



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TATYANE MYLLENA SOUZA DA CRUZ

**DEFINIÇÃO DE CONDIÇÕES ÓTIMAS PARA O PROCESSO DE SECAGEM EM
SPRAY DRYER DA POLPA DE BURITI (*Mauritia flexuosa* L.)**

BELÉM – PARÁ

2022

TATYANE MYLLENA SOUZA DA CRUZ

**DEFINIÇÃO DE CONDIÇÕES ÓTIMAS PARA O PROCESSO DE SECAGEM EM
SPRAY DRYER DA POLPA DE BURITI (*Mauritia flexuosa* L.)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Tecnologia, da Universidade Federal do Pará, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena.

Coorientadora: Profa. Dra. Heloisa Helena Barredo Reis de Medeiros

BELÉM – PARÁ

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C955d Cruz, Tatyane Myllena Souza da.
Definição de condições ótimas para o processo de secagem em
spray dryer da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) / Tatyane
Myllena Souza da Cruz. — 2022.
80 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
Coorientação: Prof^a. Dra. Heloisa Helena Barredo Reis de
Medeiros

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Belém, 2022.

1. Secagem por atomização. 2. Carotenoides. 3. *Mauritia*
flexuosa. 4. Função desejabilidade.. I. Título.

CDD 664.8

TATYANE MYLLENA SOUZA DA CRUZ

**DEFINIÇÃO DE CONDIÇÕES ÓTIMAS PARA O PROCESSO DE SECAGEM EM
SPRAY DRYER DA POLPA DE BURITI (*Mauritia flexuosa* L.)**

Data da Avaliação: ____ / ____ / ____.

Nota/Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena.
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientador)

Profa. Dra. Heloisa Helena Barredo Reis de Medeiros
(FEA/ITEC/UFPA – Coorientadora)

Prof. Dr. Renan Campos Chisté
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro Interno)

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria.
(PRODERNA/ITEC/UFPA – Membro Externo)

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Francisco da Cruz e Maria de Nazaré, à
minha querida irmã Hellen Tamyres e aos
amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, por indiscutivelmente sempre se mostrar presente ao meu lado e me permitir concluir esse mestrado. Hoje eu vejo o propósito de Deus em cada dificuldade que passei nessa jornada, e sou capaz de ser grata por elas.

Minha gratidão a minha família que, mesmo à distância, não mediu esforços para me ajudar financeiramente, psicologicamente e em orações, para que eu conseguisse alcançar meus objetivos. Meus pais Francisco da Cruz e Maria de Nazaré por serem minha base em tudo, apenas com o Ensino Fundamental incompleto entenderam o valor do ensino e da educação. Minha irmã Hellen Tamyres por sempre me incentivar e apoiar, não só com palavras mas também com ações. Meu irmão Genilson e sua família por me receber em sua casa e por todo auxílio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rosinelson Pena por ter aceitado esse desafio de ser meu orientador, mesmo não me conhecendo aceitou caminhar comigo nessa jornada. Obrigada pela paciência e pela dedicação!

A minha coorientadora, Profa. Dra. Heloisa Helena, a quem perturbei muito ao longo do mestrado, meu muito obrigada pela ajuda prestada e por todo carinho!

Aos membros da banca, Prof. Dr. Renan Chisté e Prof. Dr. Lênio José Guerreiro, pelas sugestões e correções que contribuiram para melhoria do trabalho.

Aos meus amigos do FEA/LAFAMI, sou muito grata a DEUS pela vida de todos vocês, que tornaram essa caminhada muito mais agradável e alegre. Obrigada pela ajuda em descascar e despolpar buriti, limpar o *Spray dryer*, pelas inúmeras caronas, por ficarem até tarde comigo no Laboratório, mas principalmente, obrigada pelos bons momentos. Carrego todos no coração.

Ao PPGCTA/UFPA pela oportunidade de alcançar o título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e a CAPES pela bolsa de mestrado.

RESUMO

O buriti (*Mauritia flexuosa*) é um fruto nativo da Amazônia, conhecido por seu potencial funcional, atribuído a elevada concentração de carotenoides. O processo de secagem em *spray dryer*, por sua vez, pode transformar soluções, suspensões ou pastas em pequenas gotículas, que ao entrarem em contato com o ar quente produzem pós com características, que favorecem a preservação do produto, além de facilitar o armazenamento e o transporte. Assim, o objetivo deste trabalho foi definir condições ótimas para o processo de secagem da polpa do buriti, em *spray dryer*, visando obter um produto em pó, com características desejáveis. Para tal, um delineamento composto central rotacional (DCCR) foi utilizado para determinar a influência das variáveis: temperatura do ar de secagem (130 – 190 °C), vazão de alimentação (7 – 17 mL/min) e concentração do agente carreador (20 – 60%), sobre as propriedades do produto: umidade, atividade de água (a_w), higroscopicidade, teor de carotenoides totais, índice de solubilidade em água (ISA) e o parâmetro de cor instrumental b^* (parâmetro da cor característica do fruto). Para assegurar a estabilidade da emulsão na suspensão, a lecitina de soja foi adicionada em todas as formulações, na quantidade de 5% em relação à matéria seca da amostra. Por meio da metodologia de superfície de resposta (MSR) e da função desejabilidade foram definidas como condições ótimas para o processo de secagem da polpa do buriti; no domínio experimental: uma concentração de goma arábica de 60%, vazão de alimentação de 17 mL/min e temperatura do ar de secagem de 190 °C. Nessas condições, o pó obtido apresentou as seguintes características: 0,62 g/100 g de umidade, a_w de 0,16, higroscopicidade de 18,79 g/100 g, teor de carotenoides de 60,92 $\mu\text{g/g}$, ISA de 80,26% e um valor de 31,32 para parâmetro de cromaticidade b^* .

Palavras-chaves: *Mauritia flexuosa*; β -caroteno; secagem por atomização; microencapsulação; função desejabilidade.

ABSTRACT

Buriti (*Mauritia flexuosa*) is a native fruit of the Amazon, known for its functional potential, attributed to a high concentration of carotenoids. The spray drying process, in turn, can transform solution, suspensions or pastes into small droplets, which in contact with hot air produce powders with characteristics that favor the preservation of the product, in addition to facilitating storage and the transport. Thus, the objective of this work was to optimize the drying process of buriti pulp, in spray dryer, aiming to obtain a powdered product with desirable characteristics. For this, a central composite rotatable design (CCRD) was used to determine the influence of the variables: drying air temperature (130 – 190 °C), feed flow (7 – 17 mL/min) and carrier agent concentration (20 – 60%), on the product properties: moisture, water activity (a_w), hygroscopicity, total carotenoid content, water solubility index (WSI) and the instrumental color parameter b^* (fruit characteristic color parameter). To ensure the stability of the emulsion in the suspension, soy lecithin was added to all formulations, in the amount of 5% in relation to the dry matter of the sample. The response surface methodology (RSM) and the desirability function defined as optimal conditions for the drying process of buriti pulp: a gum arabic concentration of 60%, feed flow rate of 17 mL/min and drying air temperature of 190 °C; in the experimental domain. Under these conditions, the powder obtained had the following characteristics: 0.62 g/100 g moisture, a_w of 0.16, hygroscopicity of 18.79 g/100 g, carotenoid content of 60.92 $\mu\text{g/g}$, ISA of 80.26% and a value of 31.32 for the chromaticity parameter b^* .

Keywords: *Mauritia flexuosa*; β -carotene; spray drying; microencapsulation; desirability function.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potenciais propriedades biológicas reportadas em frutas amazônicas.....	16
Tabela 2. Composição da polpa de buriti em base úmida (bu).....	17
Tabela 3. Diferentes condições de amolecimentos aplicados aos frutos de buriti.....	27
Tabela 4. Níveis das variáveis operacionais de entrada para o processo de secagem da polpa de buriti em <i>spray dryer</i>	30
Tabela 5. Matriz do planejamento da secagem da polpa de buriti em <i>spray dryer</i>	31
Tabela 6. Teor de carotenoides totais na polpa de buriti amolecida nos diferentes procedimentos.....	34
Tabela 7. Biometria do buriti.....	35
Tabela 8. Composição mássica do buriti, em média.	36
Tabela 9. Composição físico-química da polpa do buriti.	36
Tabela 10. Matriz de planejamento com os resultados das respostas obtidos nas diferentes condições de secagem da polpa de buriti em <i>spray dryer</i>	39
Tabela 11. Efeitos estimados, erro puro e grau de probabilidade (p), para os fatores do modelo ajustado a resposta umidade.	42
Tabela 12. ANOVA para a resposta umidade.	43
Tabela 13. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado à resposta a_w	46
Tabela 14. ANOVA para a resposta a_w	47
Tabela 15. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado à resposta higroscopicidade.....	50
Tabela 16. ANOVA para a resposta higroscopicidade.....	50
Tabela 17. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta carotenoides.....	53
Tabela 18. ANOVA para a resposta carotenoides.....	54
Tabela 19. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta ISA.	57
Tabela 20. ANOVA para a resposta ISA.....	57
Tabela 21. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta b^*	60
Tabela 22. ANOVA para a resposta b^*	61
Tabela 23. Valores atribuídos à função desejabilidade global.	63

Tabela 24. Valores das propriedades da polpa de buriti em pó, preditos pela modelagem e determinados para o produto obtido na condição ótima de secagem. 65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura molecular dos carotenoides	19
Figura 2. Visão do fruto do buriti: (a) fruto íntegro sendo medido com paquímetro; (b) fruto descascado evidenciando a polpa; (c) semente evidenciando a camada fibrosa.	28
Figura 3. Pós obtidos nos ensaios do processo de secagem em spray: (a) 1; (b) 2; (c) 3; (d) 4; (e) 5; (f) 6; (g) 7; (h) 8; (i) 9; (j) 10; (k) 11; (l) 12; (m) 13; (n) 14; (o) 15; (p) 16; (q) 17 e (r) 18.	41
Figura 4. Gráfico de Pareto para a resposta umidade.	43
Figura 5. Distribuição dos resíduos para a resposta umidade.	44
Figura 6. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta umidade.	44
Figura 7. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente umidade, em função das variáveis independentes: (A) temperatura do ar de secagem (T) e concentração de goma arábica (C) (vazão de alimentação = 12 mL/min) e (B) temperatura do ar de secagem (T) e vazão de alimentação (V) (concentração de goma arábica = 40%).	45
Figura 8. Gráfico de Pareto para a resposta a_w	47
Figura 9. Distribuição dos resíduos para a resposta a_w	48
Figura 10. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta a_w	48
Figura 11. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente a_w , em função das variáveis independentes: concentração do agente carreador (C) e temperatura do ar de secagem (T) (vazão de alimentação = 12%).	49
Figura 12. Gráfico de Pareto para a resposta higroscopicidade.	50
Figura 13. Distribuição dos resíduos para a resposta higroscopicidade.	51
Figura 14. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta higroscopicidade.	51
Figura 15. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente higroscopicidade, em função das variáveis independentes: concentração do agente carreador (C) e vazão de alimentação (temperatura do ar de secagem = 160°C).	52
Figura 16. Gráfico de Pareto para a resposta carotenoides.	53
Figura 17. Distribuição dos resíduos para o ajuste do modelo à resposta carotenoides.	54
Figura 18. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta de carotenoides.	55
Figura 19. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente carotenoides, em função das variáveis independentes: concentração do agente carreador (C) e vazão de alimentação (V) (temperatura do ar de secagem = 160°C).	56
Figura 20. Gráfico de Pareto para a resposta ISA.	57

Figura 21. Distribuição dos resíduos para a resposta ISA.....	58
Figura 22. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta de ISA.	58
Figura 23. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente ISA, em função das variáveis independentes: concentração de agente carreador (C) e temperatura do ar de secagem (T) (vazão de alimentação = 12 mL/min).	59
Figura 24. Gráfico de Pareto a resposta b*.	60
Figura 25. Distribuição dos resíduos para a resposta b*.	61
Figura 26. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta b*.....	62
Figura 27. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente b*, em função das variáveis independentes: concentração de agente carreador (C) e temperatura do ar de secagem (T) (vazão de alimentação = 12 mL/min).	62
Figura 28. Gráfico da Função Desejabilidade para as respostas umidade, a_w , higroscopicidade, ISA, carotenoides e b*.	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVO.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	POTENCIALIDADES DAS FRUTAS AMAZÔNICAS	15
3.2	O BURITI.....	16
3.3	CAROTENOIDES.....	18
3.4	SECAGEM	20
3.4.1	Secagem em <i>spray dryer</i>.....	21
3.4.2	Variáveis operacionais da secagem por atomização.....	23
3.5	SECAGEM DA POLPA E DE EMULSÕES DE BURITI	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	MATERIAL.....	26
4.1.1	Obtenção da polpa	26
4.1.2	Teste preliminar de amolecimento da polpa	26
4.1.3	Agente carreador e emulsificante.....	27
4.2	SPRAY DRYER.....	27
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO	27
4.3.1	Análise biométrica	27
4.3.2	Composição centesimal	28
4.4	PREPARAÇÃO DAS EMULSÕES.....	29
4.5	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	30
4.6	CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DO BURITI EM PÓ	31
4.7	OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DA POLPA DE BURITI EM <i>SPRAY DRYER</i> E VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA	32
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
5	RESULTADOS	34
5.1	TESTE DE AMOLECIMENTO.....	34
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO DE BURITI	35
5.3	SECAGEM DA POLPA.....	38
5.3.1	Planejamento experimental	38

5.3.2	Análise estatística.....	42
5.3.3	Otimização do processo de secagem.....	63
5.3.4	Validação das condições ótimas de secagem	64
6	CONCLUSÃO.....	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O buriti, palmeira que pertence à família *Arecaceae*, é utilizado por animais, como moradia e fonte alimentar, bem como pelo homem, que utiliza principalmente o fruto, como alimento. O buriti é uma palmeira nativa da Amazônia, adaptada a solos ácidos e pouco férteis, que pode ser encontrada em outros países como: Peru, Venezuela, Bolívia e Colômbia. O fruto do buriti é apreciado nas regiões Norte e Nordeste, na forma de sucos e doces, porém em algumas regiões do Brasil ele ainda é pouco consumido (GAZEL FILHO; LIMA, 2001; MATOS et al., 2014).

A presença de compostos fenólicos e carotenoides no buriti e, conseqüentemente, a alta atividade antioxidante, apontam para o potencial funcional do fruto (MILANEZ et al., 2016). É importante destacar que os alimentos de origem vegetal são reconhecidos como boas fontes de vitaminas, fosfato, fibras, minerais e compostos bioativos, essenciais para o organismo humano (BASTOS; ROGERO; ARÊAS, 2009). Dentre as substâncias que apresentam atividade antioxidante nos vegetais podem ser citadas as vitaminas C e E, os carotenoides e os compostos fenólicos, em cuja classe se destacam os flavonoides (SILVA et al., 2010).

Os carotenoides formam uma importante classe de compostos bioativos de pigmentos naturais, que podem ser amplamente encontrados na natureza, e apresentam coloração que varia do amarelo ao vermelho (ALBUQUERQUE et al., 2005). Dentro da grande diversidade de frutos brasileiros, o buriti é o que possui maior concentração de β -caroteno, importante composto na classe dos carotenoides, caracterizado pela atividade provitamina A (CÂNDIDO; SILVA; AGOSTINI-COSTA, 2015). Por essa razão, ele é atrativo nutricionalmente e tem diversas possibilidades de uso. Neste sentido, a utilização da secagem em *spray dryer* pode ser vista como uma alternativa para a conservação da polpa do fruto, além de possibilitar o melhoramento das propriedades físicas e a preservação dos compostos bioativos, pelo uso de agentes carreadores (SHISHIR; CHEN, 2017).

As principais variáveis operacionais analisadas em estudos com *spray drying* são: tipo e concentração do agente carreador, temperatura do ar de secagem (CAVALCANTE et al., 2017; KHA; NGUYEN; ROACH, 2010; SILVA et al., 2013; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009) e vazão de alimentação (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2013). O uso de agentes carreadores possibilita o revestimento de compostos sólidos, líquidos ou gasosos por uma matriz homogênea ou heterogênea, que forma cápsulas, cuja parte interna é conhecida como núcleo e o revestimento pode ser chamado de casca ou membrana. A barreira física

formada entre o composto de interesse e os demais compostos do produto, auxilia na inibição de reações e proporciona a estabilidade do produto seco (GHARSALLAOUI et al., 2007).

A estabilidade dos carotenoides em alimentos está relacionada com a ocorrência de reações de isomerização e oxidação, que resultam na degradação desses compostos, diminuindo a qualidade nutricional e promovendo a alteração da cor do produto (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Foram encontrados poucos trabalhos na literatura que utilizam a polpa integral do buriti, em processos de secagem em *spray dryer*; a maioria dos trabalhos estudou o processo de microencapsulação de emulsões do óleo do buriti. Portanto, é importante avaliar a utilização da polpa integral do buriti, em combinação com outros agentes carreadores, em processo de microencapsulação em *spray dryer*, para entender o comportamento do processo e, assim, estabelecer condições ótimas para o processo de secagem, de modo a obter um produto com características tecnológicas desejáveis.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Definir condições ótimas para o processo de secagem em *spray dryer* da polpa do buriti (*Mauritia flexuosa* L.), visando obter um produto com maior vida de prateleira e um pó com características tecnológicas desejadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a composição química da polpa do buriti;
- Estudar o efeito das variáveis operacionais da secagem em *spray dryer*: temperatura de entrada do ar de secagem, vazão de alimentação e concentração do agente carreador sobre parâmetros tecnológicos e o teor de carotenoides da polpa de buriti em pó;
- Definir e validar as condições ótimas para o processo de secagem da polpa de buriti em *spray dryer*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 POTENCIALIDADES DAS FRUTAS AMAZÔNICAS

O aumento do cuidado com a dieta e a saúde resultou no reconhecimento do valor nutricional das frutas, por parte da sociedade, contribuindo para a ampliação desse mercado (LIU, 2013). Devido ao extenso território brasileiro, com diferentes solos, climas e temperaturas, é possível observar a existência de inúmeras espécies de frutas. Não só os brasileiros, mas o mundo passou a demonstrar interesse pelas frutas típicas da Região Amazônica (CARVALHO, 2017).

O consumo de frutas, vegetais e grão integrais estão associados ao menor risco do aparecimento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs), como: câncer, diabetes, colesterol e disfunções musculares; decorrentes da sinergia e da presença de compostos bioativos e outros nutrientes (LIU, 2013; SANTANA; PEIXOTO, 2017).

De maneira geral, estudos com extratos de frutas tropicais vem ganhando destaque entre os pesquisadores, devido a variedades de frutas e a presença de compostos bioativos, assim como o interesse por parte do setor industrial, que busca obter extratos ricos em compostos bioativos e com comprovada atividade antioxidante (SILVA et al., 2013). Assim, as frutas amazônicas podem ser exploradas por diversos setores industriais, como alimento e material vegetal terapêutico para produção de medicamentos, bem como fonte para obtenção de compostos destinados a aplicações alimentícias, cosmética e farmacêutica (ARAÚJO et al., 2021).

O estudo realizado por Ramos et al. (2015) concluiu que o araçá-pera (*Psidium acutangulum*), fruta exótica amazônica, possui maior capacidade antioxidante do que o araçá-da-costa-rica (*P. friedrichsthalianum*) e a goiaba comum (*P. guajava*), devido ao alto teor de ácido ascórbico. Dias-Souza et al. (2018), ao analisarem o extrato metanólico da polpa de araçá, observaram atividade antimicrobiana contra o desenvolvimento de células planctônicas e biofilmes de *Staphylococcus aureus*. Propriedades biológicas como a capacidade antioxidante, a atividade antiproliferativa e a capacidade anti-inflamatória, dentre outras, foram determinadas em diversas espécies de frutas amazônicas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Potenciais propriedades biológicas reportadas em frutas amazônicas.

Fruta	Bioatividade	Parte da fruta	Método/modelo	Referências
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Antioxidante	Polpa	DPPH, TEAC e ORAC	Carvalho et al. (2017)
			ORAC	Kang et al. (2011)
	Anti-inflamatória	Polpa	SEAP foi projetado para medir a ativação do fator nuclear-kappa B (NF- κ B)	Kang et al. (2011)
	Antimicrobiana e antibiofilme	Polpa	Ação contra células planctônicas e biofilmes de <i>Staphylococcus aureus</i>	Dias-Souza et al. (2018)
Araçá-pera (<i>Psidium acutangulum</i>)	Antioxidante	Polpa Semente Casca	DPPH e ABTS	Ramos et al. (2015)
Bacaba (<i>Oenocarpus bacaba</i>)	Antioxidante	Polpa	DPPH, TEAC, ORAC e FRAP	Abadio Finco et al. (2012)
	Antiproliferativa	Polpa	Ação contra células cancerígenas de HepG2	Abadio Finco, Boser e Graeve (2013)
Burtiti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	Antioxidante	Polpa	DPPH, ABTS, ORAC e FRAP	Cândido, Silva e Agostini-Costa (2015)
			DPPH e FRAP	Koolen et al. (2013)
			DPPH, TBARS e FRAP	Nobre et al. (2018)
	Antimicrobiana	Polpa	Ação contra bactérias patogênicas	Koolen et al. (2013)
Camu-camu (<i>Myrciaria dúbia</i>)	Antioxidante	Polpa Casca	DPPH e ABTS	Azevedo et al. (2019)
		Polpa	DPPH e FRAP	Fujita et al. (2017)

ORAC: capacidade de absorção do radical de oxigênio; SEAP: fosfatase alcalina embrionária secretada; DPPH: capacidade de eliminação de radicais livres; TEAC: capacidade antioxidante equivalente de Trolox; ABTS: 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico); TBARS: substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico; FRAP: capacidade de redução férrica do plasma; HepG2: linhagem de hepatocarcinoma humano.

3.2 O BURITI

O buriti ou miriti (*Mauritia flexuosa*) é uma palmeira amazônica dióica, que possui reconhecimento ecológico e econômico (ENDRESS; HORN; GILMORE, 2013). Da árvore são obtidas a madeira e a palha, para construção de jangadas, casas e artesanatos; o óleo é popularmente utilizado como vermífugo e analgésico; e o fruto é utilizado na alimentação (OLIVEIRA et al., 2013). Os frutos do buriti são formados externamente por uma casca firme,

de coloração marrom-avermelhada, o endocarpo é caracterizado por um material esponjoso, e a polpa é constituída por amido e óleo (MILANEZ et al., 2018).

O buriti enquadra-se na categoria de alimento funcional, por apresentar atividade antioxidante, fotoprotetora, antiagregante, antitrombótico, anti-inflamatório, antidiabético, antimicrobiano e antitumoral. Por isso, este fruto, tem recebido destaque, como a possibilidade de ser utilizado como matéria-prima pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e química (FREIRE et al., 2016). No setor alimentício a utilização do fruto consiste na elaboração de novos produtos para prevenir males associados ao estresse oxidativo (NOBRE et al., 2018).

Apesar das potencialidades, o buriti, da mesma forma que a maioria dos frutos, é muito perecível; em especial a polpa; o que é atribuído principalmente à umidade (MILANEZ et al., 2016). O elevado teor de água limita a vida útil de alimentos (OIKONOMOPOULOU; KROKIDA, 2013). A composição da polpa do buriti *in natura*, segundo dois autores, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição da polpa de buriti em base úmida (bu).

Propriedade	Composição / Referência	
	Darnet et al. (2011)	Sandri et al. (2017)
Umidade (%)	50,5	59,69
Fibras alimentares (%)	22,8	–
Fibras bruta (%)	–	8,56
Proteínas (%)	3,7	–
Lipídeos (%)	19,0	20,92
Cinzas (%)	0,6	1,04
Carboidratos totais (%)	26,2	7,28
Tocoferol totais (µg/g)	1.169	–
β-Caroteno (µg/100 g)	–	9.098
α-caroteno(µg/100 g)	–	10.086

Melo et al. (2011) observaram que um quinto da fibra alimentar presente na polpa do buriti é solúvel. A polpa possui em maiores proporções os minerais potássio (183,55 mg/100g bu) e cálcio (37,83 mg/100g bu), que corresponde a 3,91% e 3,78%, respectivamente, da Ingestão Diária Recomendada (IDR) (SCHIASSI et al., 2018).

O óleo extraído do buriti também apresenta importantes propriedades, como reportado por Batista et al. (2012), que observaram a eficiência do óleo na ação cicatrizante de feridas cutâneas, em ratos da espécie *Wistar*, bem como a atividade antimicrobiana *in vitro*, tanto em

bactérias gram-positivas, quanto em bactérias gram-negativas. A pesquisa de Bovi, Petrus e Pinho (2017) demonstrou que a utilização de nanoemulsões de óleo é uma alternativa para substituição de corante artificiais em uma bebida esportiva isotônica. No óleo do buriti são encontrados ácidos graxos insaturados, com a predominância do ácido oleico, e saturados, como os ácidos palmítico e láurico (CUNHA et al., 2012).

Tauchen et al. (2016) determinaram compostos fenólicos, atividade antioxidante e atividade anti-proliferativa no exocarpo do fruto do buriti e apontam para a possibilidade do desenvolvimento de novos produtos à base de plantas como agentes antioxidantes e ant-proliferativos em células cancerígenas. Nobre et al. (2018), por sua vez, constataram que o extrato metanólico do buriti exibiu atividade antioxidante comprovada pelos métodos DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), substâncias reativas ao tiobarbitúrico (TBARS), e o método de redução do ferro (FRAP).

Além de possuir ação antioxidante, o buriti destaca-se por ser uma fonte de carotenoides, principalmente o β -caroteno, o que o classifica como uma excelente fonte de pró-vitamina A (AQUINO et al., 2012, CÂNDIDO; SILVA; AGOSTINI-COSTA, 2015). Por essa razão, o buriti tem sido utilizado na produção de bebidas à base de leite, enriquecidas com carotenoides, (BEST et al., 2020), e incorporadas na dieta de camarões, visando aumentar o teor de carotenoides e a capacidade antioxidante no hepatopâncreas e músculos dos animais (SIMIÃO et al., 2020).

3.3 CAROTENOIDES

Os carotenoides são tetraterpenóides, estruturados por 40 átomos de carbono, formados por oito unidades de isoprenóides, que podem ser encontrados em organismos adaptados a diferentes ambientes como oceanos, montanhas e fontes termais (MELÉNDEZ-MARÍNEZ, 2017). Desta forma, são os fitoquímicos lipossolúveis mais abundantes na natureza, estudos *in vitro* e *in vivo* apontam para as suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (KAULMANN; BOHN, 2014). Os carotenoides ocorrem principalmente na forma *all-trans* e podem apresentar estrutura cíclica em uma ou ambas as extremidades. O β -caroteno possui as duas extremidades cíclicas, enquanto o licopeno é acíclico (LIU, 2013).

Os carotenoides são classificados em carotenos, os quais contém hidrocarbonetos em sua estrutura (ex.: β -caroteno e licopeno) e em xantofilas, as quais são derivados oxigenados (ex.: luteína e zeaxantina) (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004). Os carotenoides são

estruturalmente formados por cadeias poliênica (Figura 1), em um extenso sistema de ligações duplas conjugadas, que lhes possibilitam apresentar ação antioxidante, pela desativação do oxigênio singlete (SILVA et al., 2010).

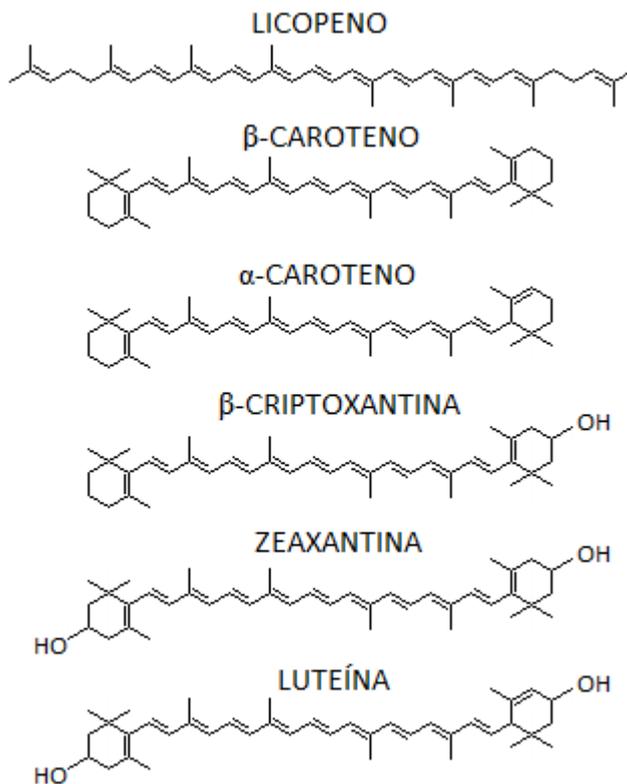


Figura 1. Estrutura molecular dos carotenoides (KOPEC; FAILLA, 2018), com adaptações.

Mais de 600 tipos de carotenoides já foram isolados e identificados em frutas, plantas e cereais integrais, os quais possuem colorações variadas, tais como: amarela, laranja e vermelha. (LIU, 2013). Quanto a coloração, existe ainda a classe de carotenoides incolores, que são representados principalmente pelos fitoenos e fitofluenos, encontrados em alimentos como a cenoura, tomate, melancia, dentre outros. Apesar de serem escassas informações a respeito desse grupos de carotenoides, a presença deles no organismo humano tem sido associada a ações benéficas, como as atividades antioxidante e anti-inflamatória (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ; MAPELLI-BRAHM; STINCO, 2018).

Alguns carotenoides podem apresentar ação provitamina A, pois quando consumidos são clivados no centro da molécula e transformados em retinoides da vitamina A, que não é sintetizada pelo organismo humano, tendo que ser fornecida através da alimentação ou de suplementação (BEYER, 2010; EGGERSDORFER; WYSS, 2018). Para que o carotenoide

apresente atividade provitamina A, ele necessita ter um anel β não substituído e a cadeia de polieno de 11 carbonos (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004). Dentre os carotenoides que apresentam ação provitamina A estão o β -caroteno, o α -caroteno, e a β -criptoxantina. Carotenoides como a zeaxantina e a luteína são essenciais para o funcionamento da região macular da retina dos olhos, cujo consumo tem sido atrelado a menor incidência do desenvolvimento de catarata e degeneração macular (LIU, 2013). Existem estruturas que possuem apenas 50% da atividade pro vitamina A, em relação ao β -caroteno, como é o caso do α -caroteno e da β -criptoxantina (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004).

O β -caroteno tem sido amplamente estudado devido a sua capacidade de auxiliar na prevenção de doenças crônicas como o câncer, doenças cardiovasculares, osteoporose e diabetes (ADADI; BARAKOVA; KRIVOSHAPKINA, 2018).

Muitos carotenoides são produzidos em escala industrial e disponibilizados em alimentos fortificados e suplementos, sendo utilizados também como corantes em alimentos, bebidas e aplicados na indústria farmacêutica. Algumas estratégias de saúde pública são usadas para combater a deficiência em vitamina A, e abordam o fortalecimento de produtos largamente usados, como açúcar, gorduras e produtos de cereais, pela adição de carotenoides. (EGGERSDORFER; WYSS, 2018).

Matos et al. (2019) estudaram frutas amazônicas, como o tucumã e a pupunha, e observaram que as cascas destes frutos são fontes de carotenoides, o que faz destes subprodutos serem alternativas para o uso por diversos setores industriais. O principal carotenoide encontrado nesta pesquisa de Matos et al. (2019) foi o β -caroteno. O consumo de frutas ricas em carotenoides deve ser incentivado pois, além de contribuir para ingestão de um bioativo essencial, proporciona ainda o desenvolvimento da agricultura familiar e o desenvolvimento sustentável (ANUNCIACÃO et al., 2019).

3.4 SECAGEM

A secagem é uma operação unitária utilizada na produção de alimentos, madeira, papel, têxtil e produtos farmacêuticos, químicos e biológicos (DEFRAEYE, 2014). A prática de secar alimentos acontece desde os tempos antigos, com o objetivo de preservá-los por meio da exposição ao sol, devido a remoção da água. A secagem natural continua sendo uma operação unitária utilizada na preservação de alimentos, porém métodos mais rápidos e eficientes tem sido empregados, como: a secagem por ar quente, a liofilização, a secagem por infravermelho, a secagem por micro-ondas, a secagem por radiofrequência e a desidratação osmótica (GUINÉ, 2018).

O processo de secagem possibilita a obtenção de produtos mais estáveis à contaminação microbiana e às reações deteriorativas, em geral, além de auxiliar no armazenamento e possibilitar menores custos de transporte (RAGHAVI; MOSES; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2018).

A seleção da técnica adequada de secagem deve considerar as características da matéria-prima, bem como o que se deseja obter como produto final. A secagem pode influenciar em propriedades do produto seco, como: o teor de carotenoides, a capacidade antioxidante (CHUYEN et al., 2016), o teor de ácido ascórbico e de compostos fenólicos (CHAO et al., 2022), o tempo de dissolução, a viscosidade (SHANG, 2021), a atividade de água (a_w), a higroscopicidade, a solubilidade (GOPINATHAN; YUSOF; PUI, 2020), a temperatura de transição vítrea (T_g) e a cor (NEMZER et al., 2018).

A a_w de um alimento representa a água disponível para participar de reações químicas, bioquímicas e deteriorativas. Considerando que a sorção de vapor de água resulta em modificações na qualidade e na preservação do produto, se faz necessário conhecer as condições de equilíbrio entre as fases gasosa e sólida; seja para realizar o processo de secagem, onde a fase gasosa é representada pelo ar de secagem e a fase sólida pelo alimento, ou para definir condições de armazenamento para o produto. Neste caso a fase gasosa é constituída pelo ar, além de outros gases contidos na embalagem (TADINI et al., 2016).

A T_g está intimamente relacionada com a composição do material submetido à secagem e pode comprometer a qualidade do pó obtido. Quando ocorre o aumento da umidade, ainda que mínimo, pode ser observada a produção de pós pegajosos, resultante do baixo valor da T_g . Assim, um produto seco em *spray dryer*, por exemplo, necessita de embalagem específica contra o ganho de umidade e deve ser armazenado em temperaturas inferiores a T_g (TONTUL; TOPUZ, 2017).

3.4.1 Secagem em *spray dryer*

Os secadores por atomização ou pulverização (*spray dryer*) trabalham de forma contínua, na secagem de materiais que possam ser bombeados. O princípio do processo compreende o aumento da área onde ocorrerá a transferência simultânea de calor e massa. Na indústria de alimentos, esses secadores são utilizados para produção de leite em pó, café solúvel e outros produtos desidratados (TADINI et al., 2016).

O processo de secagem em *spray dryer* consiste em transformar uma solução, suspensão ou pasta em pequenas gotículas, no interior de uma câmara, onde elas entram em contato com o ar quente. A água contida nas gotículas evapora quase que instantaneamente, dando origem a

partículas secas, as quais são transportadas pelo ar de secagem até um coletor, onde as partículas mais pesadas são depositadas (MASTERS, 1985). Assim, a formação das partículas sólidas envolve a atomização do produto e a evaporação da água (VEGA-MERCADO; GÓNGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001).

O *spray dryer* possui uma câmara de secagem cônico-cilíndrica, a qual possui um bico atomizador na parte superior e um coletor de pó na parte inferior. O ar quente pode assumir diferentes configurações de escoamento em relação ao produto, como: corrente paralela, contracorrente e misto. As partículas mais finas que não são coletadas no fundo da câmara de secagem passam para um ciclone, para onde o ar quente que sai da câmara é direcionado (TADINI et al., 2016).

As principais vantagens da secagem em *spray dryer* envolvem o fato de ser um processo contínuo, rápido e econômico. Contudo, a secagem pode promover alterações indesejáveis nas características sensoriais e no valor nutricional do produto (ENGEL et al., 2017). Ainda assim, o *spray dryer* é o equipamento de maior importância para a secagem de pastas e suspensões, na indústria de alimentos.

As partículas resultantes da secagem em *spray dryer* podem ser rígidas, rígidas com fraturas, plástico maleáveis, não porosas ou esponjosas. A densidade dos pós pode ser alterada, em função da vazão de alimentação e da temperatura do ar de secagem (VEGA-MERCADO; GÓNGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001).

A técnica de *spray drying* é utilizada na encapsulação de diferentes compostos bioativos em alimentos, como: polifenóis, carotenoides e lipídeos (ZHANG et al., 2019). Neste sentido, diversas pesquisas estudaram os efeitos da secagem em *spray dryer* na retenção de composto bioativos, como: carotenoides (CARMONA et al., 2018), antocianinas (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012; SILVA et al., 2013), compostos fenólicos e flavonoides (GOMES et al., 2018a), betalaína (BAZARIA; KUMAR, 2018) e betacianina (BAKAR et al., 2013).

Conforme já mencionado, embora a secagem seja uma boa opção para preservar alimentos, facilitar o armazenamento e o transporte, muitas propriedades dos alimentos podem ser alteradas pela aplicação da técnica. Assim, é importante minimizar as possíveis alterações químicas e as perdas de nutrientes, e para tal a otimização de processo é uma importante ferramenta (MULITERNO et al., 2017).

A otimização da secagem é um campo crescente e de suma importância no processamento de alimentos, pois apresenta diversas variáveis capazes de influenciar na eficiência do processo. Neste contexto, é comum o setor industrial otimizar sua escala de

produção a fim de obter os melhores resultados durante o processo de secagem (OIKONOMOPOULOU; KROKIDA, 2013)

Segundo Shishir e Chen (2017), as variáveis que exercem maiores influências na eficiência da secagem em *spray dryer* e na qualidade do produto seco são: o agente carreador e a temperatura do ar de secagem. A vazão de alimentação também pode apresentar efeito considerável na otimização do processo (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). A secagem por atomização produz pós muito finos (10-50 μm) ou partículas maiores (2-3 mm), dependendo do material de alimentação, bem como das condições operacionais (GHARSALLAOUI et al., 2007).

3.4.2 Variáveis operacionais da secagem por atomização

A vazão de alimentação exerce influência sobre a umidade do produto em pó, pois a quantidade de produto que alimenta o secador define o tempo de contato do mesmo com o ar de secagem (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2013). A utilização de altos fluxos de alimentação, em combinação com uma baixa temperatura do ar de entrada pode resultar em produtos com partículas aglomeradas, indicando que o processo não atingiu um nível de secagem adequado (SILVA et al., 2013).

A maior eficiência na secagem de alimentos ricos em compostos bioativos pode ser alcançada com o auxílio da adição de biopolímeros à amostra a ser seca, como: gomas naturais (goma arábica, alginatos e carragenanos), proteínas (proteínas do leite e gelatinas), maltodextrinas, ceras e misturas desses produtos. A escolha do biopolímero depende das características do produto a ser seco (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Carboidratos como a maltodextrina são os agentes carreadores mais utilizados em *spray drying*, principalmente devido à sua alta solubilidade, baixa higroscopicidade e baixo custo (KHA; NGUYEN; ROACH, 2010). Entretanto, as maltodextrinas não são muito eficientes quando utilizadas em compostos que apresentam propriedades interfaciais, devendo ser substituídas por compostos que apresentem melhor atividade superficial. Nesses casos, as proteínas por possuírem caráter anfifílico (hidrofílico e hidrofóbico) são melhores para encapsular os materiais hidrofílicos (GHARSALLAOUI et al., 2007).

A goma arábica é um dos agentes carreadores indicados como material de parede para núcleos lipofílicos, uma vez que, apresenta propriedade emulsificante, atribuída a presença de proteínas em sua estrutura; assim ela desempenha funções surfactante e encapsulante. A goma arábica é um polímero ramificado e complexo formado principalmente por unidades de D-

galactose e L-arabinose, que possui de 1 a 2% de proteínas (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015).

Um único agente carreador pode não apresentar todas as propriedades necessárias como um material de parede, em função da complexidade das matrizes alimentares. Nesses casos, é recomendado o uso de misturas de carboidratos, gomas e proteínas (GHARSALLAOUI et al., 2007).

As propriedades emulsificantes das proteínas são utilizadas em alimentos, a fim de formar emulsões estáveis. Assim, embora a goma arábica apresente uma menor fração de proteínas, a presença destas favorece a capacidade emulsificante do agente carreador, tornando-o um material de parede mais adequado para óleos (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015).

3.5 SECAGEM DA POLPA E DE EMULSÕES DE BURITI

Na literatura são encontrados alguns estudos que reportam a secagem do buriti, como: o estudo da cinética de secagem em estufa da polpa de buriti e a modelagem matemática do processo (ADEBAL et al., 2016; ANJOS; SILVA, 2015), a obtenção da farinha da casca do buriti (MORAIS et al., 2019) e a avaliação da farinha da polpa do buriti (LOUREIRO et al., 2013; CARNEIRO, CARNEIRO, 2011).

Quanto ao processo em *spray dryer*, encontram-se na literatura trabalhos que estudaram o óleo do buriti, como a pesquisa de Moser, Ferreira e Nicoletti (2019), na qual o óleo do buriti foi submetido ao processo de secagem em *spray dryer*, com o objetivo de microencapsular os carotenoides, utilizando proteína de grão de bico e pectina com alto teor de metoxila (HMP) como agentes encapsulantes. Neste trabalho foi avaliada a influência da temperatura do ar de secagem (154 -196 °C) e da vazão de alimentação (1,2 - 6,8 mL/min) sobre propriedades como: o rendimento do processo, a umidade, a retenção de carotenoides, dentre outras. A combinação dos agentes carreadores resultou em uma boa proteção para emulsão do óleo de buriti. Por sua vez, Ribeiro et al. (2020) produziram microcápsulas ricas em carotenoides a partir do óleo de buriti estabilizado com proteína de soja e pectina, adicionados de maltodextrina.

Locali-Pereira et al. (2022) também utilizaram uma emulsão de óleo de buriti como matéria prima no processo de microencapsulação, entretanto, o foco do estudo foi a aplicação do agente carreador maltodextrina, em combinação com diferentes proporções de farinha de feijão vermelho escuro (*Phaseolus vulgaris*) e o feijão mungo (*Vigna radiata*) e o acompanhamento da influência sobre as características das microcápsulas.

Com relação a utilização da polpa de buriti, Gomes et al. (2018b) estudaram a influência da concentração de maltodextrina (5, 10 e 15%) e da temperatura do ar de secagem (130, 150 e 170°C) sobre a qualidade dos pós da polpa de buriti obtida por *spray drying*, através das propriedades umidade, teor de cinzas, acidez e densidade.

As emulsões representam um sistema coloidal, constituído por uma fase contínua e uma fase dispersa, na forma líquida. Uma característica indispensável para a existência de uma emulsão é a imiscibilidade entre duas fases. A classificação das emulsões pode ocorrer em função da disposição das fases, tais como: o óleo pode estar disperso na fase aquosa (O/A) ou a água pode estar dispersa na fase oleosa (A/O) (RITZOULIS, 2013).

Uma alternativa eficiente para o processo de secagem em *spray dryer*, de suspensões com núcleo lipofílico, é a combinação da goma arábica, com outros compostos com melhor capacidade emulsificante (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015). Neste sentido, alguns trabalhos utilizaram a lecitina de soja como emulsificante (HU et al., 2016; LEHN et al., 2018). Os emulsificantes são compostos capazes de manter a homogeneidade de substâncias com propensão à separação de fases, podendo ser dos grupos lipofílicos ou hidrofílicos (HUI et al., 2006).

Na secagem por *spray drying* de óleos e misturas de óleo e água são utilizados agentes surfactantes, que possibilitam a estabilidade das emulsões formadas. Entre os agentes com essa natureza podem ser citados: a quitosana (LI et al., 2013), a goma arábica, a caseína, a beta-ciclodextrina (LI et al., 2015), amidos modificados (PARAMITA; FURUTA.YOSHII, 2012) e ainda a combinação de goma arábica, maltodextrina e Tween 80 (EDRIS et al., 2016). Nollet e Toldrá (2015) citam proteínas, surfactantes, lipídeos e polissacarídeos como agentes que apresentam a capacidade de estabilizar sistemas coloidais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

4.1.1 Obtenção da polpa

A matéria-prima utilizada no estudo foi o buriti (*Mauritia flexuosa*, L) (≈50 kg de frutos), provenientes do município de Abaetetuba (1°43'46" Sul, 48°52'27" Oeste), no estado do Pará. O acesso a espécie utilizada está cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SISGEN, sob o número AC1D25A. Após a coleta, os frutos foram transportados para o Laboratório de Fontes Amiláceas da FEA/UFPA, onde foram selecionados, lavados e higienizados com solução a 100 mg/L de cloro ativo.

Para facilitar a remoção da polpa, os frutos foram inicialmente submetidos a imersão em água com temperatura de 50°C por 19 horas em uma caixa isotérmica. Devido a inexistência de dados na literatura, sobre a melhor condição de tempo e temperatura para o amolecimento do buriti, foram realizados ensaios preliminares, a partir dos quais foi estabelecida a condição utilizada. Após o amolecimento, os frutos foram despulpados manualmente, com auxílio de uma lâmina de inox. Em seguida, a polpa (≈6 kg de polpa) foi homogeneizada em um liquidificador industrial e acondicionada em embalagens de polietileno, as quais foram envoltas com papel alumínio como proteção à luz. A polpa foi então congelada a -18°C e mantidas nesta condição até o momento dos experimentos.

4.1.2 Teste preliminar de amolecimento da polpa

Para um melhor aproveitamento em polpa é necessário que os frutos sejam submetidos a uma etapa de amolecimento térmico, para a separação da casca e da polpa. Para tal, foi investigada a influência de diferentes condições de amolecimento térmico do fruto, tomando como referência a degradação dos carotenoides total. Foram utilizados três sistemas de amolecimento (caixa isotérmica, banho-maria e autoclave), sendo testado três temperaturas para o amolecimento em caixa isotérmica (50, 60 e 70°C), e uma temperatura para os dois outros sistemas (60°C em banho-maria e 120°C em autoclave); conforme discriminado na Tabela 3. Posteriormente, os frutos foram descascados e despulpados manualmente, e a polpa foi analisada quanto ao teor de carotenoides totais, como indicado no item 4.3.2, segundo o método espectrofotométrico, proposto por Rodriguez-Amaya e Kimura (2004). O processo de cozimento foi interrompido (tempo de amolecimento), quando o amolecimento do fruto permitiu o despulpamento, sem dificuldade.

Tabela 3. Diferentes condições de amolecimentos aplicados aos frutos de buriti.

Método	Sistema de amolecimento	Temperatura	Tempo
1	Caixa isotérmica ^a	70°C	24h
2	Caixa isotérmica ^a	60°C	29h
3	Caixa isotérmica ^a	50°C	19h
4	Banho-maria	60°C	5h
5	Autoclave	120°C	25 min

^a Imersão dos frutos em água na temperatura de trabalho dentro da caixa isotérmica e manutenção da caixa fechada pelo tempo especificado.

4.1.3 Agente carreador e emulsificante

O agente carreador utilizado foi a Goma Arábia (Êxodo, Sumaré, SP, Brasil), devido a polpa apresentar um elevado teor de lipídios. A lecitina de soja comercial (Grings, São João da Boa Vista, SP, Brasil) foi utilizada como emulsificante, para evitar a separação de fases devido à alta concentração de lipídeos na polpa.

4.2 SPRAY DRYER

Para a realização dos ensaios de secagem foi utilizado um secador de bancada do tipo *Mini Spray Dryer* Büchi B-290 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland). As condições operacionais do equipamento foram definidas com base nas recomendações do fabricante. O equipamento operou com fluxo de corrente paralelo, bico injetor com 0,7 mm de diâmetro interno, pressão do ar comprimido de 0,8 mPa e vazão do ar de secagem de 35 m³/h.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO

4.3.1 Análise biométrica

Para a determinação dos parâmetros biométricos foram utilizados 100 frutos de buriti. Foram determinados os pesos do fruto, da casca, da polpa, da camada fibrosa e da semente, e as medidas do diâmetro longitudinal e transversal (diâmetro maior e menor) do fruto e da semente. As pesagens foram realizadas em balança analítica (0,0001 g) (BEL, M214Ai) e as medidas foram realizadas com paquímetro de aço (Mtx- 3163159). Na Figura 2 são apresentados o fruto inteiro sendo medido, o fruto descascado evidenciando a polpa e uma visão das sementes com a fração fibrosa externa.

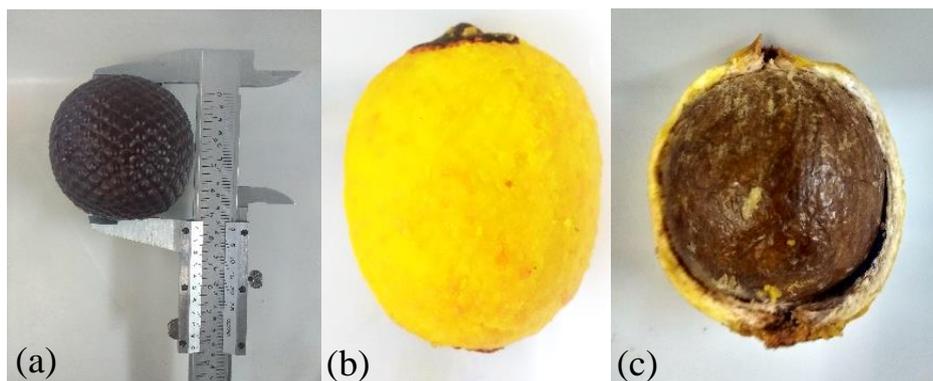


Figura 2. Visão do fruto do buriti: (a) fruto íntegro sendo medido com paquímetro; (b) fruto descascado evidenciando a polpa; (c) semente evidenciando a camada fibrosa.

4.3.2 Composição centesimal

Para a caracterização da polpa do buriti foram realizadas, em triplicata, as seguintes análises, cujos resultados foram expressos em base úmida:

Umidade

Determinada em estufa com circulação de ar a 105°C, de acordo com o método 972.20 (AOAC, 1997).

Cinzas

Determinada por carbonização da amostra, em forno mufla a 550°C, de acordo com o método 940.26 (AOAC, 1997).

Lipídeos

A fração lipídica foi determinada por extração em Soxhlet, utilizando como solvente o éter de petróleo, de acordo com o método 968.20 (AOAC, 1997).

Proteínas

O teor de proteína bruta foi determinado pela técnica de Kjeldahl, de acordo com o método 920.152 (AOAC, 1997). Para conversão da percentagem de nitrogênio em proteínas o fator 6,25 foi utilizado.

Açúcares totais

Os açúcares totais foram determinados pelo método titulométrico, utilizando soluções de Fehling, de acordo com a AOAC (1997).

Carotenoides

O teor de carotenoides totais foi determinado pelo método espectrofotométrico, proposto por Rodriguez-Amaya e Kimura (2004), utilizando a polpa liofilizada. A leitura foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 450 nm. O cálculo do teor de carotenoides totais foi realizado pela Equação 1 e expresso em μg de β -caroteno/g da amostra.

$$CT = \frac{A \times V \times 10^4}{A_{1cm}^{1\%} \times P} \quad (1)$$

onde:

A = absorvância da solução no comprimento de onda de 450 nm;

V = volume final da solução (mL);

CT = teor de carotenoides totais ($\mu\text{g/g}$);

P = massa amostra (g);

$A_{1cm}^{1\%}$ = coeficiente de absorção específico do β -caroteno em éter de petróleo, 2592 (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004).

Cor Intrumental

A determinação dos parâmetros de cor foi realizada por colorimetria *Tristimulus*, através de leitura em colorímetro portátil da marca Konica-Minolta, pelo sistema *CIELAB*, componente especular incluso, equipado com fonte de luz D65 e ângulo de observação de 2°. Foram determinados os parâmetros L^* (luminosidade), a^* cromaticidade vermelho e verde, b^* cromaticidade amarelo e azul, C^* corresponde ao valor de croma, que representa a intensidade da cor (saturação) e h° ao ângulo de tonalidade.

4.4 PREPARAÇÃO DAS EMULSÕES

Para preparação da emulsão, a polpa do buriti foi inicialmente diluída em água na proporção de 1:3 (m/v). A mistura foi homogeneizada em um liquidificador industrial e passada em peneira com malha 32 *mesh*. Para garantir a estabilidade da emulsão foi adicionada a lecitina

de soja, na proporção de 5% (definida em testes), na mistura. Em seguida, a goma arábica (agente carreador) foi adicionada à mistura de acordo com as quantidades especificadas na matriz de experimentos (Tabela 5). A mistura foi então homogeneizada a 22.000 rpm por 5 min, para garantir a emulsificação (Ultra Stirrer, Ultra 380). As quantidades de lecitina de soja e de goma arábica adicionadas em cada formulação foram calculadas com base na matéria seca da amostra. A emulsão foi então injetada no *spray dryer*, em condições de secagem específica.

Foram realizados testes visuais de emulsificação, com 2, 3 e 5% de lecitina (adicionados sobre à matéria seca da amostra), a fim de determinar a quantidade mínima de lecitina capaz de assegurar a estabilidade da emulsão da solução de alimentação. A quantidade mínima de lecitina de soja eficiente na emulsificação foi de 5%, sendo esta quantidade de lecitina de soja adicionada em todas as amostras submetidas à secagem.

4.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Um delineamento composto central rotacional (DCCR) foi utilizado para avaliar os efeitos das variáveis operacionais de entrada (variáveis independentes): temperatura de entrada do ar de secagem, vazão de alimentação da amostra e concentração do agente carreador, sobre as respostas (variáveis dependentes): umidade, atividade de água, higroscopicidade, teor de carotenoides totais, índice de solubilidade em água (ISA) e o parâmetro de cor instrumental b^* (parâmetro da cor característica do fruto: amarela), da polpa de buriti em pó obtida. O valor de α ($\pm 1,68$) foi obtido a partir do número de variáveis independentes ($k = 3$). Os níveis das variáveis de entrada são apresentados na Tabela 4. Foi utilizado um DCCR do tipo 2^3 , com oito pontos fatoriais (níveis ± 1), seis pontos axiais (uma variável no nível $\pm 1,68$) e quatro repetições no ponto central (nível 0); totalizando os 18 ensaios discriminados na Tabela 5.

Tabela 4. Níveis das variáveis operacionais de entrada para o processo de secagem da polpa de buriti em *spray dryer*.

Variáveis de entrada		Níveis				
Originais (unidade)	Codificadas	-1,68	-1	0	+1	+1,68
C (%)	X ₁	20,0	28,1	40	51,9	60
V (mL/min)	X ₂	7,0	9,0	12,0	15	17
T (°C)	X ₃	130	142	160	178	190

C (X₁): Concentração de goma arábica; V (X₂): Vazão de alimentação da amostra; T (X₃): Temperatura de entrada do ar de secagem.

Tabela 5. Matriz do planejamento da secagem da polpa de buriti em *spray dryer*.

Ensaio	Variáveis de entrada codificadas		
	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1,00	-1,00	-1,00
2	1,00	-1,00	-1,00
3	-1,00	1,00	-1,00
4	1,00	1,00	-1,00
5	-1,00	-1,00	1,00
6	1,00	-1,00	1,00
7	-1,00	1,00	1,00
8	1,00	1,00	1,00
9	0,00	0,00	-1,68
10	0,00	0,00	1,68
11	0,00	-1,68	0,00
12	0,00	1,68	0,00
13	-1,68	0,00	0,00
14	1,68	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00

X₁: Concentração de goma arábica; X₂: Vazão de alimentação da amostra; X₃: Temperatura de entrada do ar de secagem.

Após a adição de lecitina e do agente carreador, as amostras foram submetidas a secagem em *spray dryer*. Os pós obtidos foram acondicionados em embalagens de vidro para evitar o contato com o oxigênio, os quais foram revestidos com papel alumínio para minimizar a ação da luz. As amostras foram mantidas a -18°C, até o momento das análises.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DO BURITI EM PÓ

Para a caracterização da polpa do buriti em pó foram realizadas as análises de carotenoides totais e o parâmetro de cor instrumental b*, conforme metodologias descritas no item 4.3.2; além das seguintes análises:

Umidade e Atividade de água (a_w)

A umidade dos pós foi determinada pelo método gravimétrico, em estufa à vácuo a 70 °C, até peso constante, de acordo com o método 926.12 (AOAC, 1996). A atividade de água foi determinada por leitura direta um termohigrômetro digital, com controle de temperatura (4TEV, Aqualab, Decagon Devices, EUA), a 25 °C.

Higroscopicidade

A higroscopicidade dos pós foi determinada pela metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75% a 25°C). Após 7 dias, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade da amostra foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100 g base seca – bs).

Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O ISA foi determinado pela metodologia proposta por Anderson et al. (1969), a partir da relação entre o peso do resíduo da evaporação e o peso da amostra, conforme a Equação 2.

$$\% \text{ ISA} = \frac{\text{PRE}}{\text{PA}} \times 100 \quad (2)$$

onde: ISA = índice de solubilidade em água (% bs); PRE = peso do resíduo da evaporação (g); PA = peso da matéria seca da amostra (g).

4.7 OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DA POLPA DE BURITI EM *SPRAY DRYER* E VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

Após avaliar as superfícies de resposta geradas pelo modelo polinomial proposto pelo software, que melhor se ajustou aos dados experimentais, do processo de secagem da polpa do buriti, em *spray dryer*, a Função Desejabilidade foi utilizada na otimização simultânea para as respostas. Os valores mínimo, médio e máximo de cada respostas (umidade, a_w , higroscopicidade, teor de carotenoides totais, ISA e parâmetro b^*) foram atribuídos com valores no intervalo de 0 e 1, onde 0 representa um valor completamente indesejado e 1 o valor mais desejável (DERRINGER; SUICH, 1980). Para validar a metodologia utilizadas foram realizados experimentos de secagem da polpa do buriti, em triplicata, nas condições definidas como ótimas para o processo de secagem em *spray dryer*. Para tal, foram avaliadas as mesmas respostas utilizadas como variáveis dependentes, no planejamento experimental.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a avaliação do planejamento experimental foi realizada a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância ($p \leq 0,05$), o teste de falta de ajuste e a determinação dos coeficientes de regressão do modelo polinomial de segunda ordem (Equação 3). A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade foram utilizadas para definir as condições

ótimas, para o processo de secagem em *spray dryer*, da polpa do buriti. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *Software* Statistica 14.0.

$$Y = \beta_0 + \beta_T T + \beta_V V + \beta_C C + \beta_{TT} T^2 + \beta_{VV} V^2 + \beta_{CC} C^2 + \beta_{TV} TV + \beta_{TC} TC + \beta_{VC} VC \quad (3)$$

Onde, Y representa as variáveis dependentes; T , V e C são as variáveis independentes: temperatura de entrada do ar de secagem, vazão de alimentação da amostra e concentração de goma arábica, respectivamente; β_0 é o coeficiente de regressão; β_T , β_V e β_C são os coeficientes lineares; β_{TT} , β_{VV} e β_{CC} são os coeficientes quadráticos, e β_{TV} , β_{TC} e β_{VC} são os coeficientes de interação.

5 RESULTADOS

5.1 TESTE DE AMOLECIMENTO

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de carotenoides totais, na polpa do buriti, após os frutos serem submetidos as diferentes condições de amolecimento térmico. Conforme pode ser observado, as diferentes condições de amolecimento influenciaram no teor de carotenoides total da polpa. Sendo que os frutos submetidos as menores temperaturas (50 e 60°C), em caixa isotérmica, apresentaram os maiores teor de carotenoides de 320,64 e 249,89 µg β-caroteno/g de polpa, respectivamente; indicando uma maior retenção dos carotenoides, para esta condições de amolecimento. Os frutos submetidos ao amolecimento, em caixa isotérmica a 70°C, foram os que apresentaram o menor teor de carotenoides totais (43,44 µg β-caroteno/g de polpa), entre todas as condições estudadas.

Tabela 6. Teor de carotenoides totais na polpa de buriti amolecida nos diferentes procedimentos.

Sistema de amolecimento (Temperatura)	Carotenoides totais (µg β-caroteno/g polpa)	Amolecimento
Caixa isotérmica (70°C)	43,44 ± 0,00	SIM
Caixa isotérmica (60°C)	249,89 ± 6,54	SIM
Caixa isotérmica (50°C)	320,64 ± 3,23	SIM
Banho-maria (60°C)	87,86 ± 2,58	SIM
Autoclave (120°C)	121,27 ± 8,04	NÃO

Comparando o amolecimento dos frutos em banho-maria e em caixa isotérmica, na mesmas condição de temperatura (60°C), é possível observar que os frutos amolecidos em banho-maria apresentaram um teor bem menor de carotenoides (87,86 µg β-caroteno/g de polpa). Este resultado pode ser atribuído ao fato de que no tratamento em banho-maria, os frutos permaneceram a 60°C durante todo o tempo do tratamento, enquanto no tratamento em caixa isotérmica, ocorreu a redução progressiva da temperatura, durante o tempo de contato. Rodrigues et al. (2013) observaram a diminuição no teor de carotenoides totais, em amostras de óleo de piqui submetidas ao aquecimento. O tratamento em autoclave resultou em frutos com teor de carotenoides de 121,27 µg β-caroteno/g de polpa, porém o amolecimento dos frutos não foi suficiente para permitir o descascamento e o despulpamento eficiente dos frutos. Com base nos resultados, para o amolecimento, os frutos foram imersos em água a 50°C, dentro de uma caixa isotérmica, onde permaneceram por 19 horas.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO DE BURITI

Os resultados das análises biométrica e da composição mássica dos frutos de buriti são apresentados nas Tabelas 7 e 8. A forma elíptica esteve presente em praticamente todos os frutos de buriti estudados. O peso médio dos frutos estudados (61 g) está dentro da faixa reportada por Sampaio (2011), que identificou frutos de buriti com pesos entre 15 e 75 g. Porém, o peso médio dos frutos (61,02 g) foi três vezes superior ao encontrado por Matos et al. (2014), para frutos de buriti provenientes do estado de Minas Gerais (19,6 g). O peso da semente (28,28 g) diferiu também do valor encontrado por Matos et al. (2014) ($6,98 \pm 2,52$ g). Os frutos estudados destacam-se ainda por terem apresentado uma maior medida longitudinal (5,35 cm para o fruto e 3,74 cm para a semente), quando comparados com os frutos estudados por Matos et al. (2014) (4,49 cm para o fruto e 2,46 cm para a semente). Porém, Barbosa, Lima e Mourão Junior (2010) observaram valores para o comprimento dos frutos, na faixa de 3,5 a 5,6 cm.

Tabela 7. Biometria do buriti.

Amostra	Massa / unidade	Média \pm desvio-padrão
Fruto	Peso do fruto (g)	$61,02 \pm 11,75$
	Peso da casca (g)	$11,44 \pm 2,14$
	Peso da polpa (g)	$10,30 \pm 3,55$
	Medida longitudinal (cm)	$5,35 \pm 0,51$
	Diâmetro maior (cm)	$4,83 \pm 0,31$
	Diâmetro menor (cm)	$4,75 \pm 0,31$
Semente	Peso da semente (g)	$28,28 \pm 6,52$
	Medida longitudinal (cm)	$3,74 \pm 0,44$
	Diâmetro maior (cm)	$3,47 \pm 0,28$
	Diâmetro menor (cm)	$3,33 \pm 0,29$

As médias dos diâmetros maior e menor, tanto dos frutos, quanto das sementes, foram da mesma ordem de grandeza, 4,83-4,75 cm para os frutos e 3,47-3,33 cm para as sementes. O diâmetro do fruto foi próximo da faixa reportada por Barbosa, Lima e Mourão Junior (2010) (3,3-4,3 cm), para o buriti.

Na caracterização física do buriti foi observado que o maior componente é a semente, que representa aproximadamente a metade do peso do fruto. A composição mássica dos frutos estudados está de acordo com os valores encontrados por Melo et al. (2011), que observaram 19% de casca, 16,1% de camada fibrosa e 43,1% de semente, para frutos de buriti. A quantidade de polpa observada pelos autores, por sua vez, foi superior (21,8%).

Tabela 8. Composição mássica do buriti, em média.

Parte	Percentagem (%)
Casca	18,90
Polpa	16,76
Camada fibrosa	17,07
Semente	46,18

Na Tabela 9 são apresentados a composição e as principais propriedades físico-químicas e físicas da polpa de buriti. A umidade da polpa do buriti estudado (59,51%) está de acordo com o valor encontrado por Sandri et al. (2017) (59,69%), porém foi superior ao valor reportado por Melo et al. (2011) (50,50%) e inferior aos valores observados por Castro et al. (2014) (66,07%) e por Cândido, Silva e Agostini-Costa (2015) (64,45-74,47%). O teor de sólidos totais na polpa do fruto foi de 40,49%. A quantidade de cinzas (0,99%) foi superior ao encontrado por Melo et al. (2011) (0,63%) e da mesma ordem de grandeza do valor encontrado por Sandri et al. (2017) (1,04%) e por Castro et al. (2014) (1,05%). O buriti, bem como outras frutas como mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) e o araçá (*Psidium guineense* Swartz) pode apresentar quantidades significativas de minerais, como: cálcio, potássio, fósforo, magnésio e ferro (SCHIASSI et al., 2018).

Tabela 9. Composição físico-química da polpa do buriti.

Propriedade	Média* ± desvio-padrão
Umidade (%)	59,51 ± 0,91
Cinzas (%)	0,99 ± 0,01
Lipídeos (%)	19,73 ± 0,61
Proteínas (%)	1,71 ± 0,03
Açúcares totais (%)	4,26 ± 0,21
Carboidratos (%)	18,06 ± 0,00
a _w	0,97 ± 0,03
pH	3,56 ± 0,02
Acidez total titulável (g de ácido cítrico/100 g)	0,81 ± 0,03
Carotenóides totais (µg β-caroteno/g)	318,05 ± 6,86
Cor	
L*	53,03 ± 1,31
a*	18,93 ± 0,85
b*	53,10 ± 1,83
C*	56,47 ± 2,06
h°	70,42 ± 0,48

*Resultados expressos em relação a polpa fresca.

De acordo com a composição, os lipídeos são os compostos presentes em maior quantidade na polpa do buriti (19,73%). Os frutos estudados apresentaram um teor de lipídios similar as quantidades observadas por Sandri et al. (2017) (20,92%) e Melo et al. (2011) (19,02%), porém foi bem superior aos valores observados por Fujita et al. (2014) (14%) e Schiassi et al. (2018) (7,72%). De acordo com Ribeiro, Coelho e Barreto (2012), apenas 22,2% do óleo do buriti é composto por ácidos graxos saturados, e os outros 77,8% são ácidos graxos insaturados, o que indica um excelente perfil de ácidos graxos. Os principais ácidos graxos encontrados na polpa do buriti são os ácidos oléico e palmítico (CUNHA et al., 2012), enquanto nas cascas os ácidos graxos majoritários são os ácidos oléico e isopalmítico (FORERO-DORIA et al., 2015). Batista et al. (2012) observaram a eficiência do óleo de buriti no processo de cicatrização cutânea em ratos, efeito associado a presença de carotenoides e vitamina E, no óleo, que apresentam o efeito positivo na reparação tecidual, pela ligação de radicais livres ao ferimento, e resulta na proteção da pele.

O teor de proteínas presentes na polpa dos frutos analisados (1,71%) foi da mesma ordem de grandeza do valor observado por Schiassi et al. (2018) (1,43%), porém maior do que o valor encontrada por Fujita et al. (2014) (0,26%) e menor do que os valores reportados por Sandri et al. (2017) (2,97%) e Melo et al. (2011) (3,74%). O teor de açúcares totais observado nos frutos (4,26%) foi inferior ao encontrado por Sandri et al. (2017) (7,28 %), mas bem maior do que o valor reportado por Schiassi et al. (2018) (1,32%). A diferença entre os valores encontrados no trabalho e reportado na literatura podem ser justificados pela influência das condições ambientais e pela localização geográfica em que os frutos se desenvolvem (TURNER et al., 2021)

A a_w (0,97) da polpa dos frutos foi similar a observada por Sandri et al. (2017) (0,98) e Castro et al. (2014) (0,99). A a_w é um parâmetro associado com o controle da taxa de deterioração de alimentos. Produtos frescos apresentam a_w elevadas, por isso são altamente perecíveis, e tendem a deteriorar mais rapidamente (FELLOWS, 2006). O valor de pH encontrado na polpa do buriti (3,56) foi da mesma ordem de grandeza dos valores reportados por Fujita et al. (2014) (3,83), Sandri et al. (2017) (3,78) e por Castro et al. (2014) (3,47). A partir desses valores de pH, o buriti pode ser classificado como uma fruta ácida ($\text{pH} \leq 4,6$). Segundo a Agência Food and Drug Administration (2016) a maioria das frutas apresenta naturalmente essa característica. A acidez titulável (0,81g ácido cítrico/100g) ficou próxima do valor observado por Fujita et al. (2014) (0,68g ácido cítrico/100g) e maior do que o valor encontrada por Schiassi et al. (2018) (0,47g ácido cítrico/100g).

A quantidade de carotenoides encontrada no buriti estudado (318,05 $\mu\text{g/g}$) está dentro da faixa observada por Vasquez-Ocmín et al. (2010) (264,60 a 324,42 $\mu\text{g/g}$), porém foi bem superior às quantidades reportadas por Schiassi et al. (2018) (46,50 $\mu\text{g/g}$) e Sandri et al. (2017) (100,86 $\mu\text{g/g}$). O principal carotenoide presente no óleo do buriti é o β -caroteno, seguido do α -caroteno (RIBEIRO; COELHO; BARRETO, 2012). O elevado teor de β -caroteno na polpa de buriti revela o valor nutricional do fruto, uma vez que, dentro do grupo dos carotenoides, o β -caroteno destaca-se por ter a função específica de precursor da vitamina A (MELÉNDEZ-MARÍNEZ, 2019). Além disso, o β -caroteno possui a capacidade de reagir com o oxigênio singlete, inibindo a sua ação no organismo e, conseqüentemente, a geração de células pré-cancerígenas (ASHURST, 2016), e tem expressivo potencial para as indústrias alimentícia, química e farmacêutica, atribuído ao seu papel como corante natural (MALACRIDA; JORGE, 2012).

De acordo com os parâmetros de cor instrumental, a polpa do buriti apresentou uma tendência a cor clara ($L^* = 53,03$), com tendência ao avermelhado ($a^* = 18,93$), porém a coloração predominante é a amarela ($b^* = 53,10$). O parâmetro a^* indica a cor avermelhada em valores positivos e verde em valores negativos, o parâmetro b^* assume a cor amarela em valores positivos e a cor azul em valores negativos (RODRÍGUEZ-PULIDO et al., 2017). Resultados semelhantes foram observados por Sandri et al. (2017) ($L = 59,68$; $a^* = 22,87$ e $b^* = 57,66$), para a polpa do buriti. A coloração amarela característica da polpa do buriti pode ser atribuída ao elevado teor de β -caroteno, sendo a intensidade da cor (saturação) caracterizada pelo parâmetro de cromaticidade ($C^* = 56,47$). O parâmetro de cor h° , localiza a polpa do buriti na região de coloração amarelo avermelhado ($0^\circ < h^\circ < 90^\circ$), sendo essa a percepção da cor. De maneira semelhante, Best et al., (2020) também encontraram faixas próximas a esses resultados (82,94 a 88,03) para diferentes variedades morfologias de *Mauritia flexuosa*, utilizando iluminante D65 e ângulo de referência 10° .

5.3 SECAGEM DA POLPA

5.3.1 Planejamento experimental

Na Tabela 10 são apresentados a matriz e os resultados dos experimentos realizados para a secagem da polpa de buriti em *spray dryer*. A umidade da polpa de buriti em pó obtida variou de 0,25 a 1,74%, cuja faixa está em concordância com outros produtos de frutas em pó, obtidos por secagem em *spray dryer*. Fruta com característica semelhante ao buriti, o açaí, seco em temperaturas entre 140 a 200°C, utilizando a goma arábica como agente carreador, apresentou umidade entre 0,51 e 1,37% (TONON; FREITAS; HUBINGER, 2011). A polpa de

pequi, que também tem características semelhantes ao buriti, quando seca em temperaturas entre 140°C e 200°C produziu pós com umidades inferiores a 2% (SANTANA et al., 2014).

A secagem em *spray dryer* permite a remoção da umidade, por meio da aplicação de calor (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015), o que foi observado em todas as condições experimentais aplicadas. A umidade é uma propriedade importante do pó, uma vez que está intimamente ligada com a eficiência da secagem e com a vida útil do produto (SANTANA et al., 2016).

Tabela 10. Matriz de planejamento com os resultados das respostas obtidos nas diferentes condições de secagem da polpa de buriti em *spray dryer*.

Ensaio	Variáveis de entrada Real (Codificada)			Variáveis de respostas					
	C (%)	V (mL/min)	T (°C)	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
1	28,1 (-1)	9 (-1)	142 (-1)	1,25	0,219	22,07	86,63	73,96	35,76
2	51,9 (1)	9 (-1)	142 (-1)	0,25	0,142	21,13	49,12	78,39	24,29
3	28,1 (-1)	15 (1)	142 (-1)	1,74	0,199	23,74	54,00	72,88	32,21
4	51,9 (1)	15 (1)	142 (-1)	1,04	0,150	20,34	40,07	74,71	26,12
5	28,1 (-1)	9 (-1)	178(1)	0,75	0,171	22,48	87,97	71,04	32,13
6	51,9 (1)	9 (-1)	178 (1)	1,23	0,174	20,69	60,74	80,00	28,46
7	28,1 (-1)	15 (1)	178 (1)	0,42	0,158	21,70	87,64	69,82	34,41
8	51,9 (1)	15 (1)	178 (1)	0,44	0,159	20,43	56,63	76,80	29,67
9	40,0 (0)	12 (0)	130 (-α)	1,66	0,147	22,26	52,05	75,23	28,23
10	40,0 (0)	12 (0)	190 (+α)	0,62	0,184	22,72	55,73	77,29	32,50
11	40,0 (0)	7 (-α)	160 (0)	0,83	0,198	20,28	84,21	74,91	32,80
12	40,0 (0)	17 (+α)	160 (0)	0,82	0,172	21,77	44,67	75,90	26,26
13	19,9 (-α)	12 (0)	160 (0)	1,29	0,201	23,09	77,46	70,93	33,50
14	60,0 (+α)	12 (0)	160 (0)	0,75	0,170	20,75	48,51	79,15	23,85
15	40,0 (0)	12 (0)	160 (0)	1,07	0,198	22,14	50,84	74,76	28,40
16	40,0 (0)	12 (0)	160 (0)	1,18	0,194	22,89	48,71	76,29	27,98
17	40,0 (0)	12 (0)	160 (0)	1,20	0,191	22,69	33,37	75,88	26,53
18	40,0 (0)	12 (0)	160 (0)	1,11	0,206	22,76	51,81	76,42	29,20

C: concentração de goma arábica; V: vazão de alimentação do produto; T: temperatura de entrada do ar; X₁: umidade (g/100 g); X₂: atividade de água (adimensional); X₃: higroscopicidade (g/100 g bs); X₄: teor de carotenoides (µg/g); X₅: ISA (% bs); X₆: parâmetro b* de cor.

A a_w do buriti em pó variou de 0,142 a 0,219, resultados estes semelhantes aos reportados para o açaí em pó (0,137-0,257) (TONON; FREITAS; HUBINGER, 2011), a pupunha em pó (0,170-0,220) (ORDOÑEZ-SANTOS; MARTÍNEZ-GIRÓN; VILLAMIZAR-VARGAS, 2018), o óleo de Gac (*Momordica cochinchinensis*) em pó (0,23-0,43) (KHA et al.

2014) e a polpa de pequi em pó (0,13-0,30) (SANTANA et al., 2014); produtos obtidos por secagem em *spray dryer*. Os baixos níveis de a_w observados para produtos em pó obtidos por *spray drying* representam uma vantagem da técnica, pois favorecem a estabilidade do produto durante o armazenamento (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015).

A higroscopicidade da polpa do buriti em pó variou de 20,28 a 23,74%. Resultados da mesma ordem de grandeza foram obtidos por Zotarelli et al. (2017), para manga em pó, obtida por *spray drying* na temperatura de 150°C (23,9-26,9%). Valores inferiores de higroscopicidade foram observados por Carmona et al. (2018), para o óleo extraído da fibra da palma, seco em *spray dryer* (15,41-18,33%), e por Santana et al. (2014), para a polpa de pequi em pó, obtida em *spray dryer* (11%). Um alimento em pó é classificado como não higroscópico, quando apresenta uma higroscopicidade inferior a 10%; muito higroscópico quando o valor se situa entre 20,1 e 25,0% e extremamente higroscópico quando o valor é superior a 25% (SCHUCK; DOLIVET, JEANTET, 2012). Assim, a polpa de buriti em pó é classificada como muito higroscópica, no domínio experimental. Alimentos que contem açúcares tendem a apresentar baixos valores de T_g e alta higroscopicidade, por isso podem formar partículas pegajosas e aglomeradas (JAYASUNDERA et al., 2011).

O teor de carotenoides totais no buriti em pó variou de 33,37 a 87,97 $\mu\text{g/g}$ de amostra. Santos et al. (2021) observaram teores de carotenoides totais de 43,7 a 88,9 mg/kg, no óleo de tucumã seco em *spray dryer* a 180°C, utilizando a goma arábica como agente carreador, nas proporções de 100 e 200 g por kg de matéria seca no óleo. Os níveis de retenção de carotenoides na polpa de buriti em pó, por sua vez, variaram de 10,13 a 26,60%, em relação à alimentação (333,23 $\mu\text{g/g}$). Moser, Ferreira e Nicoletti (2019) observaram níveis de retenção de 29,5 a 52,9% para carotenoides no óleo de buriti microencapsulado, utilizando um complexo de proteína de grão de bico e pectina, como agente carreador, temperatura do ar de secagem entre 154°C e 196°C e vazão de alimentação do produto de 1,2 a 6,8 mL/min.

O ISA dos pós obtidos variou de 69,82 a 80%, valores estes próximos aos encontrados por Santana et al. (2016), para a polpa de jussara (*Euterme edulis*) seca em *spray dryer* (78,8-93,5%), utilizando uma mistura ternária de goma arábica, amido modificado e proteína de soja e leite, como agente carreador. A solubilidade de um pó está relacionada com o processo de reidratação, sendo um critério essencial no controle de qualidade de pós a serem reincorporados a fases pré-definida (SCHUCK; DOLIVET; JEANTET, 2012). A goma arábica apresenta elevada solubilidade em água, devido ao alto número de grupo de hidrofílicos (hidroxilas) na molécula, o que favorece o aumento da solubilidade dos pós (CHEW; TAN; NYAM, 2018). Um ISA de 90,2% foi observado por Chew, Tan e Nyam (2018), para pó de *Hibiscus*

cannabinus L., seco em *spray dryer*, utilizando a goma arábica e ciclodextrina como agentes carreadores. González-Peña, Lozada-Ramírez e Ortega-Regules (2021) observaram valores de ISA na faixa de 86,64 a 90,46% para cenoura em pó obtida por *spray drying*.

Por ser o amarelo a coloração predominante da polpa do buriti, o parâmetro b^* foi utilizado para identificar possíveis alterações na cor do produto em pó inerentes das condições do processo de secagem (Figura 3). Os valores de b^* para os pós obtidos nas diferentes condições de secagem variaram entre 23,85 e 35,76, enquanto na polpa *in natura* o valor de b^* foi de 53,10 (Tabela 9). Caparino et al. (2012) observaram que os pós de manga obtidos em *spray dryer* (com agente carreador) apresentaram menores valores de b^* do que os pós obtidos por liofilização (sem agente carreador).



Figura 3. Pós obtidos nos ensaios do processo de secagem em spray: (a) 1; (b) 2; (c) 3; (d) 4; (e) 5; (f) 6; (g) 7; (h) 8; (i) 9; (j) 10; (k) 11; (l) 12; (m) 13; (n) 14; (o) 15; (p) 16; (q) 17 e (r) 18.

5.3.2 Análise estatística

5.3.2.1 Umidade

Na Tabela 11 são apresentados os resultados da ANOVA, para os efeitos das variáveis de entrada: concentração do agente carreador (C), vazão de alimentação (V) e temperatura do ar de secagem (T), sobre a resposta umidade da polpa de buriti em pó. Os efeitos de C (linear e quadrático), de V (quadrático) e de T (linear), e das interações CT e VT foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), para a resposta umidade.

A ordem dos efeitos das variáveis de entrada sobre a resposta umidade pode ser visualizada no gráfico de Pareto (Figura 4), onde pode ser observado que T (linear) e a interação VT foram os fatores de maior influência sobre a resposta umidade dos pós, seguido pela interação CT e o efeito linear de C. Quando um efeito é positivo implica dizer que ao passar de um nível menor para um nível maior ocorre o aumento na resposta estudada. Enquanto que, para um efeito negativo, ao passar de um menor nível para um maior nível ocorre a diminuição na resposta (RODRIGUES; LEMMA, 2009). O efeito linear observado para T, VT e C indica que o aumento destes fatores diminuiu a umidade dos pós, o que é desejável para o produto. Efeito similar foi observado por Karaaslan e Dalginç (2014), para o extrato de alcaçuz (*Glycyrrhiza glabra*) seco em *spray dryer*, em que o aumento da temperatura de secagem e da concentração do agente carreador resultou na diminuição da umidade do alcaçuz em pó. Quando temperaturas do ar de secagem elevadas são utilizadas, ocorrem maiores gradientes entre a alimentação e o ar de secagem, resultando em maiores taxas de transferência de calor para as gotículas a serem secas (THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2017).

Tabela 11. Efeitos estimados, erro puro e grau de probabilidade (p), para os fatores do modelo ajustado a resposta umidade.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	p*
Média	1,1458	0,0303	<0,0001
C	-0,3095	0,0329	0,0025
C ²	-0,1237	0,0341	0,0361
V	0,02378	0,0330	0,5246
V ²	-0,2677	0,0346	0,0045
T	-0,4694	0,033	0,0007
T ²	-0,0439	0,0346	0,2942
CV	-0,0407	0,0429	0,4136
CT	0,5519	0,0429	0,0010
VT	-0,6011	0,0429	0,0008

C: concentração do agente carreador (%), V: vazão de alimentação (mL/min) e T: temperatura do ar de secagem (°C); * $p \leq 0,05$

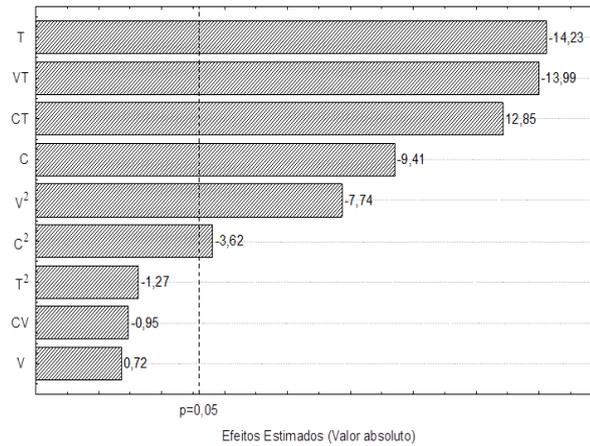


Figura 4. Gráfico de Pareto para a resposta umidade.

A significância da regressão e da falta de ajuste foram verificadas pelo teste F. O resultado da ANOVA para a regressão, com os valores de F calculado e tabelado e o coeficiente de determinação (R^2), para a resposta umidade da polpa de buriti em pó são apresentados na Tabela 12. A análise dos resultados mostram que o modelo ajustado para a resposta umidade (Equação 4) foi significativo e preditivo ($p \leq 0,05$), visto que apresentou regressão significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e falta de ajuste não significativa ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). O coeficiente de determinação indica que o modelo explicou 94% da variação total dos dados obtidos.

Tabela 12. ANOVA para a resposta umidade.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}	*F _{tabelado}	R ²
Regressão	2,6493	9	0,2944	13,44	3,39	0,937
Resíduos	0,1753	8	0,0219			
Falta de ajuste	0,1642	5	0,0328	8,90	9,01	
Erro puro	0,0111	3	0,0037			
Total	2,8246	17				

*Valores de F tabelado para $p \leq 0,05$

$$U \text{ (g/100g)} = -3,583 - 0,177C + 1,274V + 0,023T - 4,4 \times 10^{-4}C^2 - 1,5 \times 10^{-3}V^2 - 7,0 \times 10^{-4}T^2 - 5,7 \times 10^{-4}CV + 1,2 \times 10^{-3}CT - 5,5 \times 10^{-3}VT \quad (4)$$

A Figura 5 apresenta a distribuição de resíduos para o ajuste do modelo à resposta umidade. Os resíduos estão distribuídos aleatoriamente, em torno do zero, na faixa de -0,2 a

0,2, indicando a independência dos resíduos e uma variância constante dos resíduos gerados. É possível observar no gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 6), que todos os resultados estão distribuídos próximos à reta, evidenciando a normalidade dos resíduos (CALADO; MONTGOMERY, 2003; RODRIGUES; LEMMA, 2009). Estes resultados indicam que o modelo ajustado é considerado confiável e preditivo.

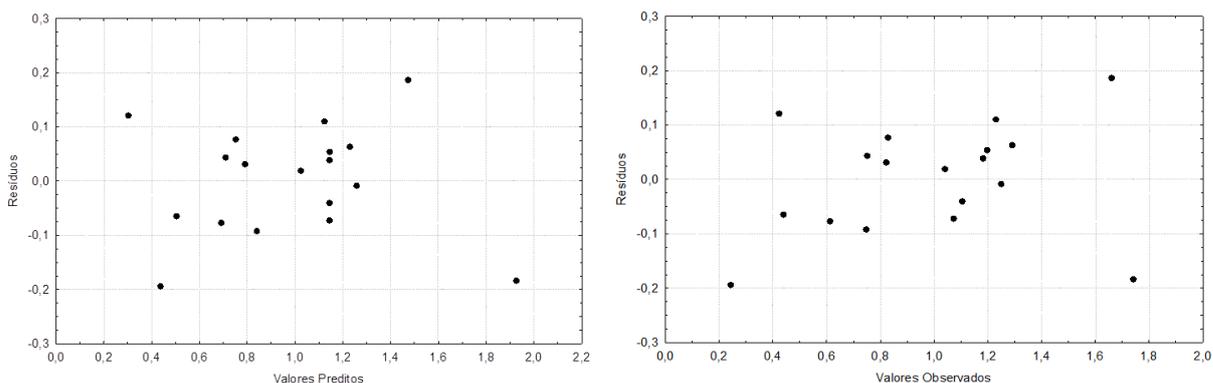


Figura 5. Distribuição dos resíduos para a resposta umidade.

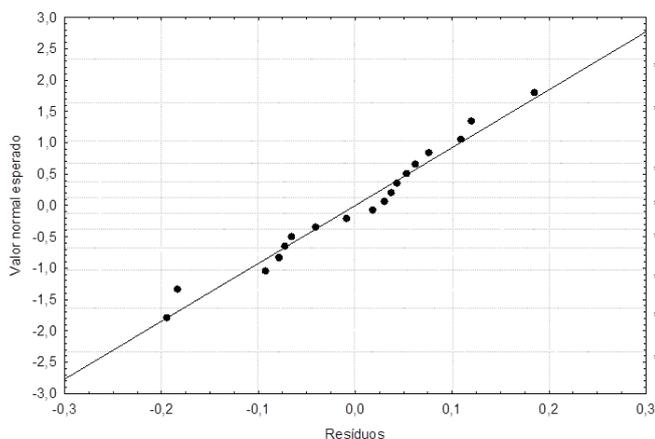


Figura 6. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta umidade.

A Figura 7 apresenta a superfície de resposta e a curva de nível geradas pelo modelo de regressão (Equação 4), para a resposta umidade. Para a interação TC (Figura 7A), o aumento de C em baixas T provocou a diminuição da umidade. A diminuição da umidade em pós com maior concentração de agente carreador pode ser atribuída ao aumento de sólidos na alimentação, que promove a redução da quantidade de água a ser eliminada (MUZAFFAR; KUMAR, 2015). Em $T > 170^{\circ}\text{C}$ e menores valores de C foram também obtidos pós com menores umidades. Neste caso, ainda que a concentração de sólidos na alimentação tenha sido menor, a temperatura elevada foi eficiente no processo de secagem. Para a interação TV é possível observar duas regiões que apresentaram menores valores de umidade (cor verde)

(Figura 7B). O aumento de V, em baixos valores de T provocou o aumento da umidade dos pós, o que pode ser atribuído à formação de partículas maiores, e a redução do tempo de contato da partícula com o ar de secagem (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008; TONTUL; TOPUZ, 2017). Para T maiores que 170°C, o efeito de V foi anulado, possibilitando a obtenção de pós com menor umidade, ainda que a V tenha sido alta.

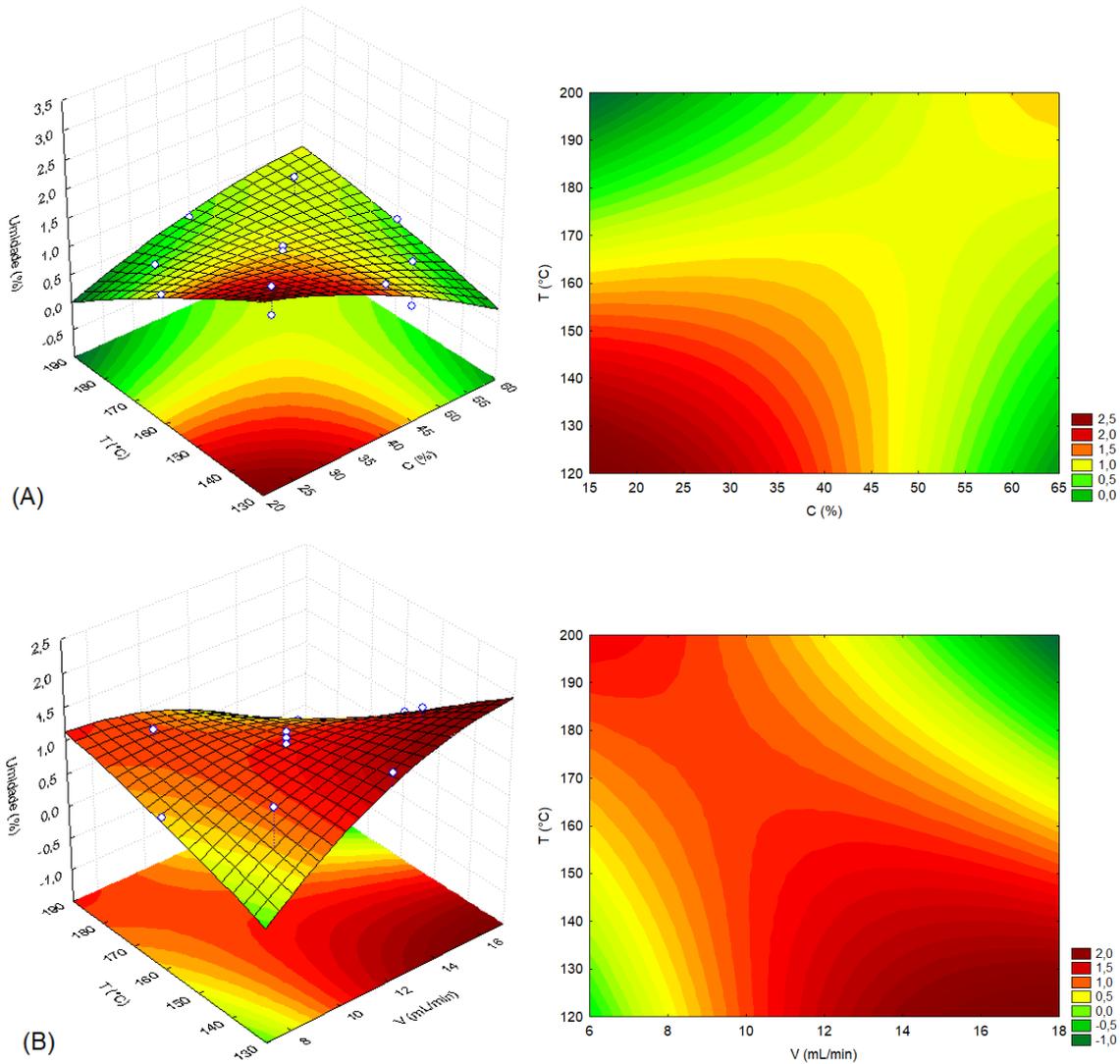


Figura 7. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente umidade, em função das variáveis independentes: (A) temperatura do ar de secagem (T) e concentração de goma arábica (C) (vazão de alimentação = 12 mL/min) e (B) temperatura do ar de secagem (T) e vazão de alimentação (V) (concentração de goma arábica = 40%).

5.3.2.2 Atividade de água

Na Tabela 13 são apresentados os resultados na ANOVA aplicada à resposta a_w da polpa de buriti em pó, obtida por *spray drying*. Para essa reposta, os fatores C(linear), V(linear),

T(quadrático) e a interação CT apresentaram efeitos significativos, em um nível de confiança de 95%.

Tabela 13. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado à resposta a_w .

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	P*
Média	0,1972	0,0032	<0,0001
C	-0,0253	0,0035	0,0055
C ²	-0,0107	0,0036	0,0609
V	-0,0122	0,0035	0,0408
V ²	-0,0113	0,0037	0,0555
T	0,0020	0,0035	0,6035
T²	-0,0252	0,0037	0,0065
CV	0,0065	0,0046	0,2544
CT	0,0325	0,0046	0,0058
VT	-0,0042	0,0046	0,4271

C: concentração do agente carreador (%), V: vazão de alimentação (mL/min) e T: temperatura do ar de secagem (°C); *p ≤ 0,05

No gráfico de Pareto (Figura 8) é possível observar que C(linear) e a interação CT exerceram os maiores efeitos sobre a resposta a_w , sendo o efeito linear de C negativo, o que é desejável, uma vez que o aumento de C resultou na produção de pós com menor a_w . A estabilidade durante o armazenamento está diretamente relacionada com baixos valores de a_w no produto, uma vez que a a_w representa a água livre, disponível para a atuação microrganismos, reações químicas, atividade enzimática, oxidação lipídica, entre outros processos deteriorativos que ocorrem em alimentos (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015). A baixa a_w resulta da ligação do agente carreador à água do produto, que proporciona a atração da água aos sítios polares na superfície das microesferas, tornando-a indisponível para qualquer tipo de reação (BICUDO et al., 2015).

O aumento da variável V provocou a diminuição da a_w , o que diferiu dos resultados encontrados por outros autores (MORAIS et al., 2020; MOVAHHED; MOHEBBI, 2015). Entretanto, no gráfico de Pareto (Figura 6) é possível observar que o efeito da variável V sobre a resposta a_w foi pequeno.

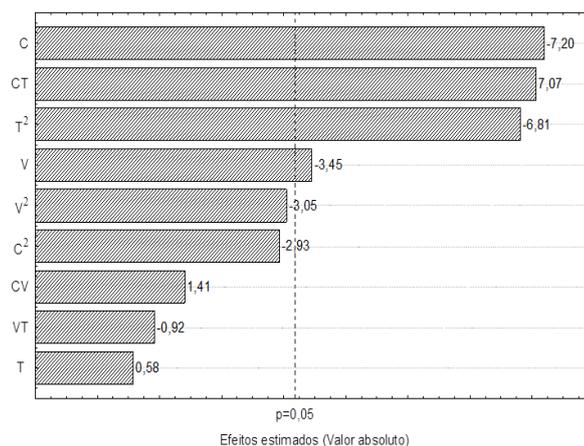


Figura 8. Gráfico de Pareto para a resposta a_w .

A ANOVA para a significância da regressão do modelo e da falta de ajuste (Tabela 14) mostrou que o modelo ajustado para a resposta a_w (Equação 5) apresentou regressão significativa, com 95% de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e falta de ajuste não significativa, para o mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). Os resultados indicam que modelo ajustado é considerado significativo e preditivo, e o valor de R^2 mostra que o modelo explicou 83% das variações totais dos dados obtidos.

Tabela 14. ANOVA para a resposta a_w .

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	$F_{\text{calculado}}$	$*F_{\text{Tabelado}}$	R^2
Regressão	0,0071	9	0,0008	4,38	3,39	0,831
Resíduos	0,0014	8	0,0002			
Falta de ajuste	0,0013	5	0,0003	6,22	9,01	
Erro puro	0,0001	3	0,0000			
Total	0,0085	17				

*Valores de F tabelado para $p \leq 0,05$

$$a_w = -0,437 - 1,1 \times 10^{-2}C + 1,56 \times 10^{-2}V + 9,94 \times 10^{-3}T - 3,8 \times 10^{-5}C^2 - 6,27 \times 10^{-4}V^2 - 3,9 \times 10^{-5}T^2 + 9,0 \times 10^{-5}CV + 7,6 \times 10^{-5}CT - 3,9 \times 10^{-5}VT \quad (5)$$

A Figura 9 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta a_w . Os resíduos estão distribuídos aleatoriamente em torno do zero, na faixa de -0,02 a 0,02, indicando a independência dos resíduos e uma variância constante dos resíduos gerados. O gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 10) mostra que a maioria dos resultados está situado

próximo à reta, evidenciando a normalidade dos resíduos. Portanto, o modelo é considerado confiável e preditivo.

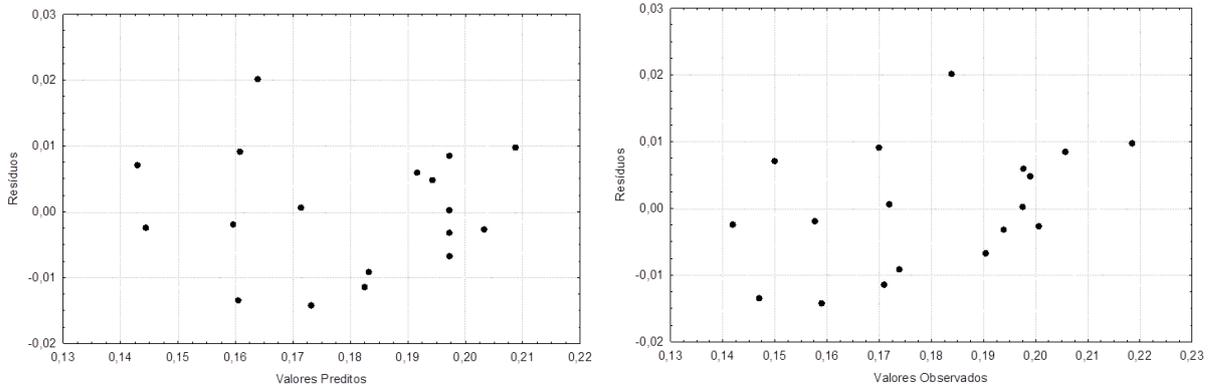


Figura 9. Distribuição dos resíduos para a resposta a_w .

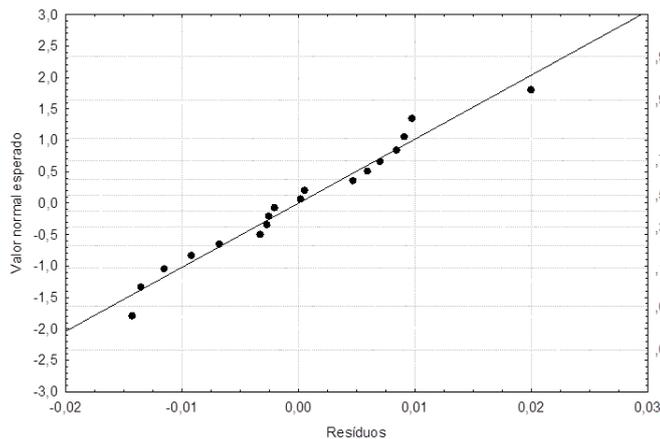


Figura 10. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta a_w .

Na superfície de resposta e curva de nível (Figura 11) geradas pelo modelo de regressão (Equação 5), para a resposta a_w , é possível observar que menores valores de a_w para o produto ocorreram para $T > 180^\circ\text{C}$ e $C < 30\%$ e para $C > 40\%$ e $T < 150^\circ\text{C}$, comprovando o forte efeito da interação entre estas duas variáveis. Assim, mesmo em concentrações baixas do agente, a temperaturas elevadas foram capazes de evaporar a água livre. Comportamento similar foi observado por Movahhed e Mohebbi (2015), para a secagem do suco de cenoura e aipo por *spray drying*.

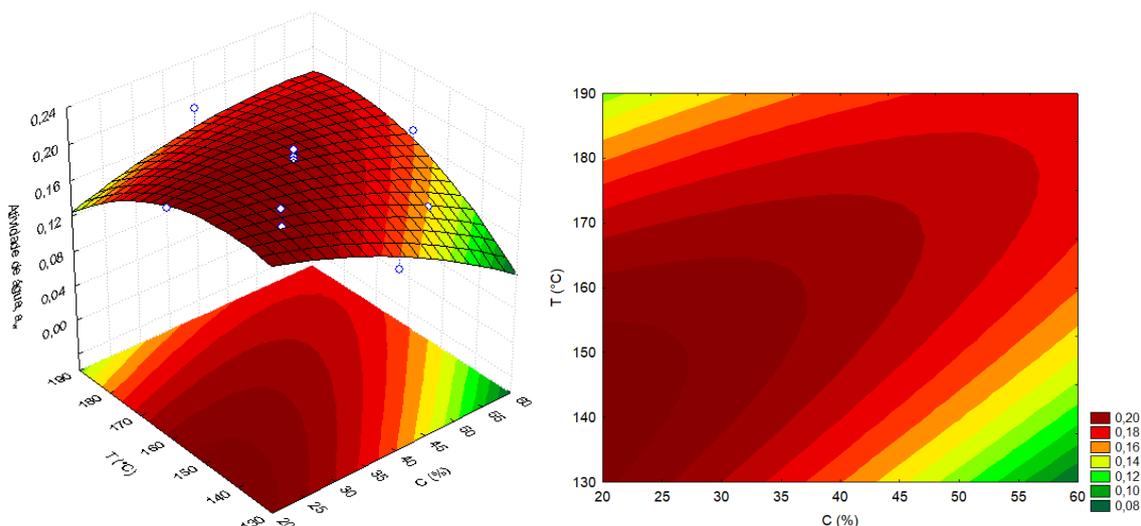


Figura 11. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente a_w , em função das variáveis independentes: concentração do agente carreador (C) e temperatura do ar de secagem (T) (vazão de alimentação = 12%).

5.3.2.3 Higroscopicidade

Na Tabela 15 estão os resultados da ANOVA aplicada à resposta higroscopicidade. Neste caso, os fatores que exerceram influência estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) sobre a resposta foram C (linear) e V (quadrático). O efeito linear negativo observado para o fator C é desejável, uma vez que indica que o aumento de C promoveu a redução da higroscopicidade do produto. Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014) observaram também que a higroscopicidade do tamarindo em pó, obtido por *spray drying*, diminuiu com o aumento da quantidade do agente carreador.

No gráfico de Pareto (Figura 12) é possível observar que a C (linear) foi o maior efeito sobre a resposta higroscopicidade. O efeito foi negativo, o que é desejável. Comportamento similar foi reportado por Igual et al. (2014). A goma arábica proporciona o aumento da temperatura de transição vítrea (T_g), a diminuição da higroscopicidade e melhora as propriedades físico-químicas de pós (KRISHNAIAH; NITHYANANDAM; SARBATLY, 2014).

Os resultados da ANOVA para a significância da regressão e da falta de ajuste, determinada pelo teste F, para a resposta higroscopicidade da polpa de buriti em pó, são apresentados na Tabela 16. Estes resultados indicam que o modelo ajustado à resposta (Equação 6) foi significativo e preditivo ($p \leq 0,05$), uma vez que a regressão foi significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e a falta de ajuste foi não significativa ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). O valor do coeficiente de determinação (R^2) indicou que o modelo explicou 85% da variação total dos dados obtidos.

Tabela 15. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado à resposta higroscopicidade.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	P*
Média	22,630	0,166	<0,0001
C	-1,661	0,180	0,0030
C ²	-0,575	0,187	0,0543
V	0,344	0,181	0,1531
V²	-1,227	0,189	0,0075
T	-0,176	0,181	0,4010
T ²	-0,171	0,189	0,4334
CV	-0,485	0,235	0,1311
CT	0,322	0,235	0,2646
VT	-0,480	0,235	0,1340

C: concentração do agente carreador (%), V: vazão de alimentação (mL/min) e T: temperatura do ar de secagem (°C); *p ≤ 0,05

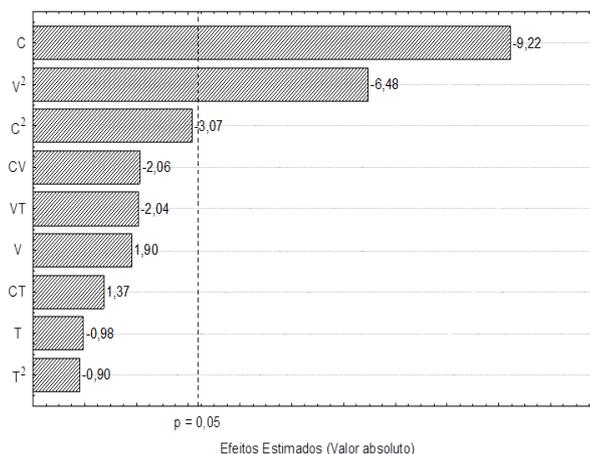


Figura 12. Gráfico de Pareto para a resposta higroscopicidade.

Tabela 16. ANOVA para a resposta higroscopicidade.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}	*F _{tabelado}	R ²
Regressão	16,11	9	1,79	4,90	3,39	0,846
Resíduos	2,92	8	0,37			
Falta de ajuste	2,59	5	0,52	4,69	9,01	
Erro puro	0,33	3	0,11			
Total	19,04	17				

*Valores de F tabelado para p ≤ 0,05

$$H (g/100g) = -1,285 + 5,38 \times 10^{-2}C + 2,676V + 0,103T - 2,03 \times 10^{-3}C^2 - 6,81 \times 10^{-2}V^2 - 2,6 \times 10^{-4}T^2 - 6,8 \times 10^{-3}CV + 7,5 \times 10^{-4}CT - 4,4 \times 10^{-3}VT \quad (6)$$

A distribuição de resíduos para a resposta higroscopicidade é apresentada na Figura 13, onde é possível observar que os resíduos estão distribuídos aleatoriamente em torno do valor zero, na faixa compreendida entre -0,8 a 0,6. O comportamento indica a independência dos resíduos e uma variância constante dos resíduos, para o modelo ajustado, o que permite afirmar que o ajuste do modelo foi satisfatório. No gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 14) é possível observar que a maioria dos resultados está distribuída ao longo da reta, revelando a normalidade dos resíduos e que o modelo é considerado confiável e preditivo.

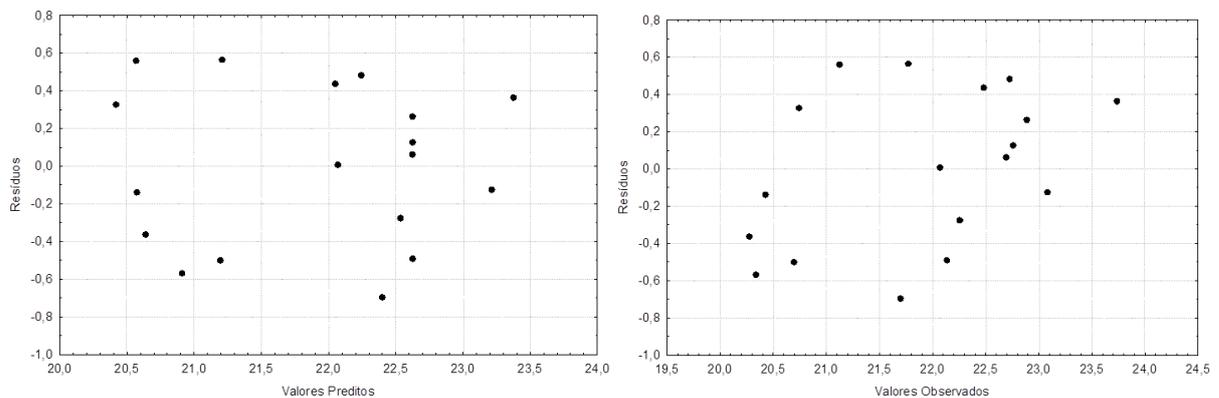


Figura 13. Distribuição dos resíduos para a resposta higroscopicidade.

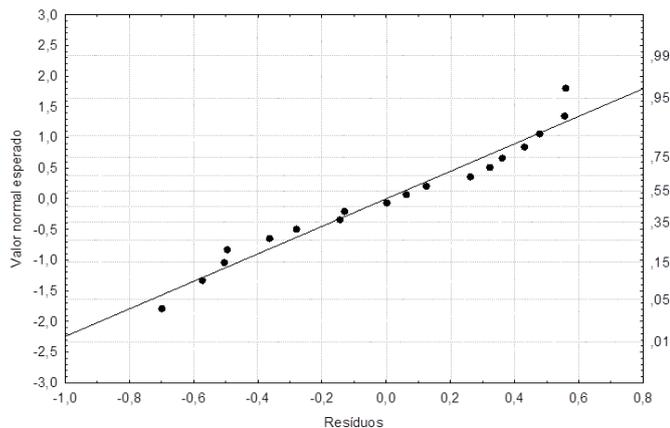


Figura 14. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta higroscopicidade.

A Figura 15 apresenta a superfície de resposta e a curva de nível geradas pelo modelo de regressão (Equação 6), para a resposta higroscopicidade. É possível observar que as regiões que apresentaram os menores valores de higroscopicidade estão situadas na região que compreende $C > 50\%$, para $V > 14$ mL/min e $V < 8$ mL/min. Muzaffar e kumar (2015) observaram também, que a concentração do agente carreador e a vazão de alimentação exerceram influência sobre a higroscopicidade. Estes autores observaram menores valores de higroscopicidade para maior concentração do agente carreador e vazão de alimentação. Vazões de alimentação elevadas favorecem a formação de pós menos porosos e, conseqüentemente, a redução da higroscopicidade (TONTUL; TOPUZ, 2017).

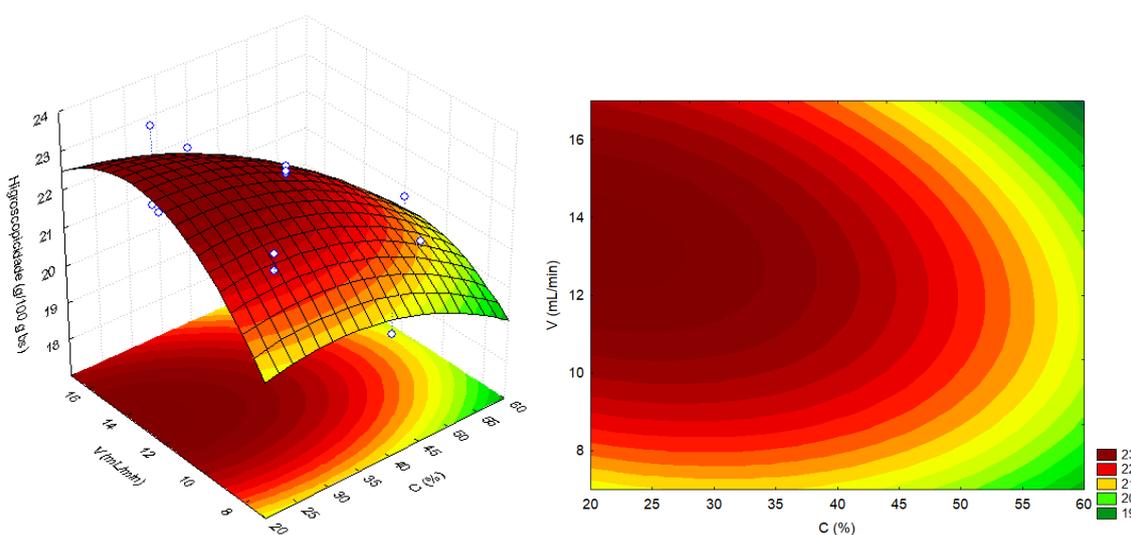


Figura 15. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente higroscopicidade, em função das variáveis independentes: concentração do agente carreador (C) e vazão de alimentação (temperatura do ar de secagem = 160°C).

5.3.2.4 Carotenoides

A Tabela 17 apresenta os resultados da ANOVA para a variável de resposta carotenoides. Para esta variável, os fatores que exerceram influência estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) foram C (linear) e V (linear). O gráfico de Pareto (Figura 16) ratifica que estes foram os fatores que exercem maiores efeitos sobre a resposta carotenoides, ambos com sinais negativos. Assim, o sinal negativo dos efeitos indica que o aumento de C e V promoveu a diminuição da quantidade de carotenoides na polpa de buriti em pó.

Apesar da adição do agente carreador favorecer a formação de uma barreira protetora ao redor do núcleo, que aumenta a proteção dos compostos bioativos durante a secagem, o

aumento de C provoca também o aumento da viscosidade na emulsão, o que dificulta o processo de atomização, resultando na formação de gotas com maiores tamanhos. Este comportamento é observado principalmente, para carreadores como a goma arábica e o alginato de sódio, que tendem a gelificar. Gotas de emulsão maiores resultam em menor retenção do núcleo (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015).

Menores valores de V, por sua vez, pode resultar na preservação da estrutura da partícula, pois ocorre uma menor deformação nas gotas durante a formação, o que contribuiu para uma maior retenção de carotenoides nos pós (MOSER; FERREIRA; NICOLETTI, 2019).

Tabela 17. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta carotenoides.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	P*
Média	45,96	4,31	0,0018
C	-23,20	4,68	0,0157
C ²	13,58	4,86	0,0681
V	-16,53	4,69	0,0389
V ²	14,88	4,92	0,0567
T	10,22	4,69	0,1175
T ²	7,29	4,92	0,2355
CV	4,95	6,11	0,4772
CT	-1,70	6,11	0,7987
VT	9,31	6,11	0,2249

C: concentração do agente carreador (%), V: vazão de alimentação (mL/min) e T: temperatura do ar de secagem (°C); *p ≤ 0,05

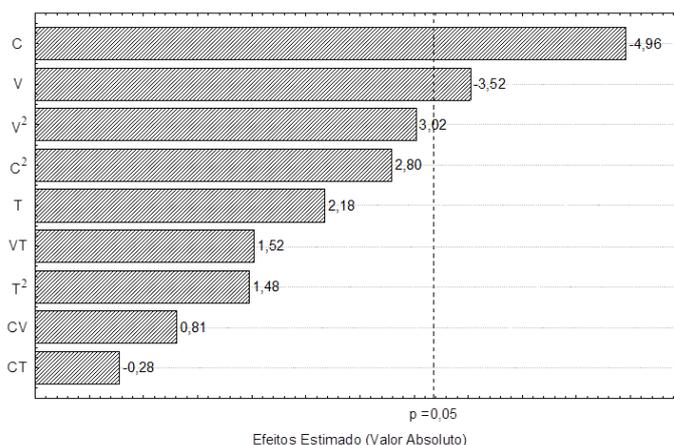


Figura 16. Gráfico de Pareto para a resposta carotenoides.

Os dados da ANOVA para a significância da regressão e da falta de ajuste, para a resposta carotenoides são apresentados na Tabela 18. A análise dos resultados mostra que o modelo ajustado a esta resposta (Equação 7) foi significativo e preditivo ($p \leq 0,05$), visto que a regressão foi significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e a falta de ajuste foi não significativa ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). O valor de R^2 permite afirmar que o modelo ajustado explicou 86% da variação total dos dados obtidos.

Tabela 18. ANOVA para a resposta carotenoides.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	$F_{\text{calculado}}$	$*F_{\text{tabelado}}$	R^2
Regressão	4417,58	9	490,84	5,43	3,39	0,859
Resíduos	723,76	8	90,47			
Falta de ajuste	499,69	5	99,94	1,34	9,01	
Erro puro	224,06	3	74,69			
Total	5141,34	17				

*Valores de F tabelados para $p \leq 0,05$

$$\begin{aligned} \text{Carotenoides} = & 729,63 - 5,007C - 39,166V - 4,190T + 4,80 \times 10^{-2}C^2 + 0,827V^2 \\ & + 1,12 \times 10^{-2}T^2 + 6,93 \times 10^{-2}CV - 4,0 \times 10^{-3}CT + 8,62 \times 10^{-2}VT \end{aligned} \quad (7)$$

A Figura 17 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta carotenoides, os quais estão distribuídos aleatoriamente em torno do valor zero, na faixa compreendida entre -15 e 15. Estes resultados indicam a independência dos resíduos e uma variância constante dos resíduos para o modelo ajustado. O gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 18) mostra que a maioria dos resultados está distribuído ao longo da reta, demonstrando a normalidade dos resíduos. Assim, o comportamento dos resíduos permite afirmar que o modelo ajustado aos resultados da resposta carotenoides é confiável e preditivo.

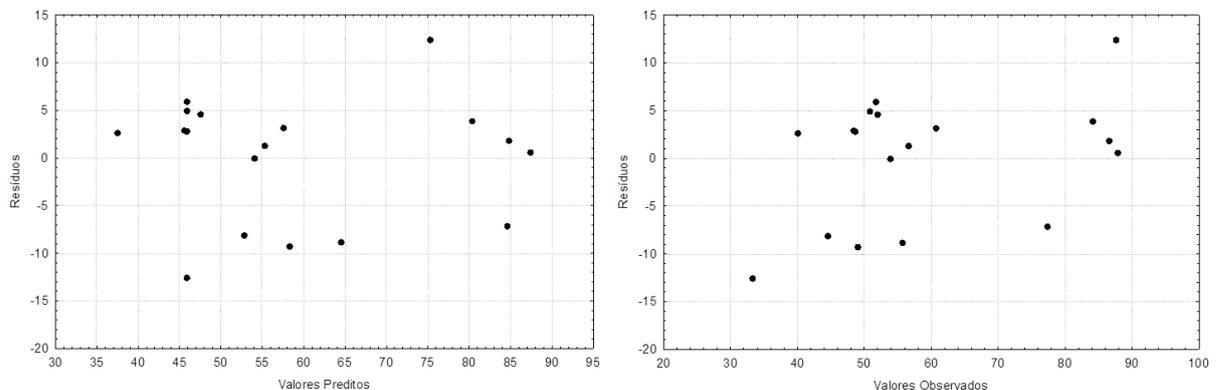


Figura 17. Distribuição dos resíduos para o ajuste do modelo à resposta carotenoides.

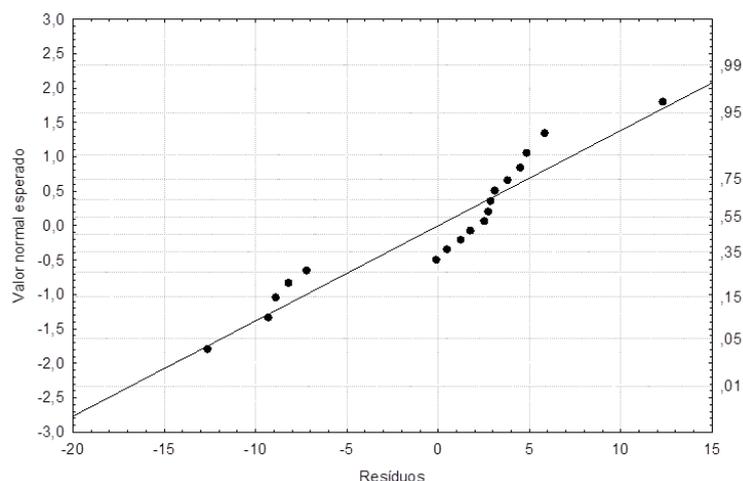


Figura 18. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta de carotenoides.

A superfície de resposta e a curva de nível geradas pelo modelo de regressão (Equação 7), para a resposta carotenoides (Figura 19) confirmam que maiores teores de carotenoides foram observados na polpa de buriti em pó obtida nos menores valores de C e V. Conforme mencionado, maior concentração de agente carreador pode resultar em um aumento da viscosidade da suspensão, retardando a formação das partículas (HUYNH et al., 2008). Comportamento semelhante foi reportado por Movahhed e Mohebbi, (2015) e Kha, Nguyen e Roach (2010), que observaram que o aumento na quantidade de maltodextrina resultou em pós com menores concentrações de carotenoides. Moser, Ferreira e Nicoletti (2019) obtiveram melhores resultados para a retenção de carotenoides em óleo de buriti seco em *spray dryer*, com menores vazões de alimentação. Comportamento semelhante foi observado por Morais et al. (2020), para a secagem do suco de cajá vermelho.

É importante destacar que a variável T não exerceu efeito significativo sobre a degradação de carotenoides, no domínio experimental. De modo semelhante, Santana et al. (2013) reportam que a temperatura do ar de secagem não influenciou significativamente no teor de carotenoides totais do extrato de pequi seco em *spray dryer*.

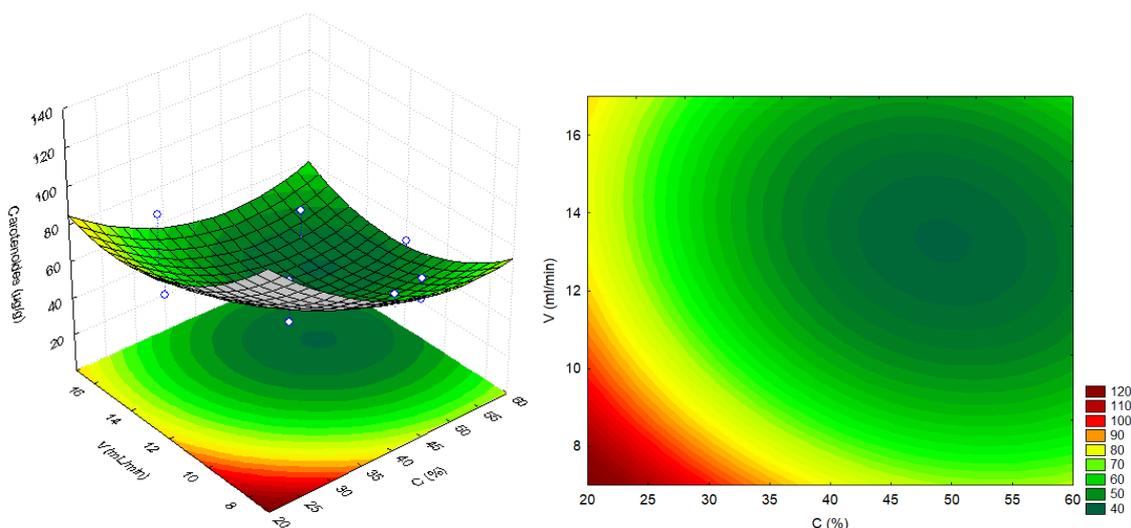


Figura 19. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente carotenoides, em função das variáveis independentes: concentração do agente carreador (C) e vazão de alimentação (V) (temperatura do ar de secagem = 160°C).

5.3.2.5 Índice de solubilidade em água (ISA)

Os resultados da ANOVA aplicada à resposta ISA são apresentados na Tabela 19. Para esta variável os fatores que exerceram influência estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) foram C (linear) e a interação CT. A ordem de grandeza destes fatores é melhor visualizada no gráfico de Pareto da Figura 20. O sinal positivo observado para o efeito linear de C é desejável, pois mostra que o aumento desta variável promoveu o aumento do ISA do pó obtido. Santana et al. (2016) observaram também o aumento da solubilidade de jussara em pó, com o aumento da concentração do agente carreador na formulação, quando uma mistura ternária de goma arábica, amido modificado e proteínas de soja e leite foi utilizada. González-Peña, Lozada-Ramírez e Ortega-Regules (2021) reportaram o aumento da solubilidade da cenoura em pó, obtida por *spray drying*, de 86,6 para 90,5%, como o aumento da concentração de goma arábica, na formulação.

Os resultados da ANOVA para a significância da regressão e da falta de ajuste, para a resposta ISA da polpa de buriti em pé é apresentada na Tabela 20. Estes resultados mostram que o modelo ajustado para a resposta ISA (Equação 8) apresentou regressão significativa, com 95% de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e falta de ajuste não significativa, no mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). Assim, o modelo ajustado é considerado significativo e preditivo e, de acordo com o valor de R^2 explicou 89% das variações totais dos dados obtidos.

Tabela 19. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta ISA.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	P*
Média	75,888	0,375	<0,0001
C	5,278	0,407	0,0010
C ²	-0,935	0,423	0,1140
V	-1,110	0,409	0,0728
V ²	-0,693	0,429	0,2042
T	0,168	0,409	0,7090
T ²	-0,078	0,429	0,8666
CV	-1,146	0,532	0,1202
CT	2,422	0,532	0,0199
VT	0,085	0,532	0,8832

C: concentração do agente carreador (%), V: vazão de alimentação (mL/min) e T: temperatura do ar de secagem (°C); *p ≤ 0,05

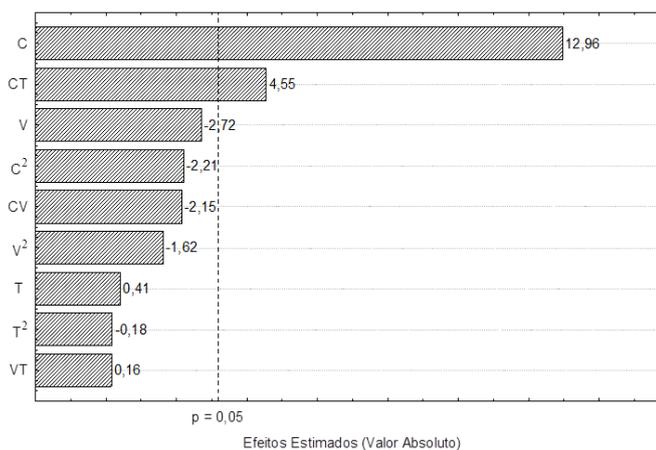


Figura 20. Gráfico de Pareto para a resposta ISA.

Tabela 20. ANOVA para a resposta ISA.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}	F _{Tabelado*}	R ²
Regressão	117,41	9	13,05	7,50	3,39	0,894
Resíduos	13,92	8	1,74			
Falta de ajuste	12,22	5	2,44	4,32	9,01	
Erro puro	1,70	3	0,57			
Total	131,33	17				

*Valores de F tabelado para p ≤ 0,05

$$\begin{aligned}
 ISA = & 84,554 - 0,226C + 1,255V - 0,192T - 3,3 \times 10^{-3}C^2 - 3,851 \times 10^{-2}V^2 - 1,2 \times 10^{-4}T^2 \\
 & - 1,60 \times 10^{-2}CV + 5,6 \times 10^{-3}CT + 7,9 \times 10^{-4}VT
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

A Figura 21 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta ISA, onde pode ser observado que os resíduos estão distribuídos aleatoriamente em torno do valor zero, entre os valores -1,5 a 2,0. O comportamento mostra a independência dos resíduos e uma variância constante dos resíduos para o modelo ajustado. No gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 22), por sua vez, pode ser observado que todos os resultados estão distribuídos em torno da reta. Os resultados indicam a normalidade dos resíduos e que o modelo ajustado pode ser considerado confiável e preditivo.

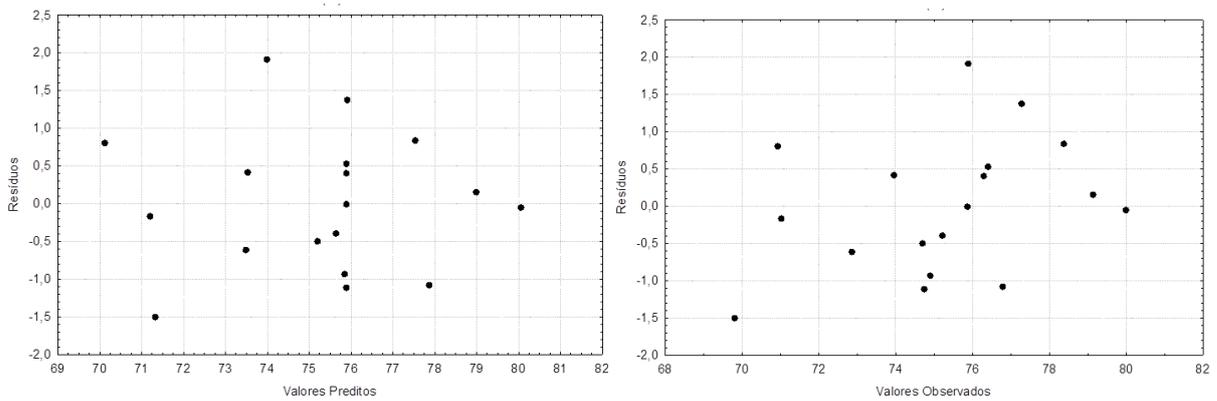


Figura 21. Distribuição dos resíduos para a resposta ISA.

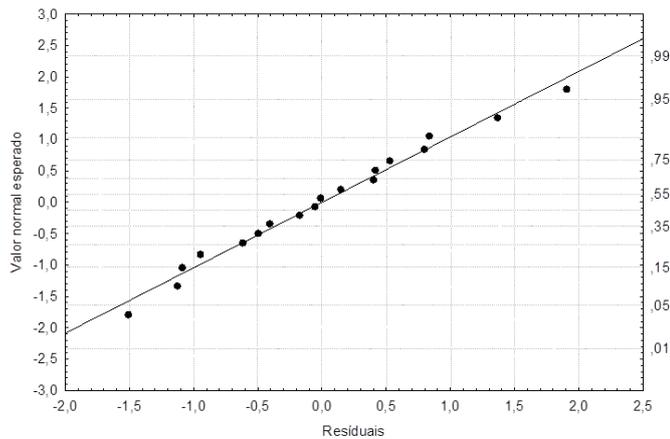


Figura 22. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta de ISA.

A Figura 23 apresenta a superfície de resposta e a curva de nível geradas pelo modelo de regressão (Equação 8) para a resposta ISA. É possível constatar que os pós com os maiores valores de ISA foram obtidos, quando maiores quantidades de goma arábica foram utilizadas. A solubilidade de pós produzidos em *spray dryer* é fortemente influenciada pelas características do agente carreador utilizado. A maltodextrina e a goma arábica, por exemplo, possuem elevadas solubilidades, o que influencia positivamente na solubilidade do pó obtido (TONTUL; TOPUZ, 2017). A goma arábica é um hidrocoloide com cadeia de polissacarídeos, contendo uma pequena fração proteica, que a torna um emulsificante com alta solubilidade em água (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014).

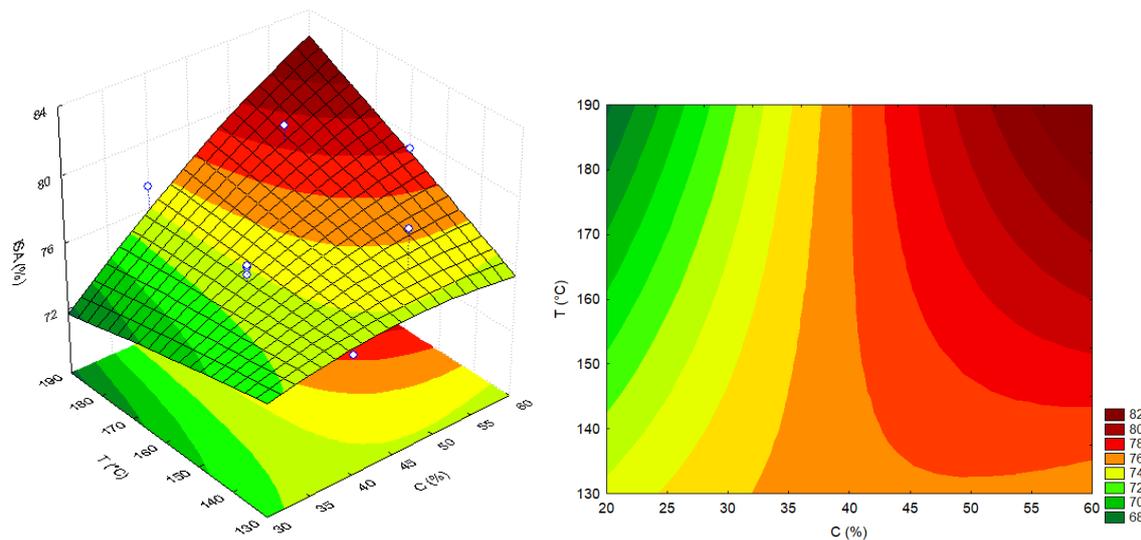


Figura 23. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente ISA, em função das variáveis independentes: concentração de agente carreador (C) e temperatura do ar de secagem (T) (vazão de alimentação = 12 mL/min).

5.3.2.6 Parâmetro de cor b^*

A Tabela 21 apresenta os resultados da ANOVA aplicada à variável de saída parâmetro de cor b^* . Para esta resposta os fatores que exerceram efeitos estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) foram C (linear) e T (linear). O gráfico de Pareto (Figura 22) mostra que C foi a variável que exerceu o maior efeito sobre a resposta, o qual foi negativo, indicando que o aumento de C promoveu a redução de b^* , que representa a cor amarela característica do produto. O mesmo efeito de C foi observado para carotenoides, uma vez que eles são os principais pigmentos responsáveis pela coloração da polpa do buriti. Este resultado ratifica a relação entre a concentração de carotenoides e o valor de b^* .

O sinal positivo do efeito de T, por sua vez, indica que os pós obtidos em maiores T retiveram melhor a coloração característica do produto (maiores valores de b*). Porém, o gráfico de Pareto (Figura 24) evidencia que este efeito não foi tão representativo, remetendo aos resultados para a resposta carotenoides, sobre a qual a variável T não influenciou significativamente.

Tabela 21. Efeitos estimados, erro puro e grau de significância (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta b*.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	P*
Média	27,985	0,559	<0,0001
C	-6,182	0,607	0,0020
C ²	0,782	0,630	0,3025
V	-1,346	0,609	0,1140
V ²	1,412	0,639	0,1140
T	1,980	0,609	0,0474
T ²	2,014	0,639	0,0512
CV	1,079	0,793	0,2668
CT	2,285	0,793	0,0634
VT	1,303	0,793	0,1988

C: concentração do agente carreador (%), V: vazão de alimentação (mL/min) e T: temperatura do ar de secagem (°C); *p ≤ 0,05

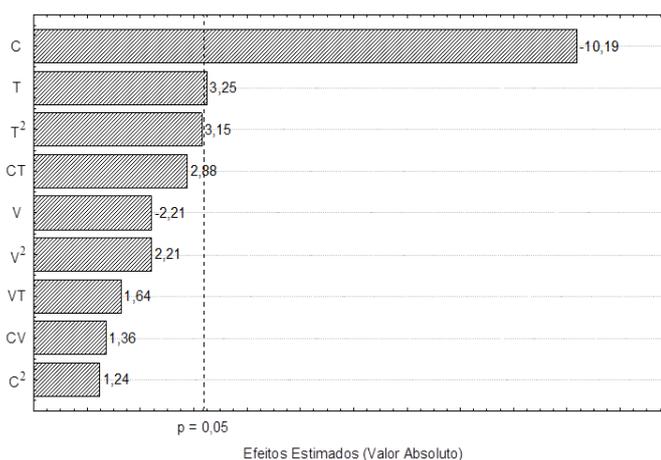


Figura 24. Gráfico de Pareto a resposta b*.

A ANOVA para a significância da regressão e da falta de ajuste, para a resposta b* é apresentada na Tabela 22. A análise dos resultados mostra que o modelo ajustado para esta resposta (Equação 9) foi significativo e preditivo ($p \leq 0,05$), uma vez que a regressão foi

significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e a falta de ajuste foi não significativo ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). O coeficiente de determinação (R^2), neste caso, indicou que o modelo explicou 87% da variação total dos dados obtidos.

Tabela 22. ANOVA para a resposta b^* .

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	$F_{\text{calculado}}$	F_{Tabelado}^*	R^2
Regressão	181,91	9	20,21	5,86	3,39	0,868
Resíduos	27,62	8	3,45			
Falta de ajuste	23,85	5	4,77	3,79	9,01	
Erro puro	3,77	3	1,26			
Total	209,52	17				

*Valores de F tabelado para $p \leq 0,05$

$$b^* = 192,105 - 1,517C - 4,641V - 1,297T + 2,8 \times 10^{-3}C^2 + 7,85 \times 10^{-2}V^2 + 3,1 \times 10^{-3}T^2 + 1,51 \times 10^{-2}CV + 5,3 \times 10^{-3}CT + 1,21 \times 10^{-2}VT \quad (9)$$

A Figura 25 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta b^* , os quais estão distribuídos aleatoriamente em torno do valor zero, compreendendo a faixa de -3,0 a 2,5. Estes resultados comprovam que há uma independência dos resíduos e uma variância constante dos resíduos para o modelo ajustado. É possível observar no gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 26), que todos os resultados estão distribuídos em torno da reta, evidenciando a normalidade dos resíduos. Desta forma o modelo pode ser considerado confiável e preditivo.

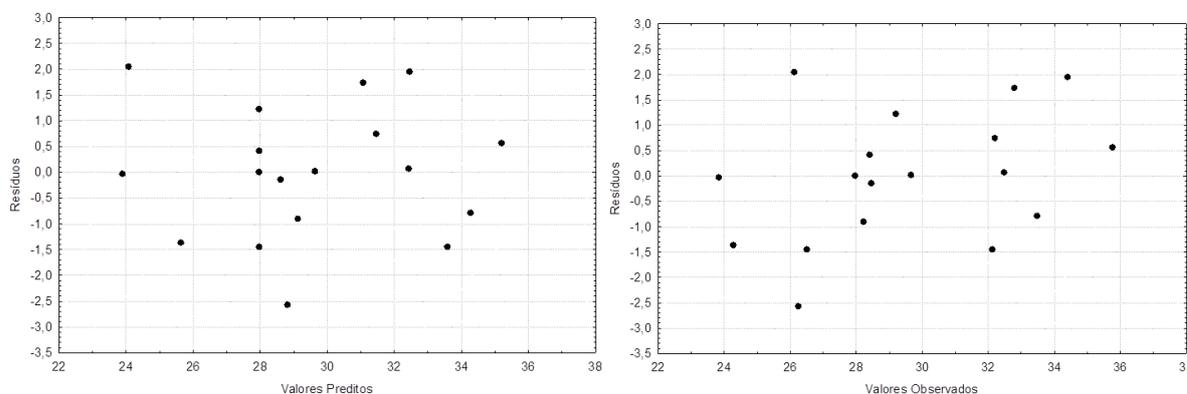


Figura 25. Distribuição dos resíduos para a resposta b^* .

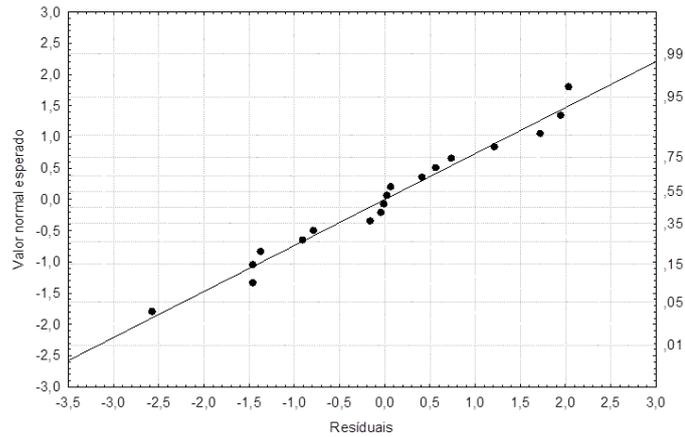


Figura 26. Gráfico de probabilidade normal dos resíduos para a resposta b^* .

Na Figura 27 são apresentadas a superfície de resposta e a curva de nível geradas pelo modelo de regressão (Equação 9), para a resposta b^* , onde pode ser observado que a região que concentra os maiores valores de b^* ocorreu em menores valores de C e com pouca influência de T (Figura 22). Silva et al. (2013) sugerem a utilização de pigmento produzidos por *spray drying* na formulação de alimentos e bebidas. Zotarelli et al. (2017) observaram que a adição do agente carreador maltodextrina, provocou o efeito de diluição da cor de manga em pó, obtida em *spray dryer*, associado também ao menor teor de carotenoides totais nos pós obtidos.

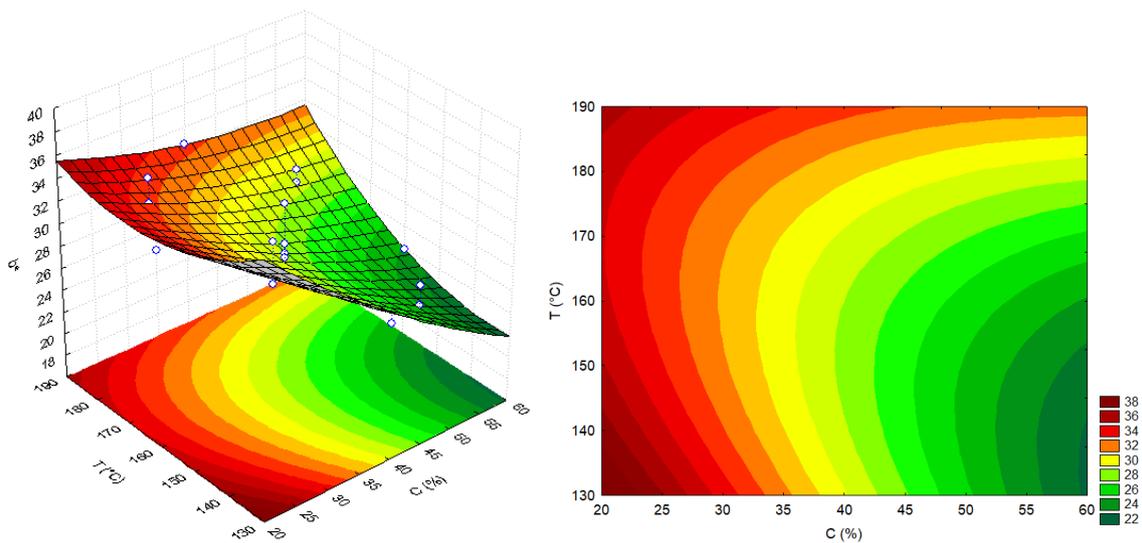


Figura 27. Superfície de resposta e curva de nível para a variável dependente b^* , em função das variáveis independentes: concentração de agente carreador (C) e temperatura do ar de secagem (T) (vazão de alimentação = 12 mL/min).

5.3.3 Otimização do processo de secagem

Juntamente com a metodologia da superfície de resposta, a função desejabilidade foi utilizada para realizar a otimização simultânea das respostas do processo de secagem da polpa do buriti, por *spray drying*. A partir dos resultados foram determinados os valores ótimos para as variáveis independentes (temperatura de entrada do ar de secagem, vazão de alimentação da amostra e concentração do agente carreador), com o objetivo de atingir valores desejáveis para as respostas (umidade, a_w , higroscopicidade, carotenoides, ISA e b^*), no domínio experimental.

A Tabela 23 apresenta os valores utilizados na função desejabilidade para cada resposta. Foram atribuídos os valores 0 (indesejável), 0,5 (moderadamente desejável) e 1 (desejável), de acordo com os valores desejáveis para cada resposta. Foram atribuídos os valores cinco para o “fator de grade” e dois para os expoentes "s" e "t".

Tabela 23. Valores atribuídos à função desejabilidade global.

Resposta	Valores experimentais atribuídos			Expoentes da função	
	Mínimo	Médio	Máximo	s	t
Umidade (g/100 g)	0,24 (1)	0,99 (1)	1,74 (0,5)	2	2
a_w	0,14 (1)	0,18 (1)	0,22 (0,5)	2	2
Higroscopicidade (g/100 g)	20,28 (1)	22,01 (0,5)	23,74 (0)	2	2
Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)	33,37 (0)	60,67 (0,5)	87,97 (1)	2	2
ISA (%)	69,82 (0)	74,91 (0,5)	80,00 (1)	2	2
b^*	23,85 (0)	29,81 (0,5)	35,76 (1)	2	2

Na Figura 28 é apresentado o gráfico da Função Desejabilidade, onde as linhas tracejadas verticais (em vermelho) indicam as condições de máxima desejabilidade global, que atingiu um valor de 0,997. De acordo com os resultados, dentro das condições atribuídas à função desejabilidade, os valores ótimos estabelecidos para os parâmetros de processo (variáveis independentes), para a secagem em *spray dryer* da polpa do buriti, foram: concentração de goma arábica de 60%, vazão de alimentação de 17 mL/min e temperatura do ar de secagem de 190°C; no domínio experimental. Nestas condições, os valores estimados para as respostas (variáveis dependentes) avaliadas foram: umidade de 0,21%, a_w de 0,15, higroscopicidade de 17,72 g/100 g, teor de carotenoides de 88,66 $\mu\text{g/g}$, ISA de 79,05% e valor de b^* de 35,70.

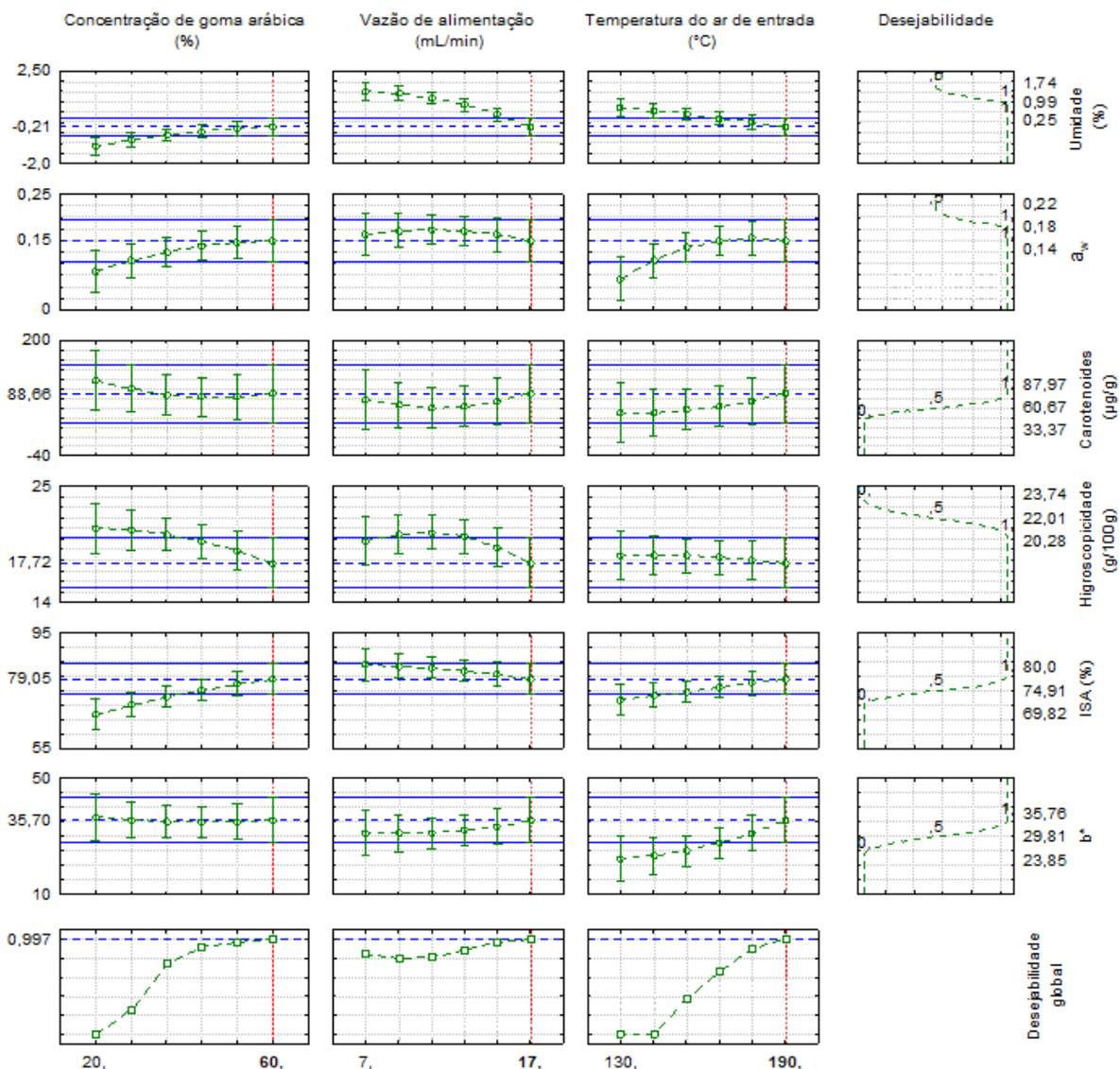


Figura 28. Gráfico da Função Desejabilidade para as respostas umidade, a_w , higroscopicidade, ISA, carotenoides e b^* .

5.3.4 Validação das condições ótimas de secagem

Na Tabela 24 são apresentados os valores preditos pela função desejabilidade e os valores observados experimentalmente, para as propriedades (variáveis independentes) da polpa de buriti em pó, obtida por *spray drying*, na condição definida como ótima. É possível observar a convergência entre os valores preditos e os valores experimentais, para todas as propriedades analisadas. O teor de carotenoides foi a propriedade que apresentou a maior variabilidade, o que pode ser atribuído a aderência do material de alimentação à parede da câmara de secagem. Roustapour, Maftoon Azad e Sarchar (2012) abordam o desafio que é recuperar pós de sucos de frutas, pois são alimentos com baixas temperaturas de transição vítrea (T_g), o que favorece a aderência dos pós na parede do secador. Forero et al. (2015) afirmam

ainda, que é normal uma porção dos sólidos aderir nas paredes da câmara de secagem do *spray dryer*, devido ao fluxo de ar quente em excesso, o que resulta na diminuição do teor de compostos termossensíveis. Os resultados obtidos validam a metodologia estatística utilizada para a otimização do processo de secagem da polpa do buriti por *spray drying*, no domínio experimental.

Tabela 24. Valores das propriedades da polpa de buriti em pó, preditos pela modelagem e determinados para o produto obtido na condição ótima de secagem.

Resposta	Valor predito	Valor observado
Umidade (g/100 g)	0,21	0,62
a_w	0,15	0,16
Higroscopicidade (g/100 g)	17,72	18,79
Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)	88,66	60,92
ISA (%)	79,05	80,26
b^*	35,70	31,32

As características do produto indicam que a polpa de buriti em pó obtida na condição ótima de secagem em *spray dryer* apresentou uma boa capacidade de reconstituição (elevado ISA); valores de umidade e a_w que asseguram a estabilidade do produto a processos deteriorativos e degradativos, em geral (TONTUL; TOPUZ, 2017); um valor de b^* que assegura a manutenção da coloração amarela característica da polpa do buriti, no produto em pó. O valor da higroscopicidade, por sua vez, indica que o produto tem alta afinidade por moléculas de água (SCHUCK; DOLIVET, JEANTET, 2012) e, por isso, necessita ser acondicionado em embalagem de materiais que apresentem baixa permeabilidade ao vapor de água. É importante destacar ainda que, embora o processo de secagem em *spray dryer* tenha promovido uma redução no teor de carotenoides totais em relação a polpa *in natura*, as quantidades de carotenoides retidas na polpa de buriti em pó ainda foram bem representativas.

6 CONCLUSÃO

O estudo da secagem da polpa de buriti em *spry dryer* mostrou que a concentração do agente carreador goma arábica apresentou efeito significativo sobre todas as propriedades do pó avaliadas (umidade, a_w , higroscopicidade, teor de carotenoides totais, ISA e a coordenada de cromaticidade b^*). A temperatura do ar de secagem, por sua vez, apresentou efeito significativo apenas sobre as propriedades umidade e b^* .

A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade permitiram definir como condições operacionais ótimas para o processo de secagem da polpa de buriti, em *spray dryer*: a concentração do agente carreador goma arábica de 60%, uma vazão de alimentação de 17 mL/min e a temperatura do ar de secagem de 190°C.

A polpa de buriti em pó obtida na condições definidas como ótimas para a secagem em *spray dryer* apresentou as seguintes características: 0,62 g/100 g de umidade, a_w de 0,16, higroscopicidade de 18,79 g/100 g, um teor de carotenoides totais de 60,92 $\mu\text{g/g}$, ISA de 80,26 % e um valor de 31,32 para o parâmetro de cor instrumental b^* .

Embora durante o processo de secagem da polpa do buriti, na condição definida como ótima, tenha ocorrido uma redução significativa no teor de carotenoides totais, a quantidade de carotenoides observada na polpa de buriti em pó permite classifica o produto como uma boa fonte de carotenoides.

REFERÊNCIAS

- ABADIO FINCO, F. D. B.; KAMMERER, D. R.; CARLE, R.; TSENG, W. H.; BÖSER, S.; GRAEVE, L. Antioxidant activity and characterization of phenolic compounds from bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) fruit by HPLC-DAD-MSn. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 31, p. 7665–7673, 2012.
- ABADIO FINCO, F. D. B.; BOSER, S.; GRAEVE, L. Antiproliferative activity of Bacaba (*Oenocarpus bacaba*) and Jenipapo (*Genipa americana* L.) phenolic extracts: A comparison of assays. **Nutrition & Food Science**, v. 43, n. 2, p. 98–106, 2013.
- ADADI, P.; BARAKOVA, N. V.; KRIVOSHAPKINA, E. F. Selected methods of extracting carotenoids, characterization, and health concerns: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 24, p. 5925–5947, 2018.
- ADEBAL, M. C.; SANTOS, T. C. P.; VILLA-VÉLEZ, H. A.; SANTANA, A. A. Modelagem semiempírica do processo de secagem de polpa de buriti. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ) - XVI Encontro Brasileiro sobre o ensino de Engenharia Química (EMBEQ), Fortaleza-CE, 2016.
- AQUINO, J. S.; PESSOA, D. C. N. P.; ARAÚJO, K. L. G. V. EPAMINONDAS, P. S.; SCHULER, A. R. P.; SOUZA, A. G.; STANFORD, T. L. M. Refining of Buriti Oil (*Mauritia flexuosa*) Originated from the Brazilian Cerrado: Physicochemical, Thermal-Oxidative and Nutritional Implications. **J. Braz. Chem. Soc**, n. 2, v. 23, p. 212-219, 2012.
- ALBUQUERQUE, M. L. S.; GUEDES, I.; ALCANTARA, P.; MOREIRA, S. G.C.; BARBOSA NETO, N. M.; CORREA, D. S.; ZILIO, S. C. Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil by absorption and emission spectroscopies. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6 A, p. 1113–1117, 2005.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; PADMA, I. S. Spray drying techniques for food ingredient encapsulation. **IFT Press**, 2015.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JR. E. L. Gelatinization of corn grits roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n.1, p. 4-12, 1969.
- ANJOS, E. V.; SILVA, J. A. Cinética de secagem e modelagem matemática do fruto de buriti (*Mauritia flexuosa*). XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em iniciação Científica, (COBEQUIC). UNICAMP - Campinas - SP, 19 A 22 De Julho de 2015.
- ANUNCIAÇÃO, P. C.; GIUFFRIDA, D.; MURADOR, D. C.; PAULA FILHO, G. X.; DUGO, G. PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Identification and quantification of the native carotenoid composition in fruits from the Brazilian Amazon by HPLC-DAD-APCI/MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.83, 2019.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis**. 16 ed., 3ª rev. Gaithersburg: Published by AOAC International, 1997.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis**. 16 ed., Arlington: Published by AOAC International, 1996,

ARAÚJO, N. M. P.; ARRUDA, H. S.; MARQUES, D. R. P.; OLIVEIRA, W. Q.; PEREIRA, G. A.; PASTORE, G. M. Functional and nutritional properties of selected Amazon fruit: A review. **Food Research International**, v. 147, 2021.

ASHURST, P. R. **Chemistry and Technology of Soft Drinks and Fruit Juices**. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd. 2016.

AZEVEDO, L.; RIBEIRO, P. F. A.; OLIVEIRA, J. A. C.; CORREIA, M. G.; RAMOS, F. M.; OLIVEIRA, E. B.; BARROS, F.; STRINGHETA, P. C. Camu-camu (*Myrciaria dubia*) from commercial cultivation has higher levels of bioactive compounds than native cultivation (Amazon Forest) and presents antimutagenic effects in vivo. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 624-631, 2019.

BAKAR, J.; EE, S. C.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. M.; ADZAHAN, N. Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 5, p. 1332-1342, 2013.

BARBOSA, R. I.; LIMA, A. D.; MOURÃO JUNIOR, M. Biometria do fruto de buriti *Mauritia flexuosa* LF - Arecaceae: Produção de polpa e óleo em uma área da savana em Roraima. **Amazônia: Ci. & Desenv**, n.10, v. 5, 2010.

BASTOS, D. H. M.; ROGERO, M. M.; ARÊAS, J. A. G. Mecanismo de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v. 53, n. 5, p. 646-656, 2009.

BATISTA, J. S.; OLINDA, R. G.; MEDEIROS, V. B.; RODRIGUES, C. M. F.; OLIVEIRA, A. F.; PAIVA, E. S.; FREITAS, C. I. A.; MEDEIROS, A. C. Atividade antibacteriana e cicatrizante do óleo de buriti *Mauritia flexuosa* L. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 136-141, 2012.

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 4, p. 408-415, 2018.

BEST, I. CASIMIRO-GONZALES, S.; PORTUGAL, A.; OLIVERA-MONTENEGRO, L.; AGUILAR, L.; MUÑOZ, A. M.; RAMOS-ESCUADERO, F. Phytochemical screening and DPPH radical scavenging activity of three morphotypes of *Mauritia flexuosa* L.f. from Peru, and thermal stability of a milk-based beverage enriched with carotenoids from these fruits. **Heliyon**, v. 6, 2020.

BEYER, P. Golden Rice and “Golden” crops for human nutrition. **New Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 478-481, 2010.

BHUSARI, S.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, n. 266, p. 354-364, 2014.

BICUDO, M. O. P.; JÓ, J.; OLIVEIRA, G. A.; CHAIMSOHN, F. P.; SIERAKOWSKI, M. R.; FREITAS, R. A.; RIBANI, R. H. Microencapsulation of Juçara (*Euterpe edulis* M.) pulp by spray drying using different carriers and drying temperatures. **Drying Technology**, n.33, p.

153-161, 2015.

BOVI, G. G.; PETRUS, R. R.; PINHO, S. C. Feasibility of incorporation of buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil nanoemulsions in isotonic sport drink. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 42, p. 2201-2209, 2017.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248–1252, 2000.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. Planejamento de Experimentos usando *Statistica*. **E-papers serviços Editoriais**. Rio de Janeiro. 2003.

CÂNDIDO, T. L. N.; SILVA, M. R.; AGOSTINI-COSTA, T. S. Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry**, v. 177, p. 313–319, 2015.

CARMONA, P.A.O.; GARCIA, L.C.; RIBEIRO, J. A. A; VALADARES L. F.; MARÇAL, A F.; FRANÇA L. F.; MENDONÇA, S. Effect of Solids Content and Spray-Drying Operating Conditions on the Carotenoids Microencapsulation from Pressed Palm Fiber Oil Extracted with Supercritical CO₂. **Food and Bioprocess Technology** v. 11, p.1703–1718, 2018.

CARNEIRO, T. B.; CARNEIRO, J. G. M. Frutos e polpa desidratada buriti (*Mauritia flexuosa* L.): Aspectos físicos, químicos e tecnológicos. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. v.6, n.2, p. 105 – 111, 2011.

CASTRO, S. D.; SOUSA, E. P.; NUNES, S. J.; SILVA, L. M. M.; MOREIRA, I. S. Caracterização física e físico-química de polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v 9. , n. 2 , p. 117 - 120, 2014.

CARVALHO, A. V.; SILVEIRA, T. F. F.; MATTIETTO, R. A.; OLIVEIRA, M. S. P.; GODOY, H. T. Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1467–1474, 2017.

CARVALHO, C. **Anuário brasileiro da fruticultura 2017**. 1 ed. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2017.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 135 - 148, 2012.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

CHAO, E.; TIAN, J. FAN, L.; ZHANG, T. Drying methods influence the physicochemical and functional properties of seed-used pumpkin. **Food Chemistry**, n. 369, 2022.

CHEW, S. C.; TAN, C. P.; NYAM, K. L. Microencapsulation of refined kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil by spray drying using β -cyclodextrin/ gum arabic/ sodium caseinate.

Journal of Food Engineering. n. 237, p. 78-85, 2018.

CHUYEN, H. V.; ROACH, P. D.; GOLDING, J. B.; PARKS, S. E.; NGUYEN, M. H. Effects of four different drying methods on the carotenoid composition and antioxidant capacity of dried Gac peel. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n.5, v. 97, p. 1656-1662, 2016.

CUNHA, M. A. E.; NEVES, R. F.; SOUZA, J.N.S.; FRANÇA, L. F.; ARAÚJO, M.E.; BRUNNER, G.; MACHADO, N. T. Supercritical adsorption of buriti oil (*Mauritia flexuosa* Mart.) in alumina: A methodology for the enriching of anti-oxidants. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.66, p.181-191, 2012.

DARNET, S. H.; SILVA, L. H. M.; RODRIGUES, A. M. C.; LINS, R. T. Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*) and patawa (*Oenocarpus bataua*) fruit pulp from the amazon region. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 488–491, 2011.

DEFRAEYE, T. Advanced computational modelling for drying processes – A review. **Applied Energy**, n. 131, p. 323-344, 2014.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, n.4, p214-219, 1980.

DIAS-SOUZA, M. V.; SANTOS, R. M.; CERÁVOLO, I. P.; COSENZA, G.; MARÇAL, P. H. F.; FIGUEIREDO, F. J. B. Euterpe oleracea pulp extract: Chemical analyses, antibiofilm activity against *Staphylococcus aureus*, cytotoxicity and interference on the activity of antimicrobial drugs. **Microbial Pathogenesis**, v. 114, p. 29–35, 2018.

EDRIS, E. A.; KALEMBA, D.; ADAMIEC, J.; PIATKOWSKI, M. Microencapsulation of *Nigella sativa* oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications. **Food Chemistry**, v. 204, p.326-333, 2016.

EGGERSDORFER, M.; WYSS, A. Carotenoids in human nutrition and health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 652, p. 18-26, 2018.

ENDRESS, B. A.; HORN, C. M.; GILMORE, M. P. *Mauritia flexuosa* palm swamps: Composition, structure and implications for conservation and management. **Forest Ecology and Management**, v. 302, p. 346–353, 2013.

ENGEL, B.; BACCAR, N. M.; MARQUARDR, L.; ROHFES, A. L. B. Emprego de Spray Dryer na indústria de alimentos: Uma breve revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 7, n. 2, p. 2–11, 2017.

FDA - Food and Drug Administration. (2016). **Hazard Analysis and Risk-Based Preventive Controls for Human Food: Guidance for Industry.**

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: principios e prática.** Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Influence of spray drying operating

conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties | Influência das condições operacionais da secagem por atomização nas propriedades de óleo de alecrim microencapsulado. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 33, n. SUPPL. 1, p. 171–178, 2013.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. DE. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 2, p. 157–165, 2012.

FORERO-DORIA, O.; GALLEGO, J.; VALDES, O.; PINZON-TOPAL, C.; SANTOS, L. S.; GUZMAN, L. Relationship between oxidative stability and antioxidant activity of oil extracted from the peel of *Mauritia flexuosa* fruits. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.123, p.2173–2178, 2015.

FORERO, D. P.; ORREGO, C. E.; PETERSON, D. G.; OSORIO, C. Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. **Food Chemistry**, n. 169, p. 85-91, 2015.

FREIRE, J. A. P.; BARROS, K. B. N. T; LIMA, L. K. F.; MARTINS, J. M.; ARAÚJO, Y. C.; OLIVEIRA, G. L. S.; AQUINO, J. S.; FERREIRA, P. M. P. Phytochemistry Profile, Nutritional Properties and Pharmacological Activities of *Mauritia flexuosa*. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 11, p. 2611–2622, 2016.

FUJITA, A.; SOUZA, V. B.; DAZA, L. D.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effects of spray-drying parameters on in vitro functional properties of Camu-Camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh): A typical Amazonian fruit. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 5, p. 1083–1091, 2017.

FUJITA, E.; VIEITES, R. L.; DAIUTO, É. R.; SMITH, R. E. Refrigerated storage of the fruits of buriti (*Mauritia flexuosa* L.). **Advances in Horticultural Science**, v. 28, n. 1, p. 3-8, 2014.

GAZEL FILHO, A.; LIMA, J. A. S. **O Buritizeiro (*Mauritia flexuosa* L.) e seu Potencial de utilização Embrapa Amapá**, 2001.

GHARSALLAOUI, A; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.

GOMES, W. F.; FRANÇA, F. R. M.; DENADAI, M.; ANDRADE, J. K. S.; OLIVEIRA, E. M. S.; BRITO, E. S.; RODRIGUES, S.; NARAIN, N. Effect of freeze- and spray-drying on physico-chemical characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 6, p. 2095–2102, 2018a.

GOMES, W. C.; FIGUEIRÊDO, R. F.; QUEIROZ, A. J. M.; RODRIGUES, A. L. P.; CRUZ, G.; VILLIS, P. C. M. Spray drying of the buriti pulp at different maltodextrin concentrations and temperature. **Ciência e Natura**, v. 40, e. 72, 2018b.

GONZÁLEZ-PEÑA, M. A., LOZADA-RAMÍREZ, J. D.; ORTEGA-REGULES, A. E. Antioxidant activities of spray-dried carotenoids using maltodextrin-Arabic gum as wall materials. **Bull Natl Res Cent**, n 45, 2021.

GOPINATHAN, M.; YUSOF, Y. A.; PUI, L. P. Effects of different drying methods on the physicochemical and antioxidant content of “cempedak” (*Artocarpus Integer* L.) powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 12, 2020.

GUINÉ, R. P. F. The drying of foods and its effect on the physical-chemical, sensorial and nutritional properties. **International Journal of Food Engineering**, v. 4, n. 2, p. 93–100, 2018.

HUI, Y. H.; BARTA, J.; CANO, M. P.; GUSEK, T. W.; SIDHU, S. J.; SINHA, K. N. **Fruits and Fruit Processing**. State Avenue, Ames, Iowa: Blackwell Publishing. 2006.

HUYNH, T. V.; CAFFIN, N.; DYKES, G. A.; BHANDARI, B. Optimization of the microencapsulation of lemon myrtle oil using Response Surface Methodology. **Drying Technology: An International Journal**, n. 26, p. 357-368, 2008.

IGUAL, M.; RAMIRES, S.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE. Optimization of spray drying conditions for lulo. **Powder Technology**. n. 256, p. 233-238, 2014.

JAYASUNDERA, M.; ADHIKARI, B.; HOWES, T.; ALDRED, P. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterisation. **Food Chemistry**, v. 128, n. 4, p. 1003–1016, 2011.

KANG, J.; XIE, C.; LI, Z.; NAGARAJAN, S.; SCHAUSS, A. G.; WU, T.; WU, X. Flavonoids from acai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp and their antioxidant and anti-inflammatory activities. **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 152–157, 2011.

KARAASLAN, I.; DALGIÇ, A. C. Spray drying of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, n.11, p.3014–3025, 2014.

KAULMANN, A.; BOHN, . Carotenoids, inflammation, and oxidative stress - implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention. **Nutrition Research**, v. 34, n. 11, p. 907-929, 2014.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 385–392, 2010.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D.; STATHOPOULOS, C. E. Microencapsulation of Gac oil: optimisation of spray drying conditions using response surface methodology. **Powder Technology**, 264, p. 298-309, 2014.

KOOLEN, H. H. F.; SILVA, F. M.A.; GOZZO, F. C.; SOUZA, A. Q.L.; SOUZA, A. D.L. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) by UPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 467–473, 2013.

KOPEC, R. E.; FAILLA, M. L. Recent advances in the bioaccessibility and bioavailability of carotenoids and effects of other dietary lipophiles. **Journal of Food Composition and Analysis**, n. 68, p. 16-30, 2018.

KRISHNAIAH, D.; NITHYANANDAM, R.; SARBATLY, R. A critical review on the spray drying of fruit extract: effect of additives on physicochemical properties. **Crit. Ver. Food Sci. Nutr.**, n. 54, p. 449-473, 2014.

LEHN, D. N.; ESQUERDO, V.M.; a , DAHLEM, M. A. J .; AGNOL, W. D.; SANTOS, A. C. F.; b , SOUZA, C. F. V.; b , PINTO, L. A. A. Microencapsulation of different oils rich in unsaturated fatty acids using dairy industry waste. **Journal of Cleaner Production**, v.196, p.665-673, 2018.

LI, Y.; AI, L.; YOKOYAMA, W.; SHOEMAKER, C. F.; WEI, M.; MA, J.; ZHONG, F. Properties of Chitosan-Microencapsulated Orange Oil Prepared by Spray-Drying and Its Stability to Detergents. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.3311–3319, 2013.

LI, J.; XIONG, S.; WANG, F.; REGENSTEIN, J. M.; LIU, R. Optimization of Microencapsulation of Fish Oil with Gum Arabic/Casein/Beta-Cyclodextrin Mixtures by Spray Drying. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 7, 2015.

LIU, R. H. Health-Promoting Components of Fruits and. **Advances in Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 384–392, 2013.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1092-1100, 2013.

LOCALI-PEREIRA, A. R.; KUBO, M. T. K.; FUZETTI, C. G.; NICOLETTI, V. R. Functional properties of physically pretreated kidney bean and mung bean flours and their performance in microencapsulation of carotenoid-rich oil. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, n. 845566, March, 2022.

MALACRIDA, C. R.; JORGE, N. Yellow Passion Fruit Seed Oil (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): Physical and Chemical Characteristics. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.55, n.1, p.127-134, 2012.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**. 4ed. Londres: George Godwin, 1985.

MATOS, F. S.; NUNES, Y. R. F.; SILVA, M. A. P.; OLIVEIRA, I. S. Variação biométrica de diásporos de buriti (*Mauritia flexuosa* L.f. – Arecaceae) em veredas em diferentes estágios de conservação. **Ciencia Florestal**, v. 24, n. 4, p. 833–842, 2014.

MATOS, K. A. N.; LIMA, D. P.; BARBOSA, A. P. P.; MERCADANTE, A. Z.; CHISTÉ, R. C. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, n. August 2018, p. 216–221, 2019.

MELÉNDEZ-MARÍNEZ, A. J. Carotenoides em Agroalimentación y Salud. **Editora Terracota**, México, 2017.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Na overview of carotenoids, apocarotenoids, and vitamin A in agro-food, nutrition, health, and disease. **Molecular Nutrition Food Research**, v, 63, n.

1801045, 2019.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; MAPELLI-BRAHM, P. STINCO, C. M., The colourless carotenoids phytoene and phytofluene: from dietary sources to their usefulness for the functional foods and nutricosmetics industries. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 67, April 2018, p. 91-103, 2018

MELO, W. S.; PENA, R. S.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Hygroscopic behavior of buriti (*Mauritia flexuosa*) fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 4, p. 935–940, 2011.

MILANEZ, J. T.; NEVES, L. C. ; SILVA, P. M. C. ; BASTOS, V. J. ; SHAHAB, M.; COLOMBO, R. C.; ROBERTO, S. R. Pre-harvest studies of buriti (*Mauritia flexuosa* L.F.), a Brazilian native fruit, for the characterization of ideal harvest point and ripening stages. **Scientia Horticulturae**, v. 202, p. 77–82, 2016.

MILANEZ, J. T.; NEVES, L. C.; COLOMBO, R. C.; SHAHAB, M.; ROBERTO, S R. Bioactive compounds and antioxidant activity of buriti fruits, during the postharvest, harvested at different ripening stages. **Scientia Horticulturae**, v. 227, n. August 2017, p. 10–21, 2018.

MOSER; P; FERREIRA, S. F.; NICOLETTI, V. R. Buriti oil microencapsulation in chickpea protein-pectin matrix as affected by spray drying parameters. **Food and Bioproducts Processing**, v. 17, p. 183-193, 2019.

MORAIS, R. A.; MELO, K. K. S.; OLIVEIRA, T. T. B.; TELES, J. S.; PELUZIO, J. M.; MARTINS, G. A. S. Caracterização química, física e tecnologia da farinha obtida a partir da casca de Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.). **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23307-23322, 2019.

MORAIS, B. D. M.; SILVA JUNIOR, M. E.; ANDRADE, S. A. C.; CONVERTI, A.; SILVA, M. F.; MACIEL, M. I. S. Optimization of Red Mombin Juice Spray Drying: Physicochemical and Sensory Analyses of Powders. **Chemical Engineering e Technology**, n.9, v. 43, p. 1832-1840, 2020.

MOVAHHED, M. K.; MOHEBBI, M. Spray drying and process optimization of carrot–celery juice. **Journal of Food Processing and Preservation**. n. 40, p. 212-225, 2015.

MULITERNO, M. M. RODRIGUES, D. ; LIMA, F. S. ; IDA, E. I.; KUROZAWA, L. E. Conversion/degradation of isoflavones and color alterations during the drying of okara. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 512–519, 2017.

MUZAFFAR, K; KUMAR, P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. **Powder Technology**. n. 279, p. 179-184, 2015.

NEMZER, B.; VARGAS, L.; XIA, X.; SINTARA, M.; FENG, H. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, v. 262, p. 242-250, 2018.

NOBRE, C. B.; SOUSA, E. O.; CAMILO, C. J.; MACHADO, J. F.; SILVA, J. M.F.L.; FILHO, J. R.; COUTINHO, H. D. M.; COSTA, J. G.M. Antioxidative effect and phytochemical profile

of natural products from the fruits of “babaçu” (*Orbignia speciosa*) and “buriti” (*Mauritia flexuosa*). **Food and Chemical Toxicology**, v. 121, p. 423–429, 2018.

NOLLET, L. M. L.; TOLDRÁ, F. **Handbook of Food Analysis**. Boca Raton- FL: CRC Press, 2015.

OIKONOMOPOULOU, V. P.; KROKIDA, M. K. Novel aspects of formation of food structure during drying. **Drying Technology**, v. 31, n. 9, p. 990–1007, 2013.

OLIVEIRA, D. M.; SIQUEIRA, E. P.; NUNES, Y. R.F.; COTA, B. B. Flavonoids from leaves of *Mauritia flexuosa*. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 4, p. 614–620, 2013.

ORDOÑEZ-SANTOS, L. E.; MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; VILLAMIZAR-VARGAS, R. H. Encapsulation of β -carotene extracted from peach palm residues: a stability study using two spray-dried processes. **Revista DYNA**, v.85, n.206, p. 128-134, 2018.

PARAMITA, V.; FURUTA, T.; YOSHII, H. High-Oil-Load Encapsulation of Medium-Chain Triglycerides and d-Limonene Mixture in Modified Starch by Spray Drying. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 2, 2012.

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.

RAMOS, A. S.; SOUZA, R. O.S; BOLETI, A. P. A.; BRUGINSKI, E. R.D.; LIMA, E. S.; CAMPOS, F. R.; MACHADO, M. B. Chemical characterization and antioxidant capacity of the araçá-pera (*Psidium acutangulum*): An exotic Amazon fruit. **Food Research International**, v. 75, p. 315–327, 2015.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2 ed. Campinas, SP. 2009.

RODRÍGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis**. HarvestPlu ed. Washington, DC and Cali: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT), 2004.

RODRIGUES, M. L.; SOUZA, A. R. M.; LIMA, J. C. R.; MOURA, C. J.; GERALDINE, R. M. Cinética da degradação e carotenoides e da alteração de cor do azeite de pequi submetido ao aquecimento em temperatura de fritura. **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1509-1515, 2013.

RODRÍGUEZ-PULIDO, F. J.; GIL-VICENTE, M.; GORDILLO, B.; HEREDIA, F. J.; GONZALEZ-MIRET, M. L. Measurement of ripening of raspberries (*Rubus idaeus L*) by near infrared and colorimetric imaging techniques. **journal food science an technology**. v. 54, n. 9, p.2797-2803, 2017.

ROUSTAPOUR, O. R., MAFTOON AZAD, N.; SARSHAR, M. Determination of pomegranate juice powder properties produced by a pilot plant spray dryer with a two-fluid nozzle. **Drying Technology**, n. 30, p. 1906-1917, 2012.

RIBEIRO, B. D.; COELHO, M. A. Z.; BARRETO, D. W. Production of concentrated natural beta-carotene from buriti (*Mauritia vinifera*) oil by enzymatic hydrolysis. **Food and**

Bioproducts Processing, v.90, p.141–147, 2012.

RIBEIRO, M. L. F.; ROSS, Y. H.; RIBEIRO, A. P. B.; NICOLETTI, V. R. Effects of maltodextrin content in double-layer emulsion for production and storage of spray-dried carotenoids-rich microcapsules. **Food and Bioproducts Processing**, v. 124, p. 208-221, 2020.

RITZOULIS, C. **Introduction To The Physical Chemistry Of Foods**. Boca Raton- FL: CRC Press, 2013.

SANDRI, D. O.; XISTO, A. L. R. P.; RODRIGUES, E. C.; MORAIS, E. C.; BARROS, W. M. Antioxidant activity and physicochemical characteristics of buriti pulp (*Mauritia flexuosa*) collected in the city of Diamantino - MTS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 3, p. 1–7, 2017.

SAMPAIO, M. B. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do buriti**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2011. 80 p.

SANTOS, P. D. F.; RUBIO, F. T. V.; BALIEIRO, J. C. C.; THOMAZINI, M.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Application of spray drying for production of microparticles containing the carotenoid-rich tucumã oil (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **LWT** v. 143, 111106, 2021

SANTANA, J. O.; PEIXOTO, S. V. Inatividade física e comportamentos adversos para a. **Revista Brasileira de Medicina do Exercício e do Esporte**, v. 23, n. 2, p. 103–108, 2017.

SANTANA, A. A.; OLIVEIRA, R. A.; KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J. Microencapsulation of pequi pulp by spray drying: use of modified starches as encapsulating agent. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 980-991. 2014.

SANTANA, A. A.; KUROZAWA, L. E.; OLIVEIRA, R. A. PARK, K. J. Influence of Process Conditions on the Physicochemical Properties of Pequi Powder Produced by Spray Drying.. **Drying Technology: An International Journal**, n.31, p. 825-836, 2013.

SANTANA, A. A.; CANO-HIGUITA, D. M.; OLIVEIRA, R. A.; TELIS, V. R. N. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Eutere edulis*) by spray drying. **Food Chemistry**. n. 212, p. 1-9, 2016.

SCHUCK, P.; DOLIVET, A.; JEANTET, R. **Analytical Methods For Food And Dairy Powders**. State, Avenue, Ames, Iowa: Jhon Wiley & Sons, 2012.

SCHIASSI, M. C. E. V.; SOUZA, V.R.; LAGO, A. M. T.; CAMPOS, L. G.; QUEIROZ, F. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food Chemistry**, v. 245, p.305–311, 2018.

SHANG, H.; CAO, Z.; ZHANG, H.; GUO, Y.; ZHAO, J.; WU, H. Physicochemical characterization and in vitro biological activities of polysaccharides from alfalfa (*Medicago sativa* L.) as affected by different drying methods. **Process Biochemistry**, n.103, p.39-49, 2021.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and

vegetable juices. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, p. 49–67, 2017.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity in plant products. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669–681, 2010.

SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C.; TEOFILO, R. F.; OLIVEIRA, I. R. N. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538–544, 2013.

SIMIÃO, C. S.; COLOMBO, G. M.; SCHMITZ, M. J.; RAMOS, P. B.; TESSER, M. B.; WASIELESKY JR, W.; MONSERRATE, J. M. Inclusion of Amazonian *Mauritia flexuosa* fruit pulp as functional feed in the diet for the juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Research**, n. 4, v. 51, p. 1731-1742, 2020.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSOA-FILHO, P. A. **Operações unitárias na indústria de alimentos**. São Paulo-SP: Editora LTC, 2016, 652 p.

TAUCHEN, J.; BORTL, L.; HUML, L.; MIKSATKOVA, P.; DOSKOCIL, I.; MARSIK, P.; VILLEGAS, P. P. P.; FLORES, Y. B.; DAMME, P. V.; LOJKA, B.; HAVLIK, J.; LAPCIK, O.; KOKOSKA, L. Phenolic composition, antioxidant and anti-proliferative activities of edible and medicinal plants from the Peruvian Amazon. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, n. 6, p. 728–737, 2016.

THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SIVAKUMAR, V. Influence of process conditions on the physicochemical properties of pomegranate juice in spray drying process; Modelling and optimization. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences** n. 16, p. 358-366, 2017.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 444–450, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 411–418, 2008.

TONON, R. V.; FREITAS, S. S.; HUBINGER, M. D. Spray drying of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice: effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.35, p.691–700, 2011.

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 and Technology**, v. 63, p. 91–102, 2017.

TURNER, L.; LIGNOU, S.; GAWTHROP, F. WAGSTAFF, C. Investigating the relationship of genotype and geographical location on volatile composition and sensory profile of celery (*Apium graveolens*). **Int. J. Mol. Sci**, n. 21, v. 22, 2021.

HU, Q.; GERHARDA, H.; UPADHYAYA, I.; VENKITANARAYANAN. K.; LUO, Y.

Antimicrobial eugenol nanoemulsion prepared by gum arabic and lecithin and evaluation of drying technologies. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.87, p. 130–140, 2016.

VASQUEZ-OCMÍN, P. G.; ALVARADO, L. F.; SOLÍS, V. S.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. Chemical characterization and oxidative stability of the oils from three morphotypes of *Mauritia flexuosa* L.f, from the Peruvian Amazon. **Grasas y Aceites**. v.61, n.4, p.390-397, 2010.

VEGA-MERCADO, H.; GÓNGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 271–289, 2001.

ZHANG, Z. H.; PENG, H.; MA, H.; ZENG, X. A. Effect of inlet air drying temperatures on the physicochemical properties and antioxidant activity of whey protein isolate-kale leaves chlorophyll (WPI-CH) microcapsules. **Journal of Food Engineering**, v. 245, p. 149–156, 2019.

ZOTARELLI, M. F.; SILVA, V. M.; DURIGON, A.; HUBINGER, M. D.; LAURINDO, J. B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**. v.305, p.447–454, 2017.