice poder. Journal of Food Process Engineering. v. 40, 2016. DOI:10.1111/jfpe.12470

GAUTAM, A; ABDUL, S. Comparative study of different drying techniques of dragon fruit peel. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, v. 9, n.4, p. 280-283, 2020.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G.A.; CHOO, W.S. Betalains: natural plant pigments with potential application in functional foods. LWT - Food Science and Technology, v. 64, n. 2, p. 645–649, 2015. 10.1016/j.lwt.2015.06.052

GENGATHARAN, A; DYKES, G; CHOO, W.S. Stability of betacyanin from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and its potential application as a natural colourant in milk. International Journal of Food Science and Technology, v 51, p.427–434, 2016. DOI:10.1111/ijfs.12999

Gharsalaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. Food Res Int, 40:1107-1121, 2007.

GIADA, M.R.L; MANCINI, J.F. Importância dos compostos fenólicos da dieta na promoção da saúde humana. Publicatio UEPG: Ciências Biológicas e da Saúde, Ponta Grossa, v. 12, n. 4, p. 7-15, 2006. DOI: <https://doi.org/10.5212/publicatio%20uepg.v12i4.439>

GONÇALVES, L. C. P.; MARCATO, A. C.; RODRIGUES, A.C. B.; PAGANO, A.P. E.; DE FREITAS, B.C.; MACHADO, C. de O.; NAKASHIMA, K. K.; ESTEVES, L. C.; LOPES, N. B.; BASTOS, E. L. Betalains: from the colors of beetroots to the fluorescence of flowers. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 1, p. 292-309, 2015. DOI: 10.5935/1984-6835.20150015

HAMINIUK, C.W.I; MACIEL, G.M; PLATA-OVIEDO, M.S.V; PERALTA, R.M. Phenolic compounds in fruits – an overview. International Journal of Food Science and Technology, v. 47, p. 2023–2044, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x>

HUA, Q. Z., CHEN, C. B., ZURB, N. T., WANG, H. C., WU, J. Y., CHEN, J. Y., ZHANG, Z., ZHAO, J., HU, G., QIN, Y. H. Metabolomic characterization of pitaya fruit

from three red-skinned cultivars with different pulp colors. *Plant Physiology and Biochemistry*, n.126, 117–125, 2018. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.02.027

HUANG, Y; Brennan, M.A; Kasapis, S; Richardson, S.J; Brennan, C.S. Maturation Process, Nutritional Profile, Bioactivities and Utilisation in Food Products of Red Pitaya Fruits: A Review. *Foods*, v. 10. P. 1 – 21, 2021. DOI: 10.3390/foods10112862

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., Unit operations in food engineering. Food preservation technology. series CRC Press LLC, Florida. 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pitaya/br>>. Acesso em: 13 ago. 2022.

JAMILAH, B., SHU, C.E., KHARIDAH, M., DZULKILY, M.A., NORANIZAN, A. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *International Food Research Journal*, 18 (1), 279-285, 2011.

JAYASREE, P; TANUJA, P. Health promoting properties of exotic super fruit- Dragon fruit. *Tumbe Group of International Journal*, v. 3, p. 89 – 92, 2020.

JOSHI, M., PRABHAKAR, B. Phytoconstituents and pharmaco-therapeutic benefits of pitaya: A wonder fruit. *Journal of Food Biochem*, v. 44, p. 1 – 15, 2020. DOI: 10.1111/jfbc.13260

JUNQUEIRA, K.P; FALEIRO, F.G; JUNQUEIRA, N.T.V; BELLON, G; LIMA, C.A; SOUZA, L.S. Diversidade genética de pitayas nativas do cerrado com base em marcadores RAPD. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 3, p. 819-824, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000104>

KOPUSTINSKIENE, D.M; JAKSTAS, V; SAVICKAS, A; BERNATONIENE, J. Flavonoids as Anticancer Agents. *Nutrients*, v. 12, n. 457, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12020457>

LE BELLEC, F., VAILLANT, F., IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* sp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, v. 61, p. 237 – 250, 2006. DOI:10.1051/fruits:2006021

LE T.L., HUYNH, N; QUINTELA-ALONSO, P. Dragon fruit: A review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. *Czech Journal of Food Sciences*, v. 39, n. 2, p. 71-94, 2021. DOI:10.17221/139/2020-CJFS

LEE, K.H; WU, T.Y; SLOW, L.F. Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: physicochemical and antioxidant properties of the powder. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 48, p. 2391–2399, 2013. DOI:10.1111/ijfs.12230

Leiton-Ramírez, Y.M.; Ayala-Aponte, A.; Ochoa-Martínez, C.I. Physicochemical Properties of Guava Snacks as Affected by Drying Technology. *Processes*, 8, 106, 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8010106>

LI, G; LIU, Y; LIN, L; LI, J. Physicochemical and Antioxidant Activities of Spray-dried Pitaya Fruit Powder. *IOP IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 108, 2018. DOI:10.1088/1755-1315/108/4/042083

LIM, Y.Y.; LIM, T.T.; TEE, J.J. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*, Oxford, v. 103, n.3, p.1003- 1008, 2007. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.08.038

LIMA, C.A; FALEIRO, F.G; JUNQUEIRA, N.T.V; COHEN, K.O; GUIMARÃES, T.G. Características físico-químicas, polifenóis e flavonoides amarelos em frutos de espécies de pitaias comerciais e nativas do cerrado. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 565-570, Jun 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200027>

LIMA, C.A; FALEIRO, F.G; JUNQUEIRA, N.T.V; COHEN, K.O; GUIMARÃES, T.G. Características físico-químicas, polifenóis e flavonoides amarelos em frutos de espécies de pitaias comerciais e nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 565-570, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200027>

LIU, R; GAO, H; CHEN, H; FANG, X; WU, W. Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Food Chemistry*, 283, 588–595, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.066

LIZIERO, D. F. P., KARAHASANOVIĆ, A., SPAGNOL, C. M., ISAAC, V. L. B. Metodologia simplificada para doseamento de ácido ascórbico em extratos vegetais. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, v.20, n.2, p.80-87, 2017.

MAGALHÃES, N; CAVALCANTE, A.L; ANDRADE, L.S; WANDERLEY, C.R.P; MARINHO, G; PESSOA, K.A.R. Produção de ácido cítrico por *Aspergillus niger* AN 400 a partir de resíduo agroindustrial. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, p. 101-107, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019167153>

MALACRIDA, C. R.; MOTTA, S. Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 25, n. 4, p. 659-664, 2005.

MANGELA, T.; MARTINS, A. Benefícios da vitamina c na pele. *Enciclopédia Biosfera*, v. 18, n. 35, 2021.

MARTINELLI, M.; CASTRICINI, A.; MAIA, V. M.; DE ALBURQUERQUE, C. M. Post-harvest physiology of pitaya at different ripening stages. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 42, n. 3, p. 1033-1048, 2021. DOI:10.5433/1679-0359.2021v42n3p1033

MASTERS, K. *Spray-Drying Handbook*. 5th ed. New York, USA: Wiley, 1991.

MELLO, F.R; BERNARDO, B; DIAS, C.O; GONZAGA, L; AMANTE, E.R; FETT, R; CANDIDO, L.M.B. Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 45, n. 2, p.323-328, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140548>

MENESES, Y; CANNON, J; FLORES, R.A. Keys to understanding and addressing consumer perceptions and concerns about processed foods. *Cereal Foods World*, v. 59, p.141–146, 2014. <http://dx.doi.org/10.1094/CFW-59-3-0141>

MOREIRA, G; AZEREDO, H; MEDEIROS, M; BRITO, E; SOUZA, A. Ascorbic acid and anthocyanin retention during spray drying of acerola pomace extract. *Journal of food processing and preservation*, Wiley Online Library, v. 34, n. 5, p. 915–925, 2010. DOI:10.1111/j.1745-4549.2009.00409.x

NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleifera. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 7, p. 686–692, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p686-692>

SILVA, N.C; Andrade, G.B; Barrozo, M.A.S. Spray-Dried Jaboticaba Powder as Food Resource. *Resources*, 13, 102. 2024. <https://doi.org/10.3390/resources13080102>

NUNES, E.N; SOUSA, A.S.B; LUCENA, C.M; SILVA, S.M; LUCENA, R.F.P; ALVES, C.A.B; ALVES, R.E. Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. *Gaia Scientia*, v 8, p. 90-98, 2014.

OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; FERNÁNDEZ-LOPEZ, J. A. Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90, 471–479, 2009.

OLIVEIRA, M.I.S; TONON, R.V; NOGUEIRA, R.I; CABRAL, L.M.C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. *Braz. J. Food Technol.* v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000037>

ORDÓÑEZ, J. A. Tecnologia de Alimentos – Componentes dos Alimentos e Processos, 1 ed., Editora rtmed , v. 1, Porto Alegre, 2005.

PARMAR, A.R; DHAMSANIYA, N.K. Refractance window drying: A novel drying technique for quality retention. The Pharma Innovation Journal, 2023.

PASTORE, N. S., HASAN, S. M., ZEMPULSKI, D. A. Produção de ácido cítrico por *Aspergillus niger*: avaliação de diferentes fontes de nitrogênio e de concentração de sacarose. Engevista, v. 13, n. 3, 2011. DOI: <https://doi.org/10.22409/engevista.v13i3.306>

POOLSUP, N; SUKSOMBOON, N; PAW, N.J. Effect of dragon fruit on glycemic control in prediabetes and type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Plos ONE, 12(9), 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0184577

PUHL, G.M.D; SILVA, E; FELLER, A.G; ZIMMERMANN, C.E. A importância do ácido ascórbico no combate ao envelhecimento. Revista saúde integrada, v. 11, n. 22, p. 47-58, 2018.

QUINTÃO, A. L., DE FIGUEIREDO, E. A., ANDRADE, N. A., NASCIMENTO, R. A., DE OLIVEIRA, T. P., DE CASTRO, E. J. F. Avaliação do teor de ácido ascórbico presentes nos sucos de caju natural, na polpa industrializada e na polpa desidratada. Cadernos Acadêmicos, v.2, n.1, 2016.

RAGHAVI, L. M.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Refractance window drying of foods: A review. Journal of Food Engineering, v. 222, p. 267-275, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.032>

RAI, A.K., NIVED, C., SAKHARE, P.Z., SURESH, P.V., BHASKAR, N. & MAHENDRAKAR, N.S. Optimization of acid hydrolysis conditions of delimed tannery fleshings by response surface method. Journal of Scientific & Industrial Research, 68, 967–974, 2009.

ROCHA, L.J.F.G; GODOY, R.L.O; CUNHA, C.P. Estudo de alguns compostos bioativos das pitayas de polpas branca e vermelha (*Cereus undatus*, Sinonímia: *Hylocereus guatemalensis*, *H.undatus*). Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 66217-66223, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-160>

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Betalains. Natural food pigments and colorants. Food Science, p.1-6, 2018.

ROMANO, R.C.O; BERNARDO, H.M; DANTAS, S.R.A; CINCOTTO, M.A; PILEGGI, R.G. Influência da utilização de diferentes teores de lama vermelha nas

propriedades de ladrilhos hidráulicos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 647-659, jul./set. 2020. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300450>

RORIZ, C. L., BARROS, L., PRIETO, M. A., MORALES, P., FERREIRA, I. C. Floral parts of *Gomphrena globosa* L. as a novel alternative source of betacyanins: Optimization of the extraction using response surface methodology. *Food chemistry*, n.229, p.223-234, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.02.073

RURI, A S, NORZIAH, M H, ISWANDI, U., NAJLA, L Spray Drying of Enzymatic Clarification Red Purple Pitaya (*Hylocereus Polyrhizus*) Pigment Extract *IJSR*, v. 6 p.386–391, 2017. DOI: 10.21275/ART20173356

RUTHS, R, BONOME, L; TOMAZI, Y; SIQUEIRA, D; MOURA, G; LIMA, C. Influência da temperatura e luminosidade na germinação de sementes das espécies: *Selenicereus setaceus*, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizu*. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 18, n. 2, p. 194-201, 2019. DOI:10.5965/223811711812019194

RUTHS, R., DA SILVA B., L. T., TOMAZI, Y., SIQUEIRA, D. J., MOURA, G. S., LIMA, C. S. M. Produção de mudas de pitaya com diferentes segmentos de cladódio e reguladores de crescimento vegetal. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, 2021. DOI:10.33448/rsd-v10i3.13230

SADEGHI, E.; MOVAGHARNEJAD, K.; HAGHIGHI A., Mathematical modeling of infrared radiation thin-layer drying of pumpkin samples under natural and forced convection. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 43, n. 12, 2019. DOI:10.1111/jfpp.14229

SADOWSKA-BARTOSZ, I.; BARTOSZ, G. Biological properties and applications of betalains. *Molecules*, v. 26, p.1–36, 2021. doi: 10.3390/molecules26092520

SANTOS, G.B.M; DIONÍSIO, A.P; MAGALHÃES, H.C.R; ABREU, F.A.P; LIRA, S.M; LIMA, A.C.V; SILVA, G.S.D; GUEDES, J.A.C; A, I.M.S; ARTUR, A.G; PONTES, D.F; ZOCCOLO, G.J. Effects of processing on the chemical, physicochemical, enzymatic, and volatile metabolic composition of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*(F.A.C. Weber) Britton & Rose). *Food Research International*, 127, 2020. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108710

SANTOS, K.L.D; PANIZZON, J; CENCI, M.M; GRABOWSKI, G; JAHNO, V.D. Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 23, 2020. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13419>

SANTOS, M.R.P.V; CASTRO, J; MARDIGAN, L; WATANABE, R; CLEMENTE, E. Características físico-químicas, compostos bioativos, atividade antioxidante e enzimática de frutos da pitaia (*Hylocereus undatus*). R. bras. Tecnol. Agroindustr., Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 2081-2095, jul./dez. 2016. DOI:10.3895/rbta.v10n2.1861

SANTOS, V.C.S; SOUZA, R.L; FIGUEIREDO, R.T; ALSINA, O.L.S. A review on refractance window drying process of fruits and vegetables: its integration with renewable energies. Braz. J. Food Technol., v. 25, e2021153, 2022. | <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15321>

SCHWEGGERT, R. M. Perspective on the ongoing replacement of artificial and animal based dyes with alternative natural pigments Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 66, n. 12, p. 3074-3081, 2018. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b05930

SHISHIR, M. R. I., CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. Trends in Food Science & Technology, v. 65, p. 49-67, 2017. DOI:10.1016/j.tifs.2017.05.006

SHOFINITA, DIAN; BINDAR, Y; SAMADHI, T; CHOLIQ, N; JAELAWIJAYA, A. Increasing the Yield of Powder and Bioactive Materials during Extraction and Spray Drying of Dragon Fruit Skin Extracts J. Eng. Technol. Sci., Vol. 53, No. 6, 2021. DOI:10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.6.12

SILVA, A.B.S; SILVA, E.G; RIGO, L; OLIVEIRA, M.P; LOSS, R.A; GUEDES, S.F; PAULA, J.M; GERALDI, C.A.Q. Técnicas de secagem de frutas: uma revisão. Scientific Electronic Archives Issue, v. 14, n. 10, 2021. DOI: 10.36560/141020211424

SILVA, N. C. Desidratação de Resíduos de Processamento de Maracujá por Diferentes Metodologias. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG. 163 p., 2015.

SILVA, N.C; DUARTE, C.R; BARROZO, M.A.S. Effects of dehydration methods on quality characteristics of yellow passion fruit coproducts. Journal of The Science of Food and Agriculture, v. 97, p. 4750-4759, 2017. DOI: 10.1002/jsfa.8344

SINGH, D.; SHARMA, R. R. Postharvest diseases of fruits and vegetables and their management. Academic Press, p. 1-52, 2018. DOI:10.1016/B978-0-12-812698-1.00001-7

SINGLETON, V.L; ORTHOFER, R; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299, 152–178, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

SOSSA, J.W.Z; OROZCO, G.L; MURILLO, L.M.G; OSORIO, M.P; SUAREZ, N.S. Infrared Drying Trends Applied to Fruit. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 5, 2021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.650690>

SUSANTI, I; HASANAH, F; WIJAYA, H; HERYANI, S; HARTANTO, E. Drying of extracted betacyanin from red dragon fruit (*Hylocereus Costaricensis*) as natural colorant by using spray dryer in various operating condition. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 885, 2020. DOI:10.1088/1757-899X/885/1/012058

TANG, C.S., NORZIAH, M.H. Stability of betacyanin pigments from red purple pitaya fruit (*Hylocereuspolyrhizus*): Influence of pH, temperature, metal ions and ascorbic acid. *Indonesian Journal of Chemistry*, v. 7, n. 3, p. 327-331, 2007. <https://doi.org/10.22146/ijc.21678>

TONON, R. V; BRABET, C; HUBINGER, M. D. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 29(2): p. 444-450, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000200034>

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science & Technology*, v. 63, p. 91-102, 2017. DOI:10.1016/j.tifs.2017.03.009

TRIDGE – GLOBAL TRADE PLATAFORM. *Intelligence: Dragon Fruit*. 2021. Disponível em: <<https://www.tridge.com/intelligences/dragon-fruit>>. Acesso em: 13 ago. 2022.

USAGA, J., BARAHONA, D; ARROYO, L; ESQUIVEL, P. Probiotics survival and betalains stability in purple pitaya (*Hylocereus sp.*) juice. *NFS Journal*, v. 27, p.47–53, 2022. DOI:10.1016/j.nfs.2022.05.001

VELLANO, P; MORAIS, R; SOARES, C.M; SOUZA, A; SANTOS, A; MARTINS, G; DAMIANI, C. Extraction and stability of pigments obtained from pitaya bark flour (*Hylocereus costaricensis*). *Food Science and Technology*, Campinas, v. 42, 2022. DOI:10.1590/fst.25421

VERRUCK, S; PRUDENCIO, E; SILVEIRA, S. Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. *Revista CSBEA*, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5965/24473650412018111>

VISHAKHA; SINGH, M; DUNKWAL, V. Formulation of refreshing drink using dragon fruit (*Hylocereus undatus*) as an immunity booster. *The Pharma Innovation Journal*, v. 10, p. 80 – 83, 2021. DOI:10.22271/tpi.2021.v10.i3b.5746

VITTI, M.C.D; KLUGE, R.A; YAMAMOTTO, L.K; JACOMINO, A.P. Comportamento de beterrabas minimamente processadas em diferentes espessuras de corte. *Horticultura Brasileira*, v.21, n.4, p.623-626, 2003. DOI: 10.1590/S0102-05362003000400009

WAGHMARE, R. Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, v. 110, p. 652–662, 2021. DOI:10.1016/j.tifs.2021.02.030

WATANABE, H.S; OLIVEIRA, S.L. Comercialização e frutas exóticas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.36, n.1, p. 23 - 38, 2014. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-443/13>

WIDYANINGSIH, A; SETIYANI, O; UMAROH, U; SOFRO, M; AMRI, F. Effect of consuming red dragon fruit (*Hylocereus costaricensis*) juice on the levels of hemoglobin and erythrocyte among pregnant women. *Belitung Nursing Journal* , v. 3, p. 255-264, 2017. DOI:10.33546/bnj.97

WU Y., XU, J., H.E, Y., SHI, M., HAN, X., LI, W., WEN, X. Metabolic profiling of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) during fruit development and maturation. *Molecules*, v.24, n.1114, 2019. DOI:10.3390/molecules24061114

WU, L.C; HSU, H.W; CHEN Y.C; CHIU, C.C; LIN, Y.I; HO; J.A.A. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, Oxford, v. 95, p.319–327, 2006. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.01.002

YAH, A.R.C; PEREIRA, S.S; VELOZ, C.S; SAÑUDO, R.B; DUCH, E.S. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Chapingo, v. 31, n. 1, p. 1-5, 2008. DOI:10.35196/rfm.2008.1.1

ZHISHEN, J; MENGCHENG, T; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555–559, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

ZHU, Y.; QUEK, S. Y. Advances in Spray Drying Technology in the Scope of Bioactive Encapsulation. *Spray Drying Encapsulation of Bioactive Materials*. CRC Press, p. 333-353, 2021.

ZITHA, E. Z. M., MAGALHALHÃES, D. S., DO LAGO, R. C., CARVALHO, E. E. N., PASQUAL, M., BOAS, E. V. D. B. V. Changes in the bioactive compounds and antioxidant activity in red-fleshed dragon fruit during its development. *Scientia Horticulturae*, v. 291, 2022. DOI:10.1016/j.scienta.2021.110611

ZOTARELLI, M.F; Carciofi, B; Laurindo, J. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. Food Research International, 69, 410–417, 2015. DOI:10.1016/j.foodres.2015.01.013

ANEXO

ANEXO I – LAUDO ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO PITAYA

	DOCUMENTO AVULSO	DA – 17/03	
	Laudo Físico-Químico	Revisão: 0	Página: 1/1

EMPRESA: NOVO POMAR PRODUTOS ALIMENTÍCIOS LTDA.				
ENDEREÇO: RUA BOIADEIRO - 450			TELEFONE: (34) 3811-1178	
DATA DA COLETA: XX/XX/XXXX RESPONSÁVEL PELA COLETA: BÁRBARA L. MOREIRA SILVA VIEIRA				
TIPO DE ANÁLISE: FÍSICO-QUÍMICO				
FABRICAÇÃO:		VALIDADE: XX/XX/XXXX	LOTE: XXX	
MATERIAL ANALISADO: PITAYA – ROSA - CONGELADA				
RESULTADO				
DESCRIÇÃO	Valor de Referência	Resultado	Unidade de Medida	Data da análise
Sólidos Solúveis	N.A	9,0	°Brix a 20°C	14/03/2023
		9,0		
		9,0		
pH	N.A	4,69	-	14/03/2023
		4,70		
		4,68		
Sólidos Totais	N.A	11,46	g/100 g	14/03/2023
Acidez Total Titulável, expressa em ácido cítrico	N.A	0,28	g/100 g	14/03/2023
Teor de Polpa	N.A	99%	% (v/v)	14/03/2023

Presidente Olegário, 14 de MARÇO de 2023

BÁRBARA L. MOREIRA SILVA CREA/MG:200274

PARECER TÉCNICO: CONSIDERANDO OS PARÂMETROS ANALISADOS, A AMOSTRA ATENDE AOS PADRÕES FÍSICO-QUÍMICOS DO PRODUTO DE ACORDO COM A IN N° 37 de 01 de OUTUBRO DE 2018.

Legenda: IN- INSTRUÇÃO NORMATIVA

- Este relatório de ensaio somente poderá ser reproduzido na sua totalidade. É proibida a reprodução parcial deste laudo salvo com autorização do laboratório.
- A retenção da amostra para contraprova é de cinco dias após a emissão do relatório ou de acordo com validade para análise.
- Os resultados expressos neste documento aplicam-se apenas a amostra analisada, não podendo se estender as demais amostras.

REVISÃO	DATA	ITENS REVISTOS	APROVADO
0	07/02/2020	-	Bárbara L. Moreira Silva Vieira

APÊNDICE

APÊNDICE A – Resultados obtidos para os compostos bioativos.

A-A.1 – SECAGEM DE PITAYA (*HYLOCEREUS COSTARICENSIS*)

Teor de Fenólicos Totais (TPC): mg ácido gálico / 100 g amostra seca

Teor de Flavonoides Totais (TFC): mg rutina / 100 g amostra seca

Acidez Total (ATT) : mg ácido cítrico / 100 g amostra seca

Ácido Ascórbico (TAA): Ácido Ascórbico / 100 g amostra seca

Betalaína (BE): mg Betalaína/100g amostra seca

SPRAY DRYER (SD) – PCC					
Experimentos	TPC	TFC	ATT	TAA	BE
1	80,74 (±3,73)	0,47 (±0,04)	2851,99 (±285,20)	77,61 (±5,17)	34,23 (±1,71)
2	83,39 (±4,14)	0,33 (±0,03)	1211,22 (±142,50)	68,94 (±5,17)	33,95 (±1,70)
3	57,80 (±1,93)	0,19 (±0,01)	1361,13 (±81,29)	95,37 (±5,28)	24,54 (±1,23)
4	54,05 (±2,40)	0,28 (±0,02)	816,19 (±48,75)	88,50 (±2,95)	23,02 (±1,15)
5	93,06 (±3,12)	0,57 (±0,04)	1539,43 (±139,95)	93,09 (±2,93)	37,58 (±1,88)
6	89,50 (±2,89)	0,61 (±0,07)	1161,41 (±80,46)	77,54 (±5,84)	35,44 (±1,77)
7	51,43 (±0,78)	0,73 (±0,07)	883,33 (±70,67)	94,01 (±2,96)	25,64 (±1,28)
8	75,96 (±1,44)	0,31 (±0,03)	541,82 (±32,36)	94,91 (±5,87)	23,30 (±1,16)
9	78,88 (±1,57)	3,45 (±0,07)	914,20 (±81,20)	72,72 (±2,55)	40,39 (±2,02)
10	78,13 (±1,11)	1,28 (±0,14)	893,12 (±81,42)	73,34 (±2,95)	38,12 (±1,91)
11	50,02 (±1,35)	0,50 (±0,03)	523,78 (±26,86)	62,13 (±4,67)	24,00 (±1,20)
12	52,46 (±1,55)	0,28 (±0,02)	768,93 (±78,34)	82,06 (±5,69)	22,80 (±1,14)
13	82,40 (±3,17)	0,80 (±0,04)	792,59 (±80,75)	86,27 (±5,07)	35,94 (±1,80)

14	84,08 (±3,41)	0,73 (±0,09)	609,47 (±55,41)	98,00 (±9,62)	42,12 (±2,11)
15	60,31 (±1,21)	0,72 (±0,04)	655,38 (±47,30)	85,87 (±2,86)	27,43 (±1,37)
16	50,91 (±1,64)	0,34 (±0,02)	862,36 (±78,61)	97,57 (±2,47)	21,31 (±1,07)
17	77,93 (±1,39)	0,61 (±0,03)	887,23 (±43,28)	101,20 (±6,04)	24,24 (±1,21)
18	63,69 (±2,54)	0,41 (±0,04)	431,09 (±16,23)	98,61 (±5,89)	32,62 (±1,63)
19	75,14 (±1,12)	0,21 (±0,02)	936,13 (±69,34)	97,29 (±5,81)	25,28 (±1,26)
20	66,36 (±2,91)	0,06 (±0,01)	641,24 (±79,33)	97,22 (±4,99)	23,20 (±1,16)
21	100,42 (±1,57)	1,88 (±0,10)	1058,36 (±72,99)	113,00 (±6,12)	52,79 (±2,64)
22	59,05 (±2,13)	0,24 (±0,10)	701,59 (±15,99)	97,14 (±5,80)	24,25 (±1,21)
23	80,86 (±2,53)	0,44 (±0,03)	1263,53 (±68,30)	118,95 (±9,91)	31,33 (±1,57)
24	79,17 (±4,32)	0,31 (±0,03)	929,17 (±80,47)	148,34 (±5,84)	30,73 (±1,54)
25	69,81 (±0,98)	0,92 (±0,03)	735,81 (±67,75)	148,99 (±8,11)	29,08 (±1,45)
26	71,03 (±0,77)	0,98 (±0,06)	743,03 (±80,44)	143,22 (±7,61)	30,47 (±1,52)
27	72,34 (±2,17)	0,92 (±0,05)	740,30 (±77,71)	144,56 (±8,17)	29,46 (±1,47)

REFRACTANCE WINDOW (RW) – PCC					
Experimentos	TPC	TFC	ATT	TAA	BE
1	617,46 (±27,91)	13,25 (±1,05)	1298,74 (±103,90)	170,90 (±7,79)	60,85 (±3,04)
2	635,56 (±19,78)	17,23 (±1,44)	1569,96 (±116,29)	94,24 (±8,30)	48,40 (±2,42)
3	703,05 (±18,60)	12,24 (±0,99)	1489,42 (±90,52)	131,97 (±6,23)	47,86 (±2,39)
4	458,51 (±27,81)	14,81 (±0,80)	893,97 (±54,18)	95,67 (±5,92)	35,66 (±1,78)
5	540,84 (±24,12)	15,57 (±1,33)	1239,30 (±75,32)	124,64 (±9,31)	65,24 (±3,26)
6	567,87 (±11,82)	17,85 (±1,25)	1297,82 (±112,85)	120,11 (±8,46)	37,45 (±1,87)
7	816,93 (±15,47)	12,43 (±1,14)	1573,46 (±95,36)	166,08 (±8,75)	45,34 (±2,27)
8	539,51 (±14,50)	16,68 (±0,85)	1097,68 (±56,29)	91,23 (±8,03)	38,86 (±1,94)
9	594,83 (±21,95)	24,71 (±0,77)	1664,48 (±101,16)	131,38 (±6,57)	56,41 (±2,82)
10	560,54 (±33,12)	24,05 (±0,85)	1691,73 (±143,97)	138,22 (±5,64)	58,31 (±2,92)