



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

THÁILA PIMENTEL ALBUQUERQUE MOURA

SECAGEM DA POLPA DE BACURI: AVALIAÇÃO E ESTABILIDADE DO PÓ

FORTALEZA

2022

THÁILA PIMENTEL ALBUQUERQUE MOURA

SECAGEM DA POLPA DE BACURI: AVALIAÇÃO E ESTABILIDADE DO PÓ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso

Co-orientadora: Profa. Dra. Andréa Cardoso de Aquino

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M889s Moura, Tháila Pimentel Albuquerque.
Secagem da polpa de bacuri: avaliação e estabilidade do pó / Tháila Pimentel Albuquerque Moura. – 2022.
115 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Coorientação: Profª. Dra. Andréa Cardoso de Aquino.

1. Amazônia. 2. Adjuvante. 3. Escoamento. 4. Compostos fenólicos. I. Título.

CDD 664

THÁILA PIMENTEL ALBUQUERQUE MOURA

SECAGEM DA POLPA DE BACURI: AVALIAÇÃO E ESTABILIDADE DO PÓ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em: 19/09/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Kaliana Sitonio Eça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Pesquisadora Dra Ana Cecília Poloni Rybka – Embrapa Semi-árido

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Alimentos, pelas informações prestadas e acolhimento.

Ao professor Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso, pela sua orientação, conselhos, paciência e inúmeras ajudas durante essa trajetória.

À professora Dra. Andrea Cardoso de Aquino, por ter me acolhido fortemente na instituição e ter disponibilizado o laboratório para a realização das análises.

À professora Dra. Sueli Rodrigues, por ter disponibilizado o laboratório para a realização das análises.

Aos meus pais, João Albuquerque e Deusirene Pimentel, por acreditar na minha profissão e me apoiar aonde quer que eu esteja.

Aos meus irmãos Tácito e Thalitta, por me incentivar a nunca desistir.

À Francisca, por sempre me alegrar com suas histórias da universidade.

Às amigas Karol, Neilane, Camila, Carlota e Ana Paula.

Ao professor Me. Francisco das Chagas Moraes de Moura e Maria do Socorro, por me ajudarem nessa trajetória.

Ao Davi, por me motivar todos os dias a continuar essa jornada e sempre estar ao meu lado como companheiro e amigo.

A Poliana Brito, por ter me incentivado na carreira acadêmica e a me inscrever no mestrado.

Ao professor Jurecir, por ter confiado em mim durante a minha trajetória acadêmica.

Ao Manoel de Jesus (*in memoriam*), dedico todo o meu conhecimento e amor pela área científica e por ter sido uma pessoa excepcional.

RESUMO

O bacuri (*Platonia insignis* Mart.), fruto de sabor agridoce e polpa clara, vem demonstrando ascensão no mercado brasileiro, pertence ao bioma Amazônico, porém seu plantio é regional e possui colheita sazonal, assim nem todas as regiões brasileiras têm acesso ao produto in natura. Desta forma, este trabalho teve como objetivo a obtenção da polpa de bacuri em pó através da liofilização e avaliação das características químicas, físicas e físico-químicas, e também a influência dos adjuvantes maltodextrina, goma Arábica e albumina. Foram determinadas as características físico-químicas da polpa integral. O pó da polpa de bacuri foi avaliado quanto à umidade, cor, higroscopicidade, compostos fenólicos, morfologia, escoamento e adsorção contendo 20% (m/m) dos adjuvantes de secagem. Após a avaliação de cada adjuvante foi aplicado o delineamento de misturas do tipo Simplex Centroides no qual foi escolhida a melhor mistura com base nas análises físicas e físico-químicas a fim de avaliar sua estabilidade durante 90 dias. A polpa de bacuri apresentou uma elevada acidez, com 3,21% de ácido cítrico, 122,27 mg GAE/100g de compostos fenólicos e baixos teores para cinzas, lipídios e fibras. Os pós de bacuri apresentaram umidade entre 2,33 e 2,76%, 182,22 e 386,90 mg GAE/100g de sólidos de compostos fenólicos e higroscopicidade 6,22 e 6,92%. Os adjuvantes contribuíram para uma maior luminosidade nos pós da polpa de bacuri em relação a sua polpa integral. Na avaliação morfológica, os pós apresentaram formas assimétricas, pequenas aglomerações e reentrâncias nos seus grânulos, as densidades variaram de 287,9 a 433,1 kg/m³ e os ângulos de atrito com a parede de 12,2 a 13,55°. Os pós da polpa de bacuri apresentaram escoamento aceitável, onde o índice de Carr e relação de Hausner variaram, respectivamente, de 23,21 a 25,80% e 1,30 a 1,34. Para as isotermas o melhor modelo foi o BET, com erros médios de 5,26% e características do tipo III. No delineamento de mistura a junção da goma Arábica e albumina obtiveram os melhores resultados para escoabilidade e conservação dos compostos fenólicos nos pós. Na sua estabilidade, foram observados resultados estáveis para umidade, higroscopicidade, pequenas alterações nos compostos fenólicos e baixa solubilidade. Logo, a adição de proteína no polissacarídeo goma Arábica potencializou seus resultados para obter um pó a nível industrial.

Palavras-chave: Amazônia; adjuvante; escoamento; compostos fenólicos.

ABSTRACT

The bacuri (*Platonia insignis* Mart.), fruit of bittersweet flavor and light pulp, has been demonstrating a rise in the Brazilian market, belongs to the Amazon biome, but its planting is regional and has seasonal harvest, so not all Brazilian regions have access to the product in natura. Thus, this study aimed to obtain bacuri pulp powder through lyophilization and evaluation of chemical, physical and physical-chemical characteristics, as well as the influence of adjuvants maltodextrin, Arabic gum and albumin. The physical-chemical characteristics of the whole pulp were determined. Bacuri pulp powder was evaluated for moisture, color, hygroscopicity, phenolic compounds, morphology, flow and adsorption containing 20% (m/m) of drying adjuvants. After the evaluation of each adjuvant, the design of Simplex Centroid mixtures was applied in which the best mixture was chosen based on physical and physicochemical analyses in order to evaluate its stability for 90 days. The bacuri pulp presented a high acidity, with 3,21% of citrus acid, 122,27 mg GAE/100g of phenolic compounds and low contents for ash, lipids and fibers. The bacuri powders presented moisture between 2,33 and 2,76%, 182,22 and 386,90 mg GAE/100g of phenolic compound solids and hygroscopicity 6,22 and 6,92%. The adjuvants contributed to a higher luminosity in the bacuri pulp powders in relation to its integral pulp. In the morphological evaluation, the powders presented asymmetric forms, small agglomerations and recesses in their granules, the densities ranged from 287,9 to 433,1 kg/m³ and the friction angles with the wall from 12,2 to 13,55°. The bacuri pulp powders showed acceptable flow, where Carr index and Hausner ratio ranged, respectively, from 23,21 to 25,80% and 1,30 to 1,34. For the isotherms the best model was the BET, with average errors of 5,26% and characteristics of type III. In the mixture design, the junction of Arabic gum and albumin obtained the best results for escoability and conservation of phenolic compounds in powders. In its stability, stable results were observed for moisture, hygroscopicity, small changes in phenolic compounds and low solubility. Therefore, the addition of protein in the polysaccharide gum Arabica enhanced its results to obtain a powder at the industrial level.

Keywords: Amazon; adjuvant; flow; phenolic compounds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Bacurizeiro de 40m de altura, com tronco de 2m de diâmetro.....	18
Figura 2	– Detalhes do bacurizeiro, flores de bacurizeiro (A) e frutos do bacurizeiro (B).....	19
Figura 3	– Diagrama de fases da água e seu estado em função da pressão e temperatura.....	24
Figura 4	– Fluxograma da caracterização e secagem das polpas de bacuri.....	31
Figura 5	– Micrografias (2000 e 500x) das partículas dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina (Figuras A e B), goma Arábica (Figuras C e D) e albumina (Figuras E e F).....	49
Figura 6	– Gráfico de dispersão da tensão de consolidação e tensão não confinada de deslizamento para os pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	55
Figura 7	– Isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina a 25 °C.....	59
Figura 8	– Isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina a 40 °C.....	60
Figura 9	– Diagrama ternário da higroscopicidade do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	64
Figura 10	– Diagrama ternário da luminosidade do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	66
Figura 11	– Diagrama ternário da coordenada a* do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	67
Figura 12	– Diagrama ternário da coordenada b* do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	68
Figura 13	– Diagrama ternário do índice de Carr do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	70
Figura 14	– Diagrama ternário da relação de Hausner do pó da polpa de bacuri	

contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina..... 71

Figura 15 – Diagrama ternário dos compostos fenólicos do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina..... 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Classificação da fluidez de pós.....	38
Tabela 2	– Delineamento de mistura dos adjuvantes de secagem.....	40
Tabela 3	– Caracterização físico-química da polpa de bacuri integral.....	43
Tabela 4	– Valores médios da caracterização físico-química dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	47
Tabela 5	– Densidade, ângulo de atrito com a parede, IC e RH dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	52
Tabela 6	– Resultados dos ajustes das isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.....	57
Tabela 7	– Resultados do delineamento de mistura dos pós da polpa de bacuri para os parâmetros de umidade, higroscopicidade, cor, índice de Carr, relação de Hausner e compostos fenólicos.....	62
Tabela 8	– Avaliação da estabilidade do pó da polpa de bacuri com a mistura de goma Arábica e albumina (20% m/m).....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
BET	Brunauer, Emmett e Teller
CEASA	Centro Estadual de Abastecimento
DFI	Diclorofenolindol
DNS	Ácido dinitrosalicílico
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PA	Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivos gerais.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	Potencial das frutas exóticas da Amazônia.....	17
3.1.1	<i>Nomenclatura.....</i>	20
3.1.2	<i>Comercialização.....</i>	20
3.1.3	<i>Produtos e utilização.....</i>	21
3.1.4	<i>Extração da polpa.....</i>	21
3.1.5	<i>Bacuri e seus nutrientes.....</i>	22
3.2	Métodos de secagem.....	23
3.2.1	<i>Secagem por liofilização.....</i>	23
3.3	Alimentos em pó.....	25
3.4	Agentes adjuvantes de secagem.....	26
3.5	Isoterma de adsorção.....	27
3.5.1	<i>Modelo de BET.....</i>	28
3.5.2	<i>Modelo de GAB.....</i>	28
3.5.3	<i>Modelo de HENDERSON.....</i>	29
3.5.4	<i>Modelo de OSWIN.....</i>	29
4	METODOLOGIA.....	31
4.1	Caracterização da polpa e do pó de bacuri.....	31
4.2	Aquisição das matérias-primas.....	32
4.2.1	<i>Análises físico-químicas da polpa de bacuri integral.....</i>	32
4.2.1.1	<i>pH.....</i>	32
4.2.1.2	<i>Acidez total titulável.....</i>	32
4.2.1.3	<i>Sólidos solúveis totais (SST).....</i>	33
4.2.1.4	<i>Açúcares redutores e totais.....</i>	33
4.2.1.5	<i>Ácido ascórbico.....</i>	33
4.2.1.6	<i>Atividade de água.....</i>	34
4.2.1.7	<i>Umidade.....</i>	34

4.2.1.8	<i>Resíduo mineral por incineração – Cinzas</i>	34
4.2.1.9	<i>Lipídios</i>	34
4.2.1.10	<i>Proteínas</i>	35
4.2.1.11	<i>Determinação de fibra bruta</i>	35
4.2.1.12	<i>Compostos fenólicos</i>	35
4.1.2.13	<i>Avaliação da cor</i>	36
4.3	Secagem das polpas de bacuri	36
4.3.1	<i>Análises físicas e físico-químicas dos pós da polpa de bacuri</i>	37
4.3.2	<i>Higroscopicidade</i>	37
4.3.3	<i>Morfologia dos pós</i>	37
4.3.4	<i>Propriedades de escoamento dos pós da polpa de bacuri</i>	38
4.3.5	<i>Isoterma de adsorção dos pós</i>	39
4.4	Delineamento de mistura Simples Centroides	40
4.5	Avaliação da estabilidade do pó de bacuri	41
4.6	Análise estatística	42
5	RESULTADOS	43
5.1	Caracterização físico-química da polpa integral	43
5.2	Resultados das análises físico-químicas dos pós da polpa de bacuri	46
5.2.1	<i>Análises físico-químicas</i>	46
5.2.2	<i>Morfologia dos pós – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	49
5.2.3	<i>Propriedades de escoamento dos pós da polpa de bacuri</i>	52
5.2.4	<i>Isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri</i>	56
5.3	Resultados do delineamento de mistura dos adjuvantes de secagem	61
5.3.1	<i>Avaliação da umidade e higroscopicidade</i>	63
5.3.2	<i>Avaliação da cor</i>	65
5.3.3	<i>Avaliação do índice de Carr (IC) e relação de Hausner (RH)</i>	68
5.3.4	<i>Avaliação dos compostos fenólicos</i>	71
5.4	Escolha da formulação para estabilidade	73
5.5	Resultados da avaliação da estabilidade do pó da polpa de bacuri	74
6	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	79
	APÊNDICE A – POLPA DE BACURI INTEGRAL SEM ADIÇÃO DOS ADJUVANTES DE SECAGEM	

APÊNDICE B – POLPA DE BACURI INTEGRAL E EM PÓ COM 20% (M/M) DOS ADJUVANTES MALTODEXTRINA (A, B, C), GOMA ARÁBICA (D, E, F) E ALBUMINA (G, H, I)	95
APÊNDICE C – ADJUVANTE ALBUMINA.....	96
APÊNDICE D – ANÁLISE EDS DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE MALTODEXTRINA.....	97
APÊNDICE E – ANÁLISE EDS DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE GOMA ARÁBICA.....	98
APÊNDICE F – ANÁLISE EDS DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE ALBUMINA.....	99
APÊNDICE G – ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE MALTODEXTRINA A 25 E 40 °C.....	100
APÊNDICE H – ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE GOMA ARÁBICA A 25 E 40 °C.....	101
APÊNDICE I – ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE ALBUMINA A 25 E 40 °C.....	102
APÊNDICE J – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA UMIDADE DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	103
APÊNDICE K – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA HIGROSCOPICIDADE DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	104
APÊNDICE L – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA LUMINOSIDADE DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	105
APÊNDICE M – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA CROMATICIDADE VERMELHO E VERDE (A) DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	106
APÊNDICE N – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA CROMATICIDADE AMARELO E	107

AZUL (B) DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	
APÊNDICE O – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA ÍNDICE DE CARR (IC) DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	108
APÊNDICE P – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA RELAÇÃO DE HAUSNER (RH) DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	109
APÊNDICE Q – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS COMPOSTOS FENÓLICOS DOS PÓS DA POLPA DE BACURI.....	110
APÊNDICE R – COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE DO PÓ DA POLPA DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E ALBUMINA (20% M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO.....	111
APÊNDICE S – COMPORTAMENTO DO TEOR DE HIGROSCOPICIDADE DO PÓ DA POLPA DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E ALBUMINA (20% M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO.....	112
APÊNDICE T – COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS DO PÓ DA POLPA DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E ALBUMINA (20% M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO.....	113
APÊNDICE U – COMPORTAMENTO DA SOLUBILIDADE DO PÓ DA POLPA DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E ALBUMINA (20% M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO.....	114
ANEXO A – NÍVEL DO FLUXO DE UM PRODUTO: “FLUXO LIVRE” VERSUS “SEM FLUXO”.....	115

1 INTRODUÇÃO

A diversidade e potencialidade dos frutos da Amazônia, aliada à atenção dada aos frutos exóticos tropicais, torna significativa a perspectiva de sua comercialização e seu aproveitamento industrial. Do nordeste da Amazônia até o Piauí uma espécie frutífera vem demonstrando ascensão no mercado destes insumos, como também nos sistemas de produção das comunidades locais, a *Platonia insignis* Mart., popularmente conhecida como “bacuri” (MEDINA; FERREIRA, 2004; LUSTOSA *et al.*, 2016).

O bacurizeiro é uma espécie arbórea a qual dela se aproveita tanto a madeira quanto o fruto (dupla aptidão). Nativa da floresta amazônica, seus frutos possuem aroma e sabor agradáveis, sendo considerado para muitos o fruto de melhor sabor da região da Amazônia (CARVALHO; NASCIMENTO, 2018).

Suas características sensoriais fazem com que a fruta seja explorada em diversas áreas do ramo alimentício, tais como: picolés, sorvetes, geleias, licor, sucos e bebidas lácteas (CARVALHO; NASCIMENTO, 2018; SHANLEY; MEDINA; FERREIRA, 2010). Por conta da sua regionalidade, somada à falta de incentivos na sua produção agrícola bem como a carência de soluções tecnológicas inovadoras para sua exploração, apenas uma parcela dos brasileiros conhece e consome o bacuri.

Uma das formas que pode favorecer a venda e a industrialização do fruto em diversas regiões do Brasil é a comercialização da polpa em pó, que pode se tornar uma maneira eficaz de garantir o abastecimento do produto independentemente de sua sazonalidade natural. Desse modo, a secagem por liofilização contribuirá para tal efeito. Embora existam outros métodos mais rápidos de secagem, a exemplo da aspersão em *spray-dryer* (CELESTINO, 2010; SABAREZ, 2021), a liofilização torna-se o método mais indicado para a polpa de bacuri, uma vez que esta é viscosa e rica em fibras, o que dificulta sua secagem em outros equipamentos de maneira a obter bons resultados. As características da polpa dificultam a secagem contínua em *spray-dryer*, resultando em entupimentos nos bicos de aspersão e/ou aspersões deficientes.

As tecnologias de secagem são operações importantes para reduzir o teor de umidade dos alimentos e torná-los estáveis. Os produtos finais são normalmente nas formas de pós, flocos, grânulos, folhas ou partículas em vários formatos. Sua forma vai depender da tecnologia de secagem empregada ao produto (MENON; STOJCESKA; TASSOU, 2020).

Independentemente do método escolhido na secagem de polpas de frutas, deve-se considerar a qualidade do produto obtido. Em um alimento em pó algumas características são desejáveis, tais como, baixa higroscopicidade, motivo pelo qual é oportuna a utilização de agentes carreadores ou adjuvantes. Tais adjuvantes possuem a finalidade de promover um melhor manuseio do produto final obtido, conferindo-lhe maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente, bem como tornando-o menos higroscópico (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

Levando em consideração esses aspectos, a obtenção da secagem da polpa de bacuri por liofilização pode tornar a sua comercialização mais difundida por diversas regiões do país, auxiliando do pequeno ao grande processador de frutas típicas da região amazônica. Além disso, esse método auxilia na preservação da cor original da polpa que é tipicamente clara. Para os consumidores, por sua vez, poderão usufruir da fruta em qualquer época do ano, além de facilitar o seu armazenamento domiciliar com um produto com elevada vida útil.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Obtenção e avaliação da qualidade do pó da polpa de bacuri liofilizada contendo diferentes adjuvantes de secagem.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos o presente trabalho buscou:

- Realizar análises físicas e físico-químicas da polpa de bacuri integral e dos pós com maltodextrina, goma Arábica e albumina obtidas por liofilização;
- Avaliar as características de escoamento e os aspectos morfológicos dos pós da polpa de bacuri com os adjuvantes maltodextrina, goma Arábica e albumina;
- Avaliar a influência da concentração dos adjuvantes de secagem através de características físicas, físico-químicas e de escoamento;
- Avaliar o comportamento higroscópico através da determinação das isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri com maltodextrina, goma Arábica e albumina;
- Selecionar a melhor concentração de adjuvante para o pó da polpa de bacuri;
- Avaliar a estabilidade do pó de bacuri selecionado ao longo de 90 dias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Potencial das frutas exóticas da Amazônia

Por possuir um vasto território, posição geográfica, clima e solo o Brasil é um dos maiores produtores de frutos tropicais e subtropicais. Sendo considerado o terceiro maior produtor mundial de frutas, com 40 milhões de toneladas produzidos nos 2,054 milhões de hectares em todo o país. O Brasil fica atrás apenas da China e da Índia como produtor e exportador de frutas (KIST; CARVALHO; BELING, 2021).

O país se destaca por possuir um dos maiores biomas naturais do mundo, a Amazônia, a qual abrange um território de 4,2 milhões de km², na qual crescem 2.500 espécies de árvores e detêm 30% das 100 mil espécies de plantas na América do Sul. A região abriga também grande riqueza cultural, incluindo o conhecimento tradicional sobre os usos e a forma de explorar esses recursos naturais sem esgotá-los (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

A região amazônica além de ser riquíssima possui uma das maiores diversidades de frutas exóticas no mundo, gradualmente com o incentivo na agricultura a exportação e produção local dessas frutas poderá ganhar visibilidade das indústrias alimentícias. Trinta e um por cento das frutas frescas e processadas produzidas no Brasil são exportadas para diferentes partes do mundo. Uma grande variedade de frutas exóticas ou nativas é consumida no Brasil, e elas representam uma fonte potencial de antioxidantes na dieta, sabores e aromas únicos (UEKANE *et al.*, 2017). Das frutas exóticas mais conhecidas e consumidas no país podem ser citadas: o açaí, cupuaçu, acerola, caju, buriti, cacau, caqui, guaraná, jabuticaba, jambo, pitomba, graviola, tamarindo, umbu e bacuri (RODRIGUES; SILVA; BRITO, 2018).

Atualmente o bacuri vem ganhando destaque pelos grandes chefs da gastronomia, pois os mesmos estão introduzindo o fruto nas elaborações de seus pratos, tanto para as preparações doces quanto para pratos salgados. Nos últimos anos o crescimento da procura do fruto fez com que os agricultores passassem a aumentar a sua produção, que antes era local e para consumo próprio (MEDINA; FERREIRA, 2004). O potencial do bacuri pode ser comparado ao do açaí, que inicialmente era um alimento de cunho regional Paraense e teve uma valorização em diversos ramos na indústria alimentícia, sendo que em 2019 o açaí já era acessível em diversas regiões do mundo, na forma de sorvete, integral ou mesmo no formato de polpa.

O bacurizeiro (*Platonia insignis* Mart.) é uma planta nativa do Brasil de porte arbóreo que pertence à família *Clusiaceae*, subfamília *Clusioideae* e ao gênero *Platonia* Mart. Costuma se desenvolver nos biomas da Amazônia, no nordeste brasileiro (Piauí e Maranhão) e uma pequena parcela de plantio no estado do Mato Grosso e Tocantins, mas também se pode encontrar o bacuri nas regiões da Guiana e nos países Colômbia e Paraguai (CHITARRA; CHITARRA, 2006).

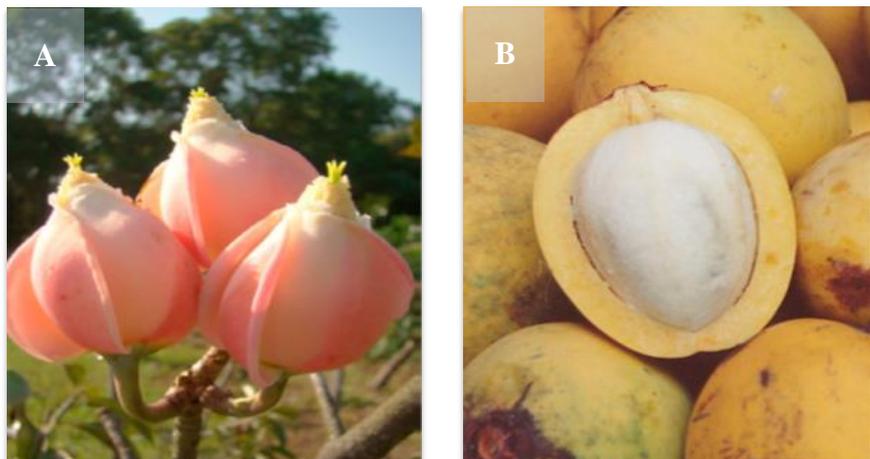
De clima equatorial o bacurizeiro pode atingir de 15 a 25 m de altura, mas há relatos que quando a planta é bem desenvolvida pode chegar de 30-40 m de altura, como se pode observar na Figura 1 (HOMMA; CARVALHO; MENEZES, 2010). A árvore possui o tronco fino e retilíneo e suas flores são hermafroditas, consistindo de 4 a 6 pétalas que são rosadas e vermelhas (Figura 2A) com numerosos estames, reunidos em feixes de 5 opostos às pétalas (JACOMINO; PINTO; GALLON, 2018; CARVALHO; NASCIMENTO, 2018).

Figura 1 – Bacurizeiro de 40m de altura, com tronco de 2m de diâmetro.



Fonte: Homma; Carvalho; Menezes (2010).

Figura 2 – Detalhes do bacurizeiro, flores de bacurizeiro (A) e frutos do bacurizeiro (B).



Fonte: Carvalho; Nascimento (2018).

O fruto é do tipo baga uniloculada cujo pericarpo é bastante espesso e carnosos, com o formato arredondado, ovalado ou achatado, que pode ser observado na Figura 2B (MOURÃO; BELTRATI, 1995). O bacuri em maior parte é constituído pelo epicarpo, com consistência rígido-coriácea e de espessura que pode variar entre 0,7 cm a 2,0 cm, representando em média 60 a 75% do peso total do fruto, já o mesocarpo (parte comestível) possui textura viscosa e consistente que possui 17 a 20% do peso do fruto (CARVALHO; NAZARÉ; NASCIMENTO, 2003).

Para considerar o bacuri maduro é necessário que o mesmo se desprenda da planta mãe, deste modo à colheita é realizada no solo e devido ao seu epicarpo ser resistente o mesmo não sofre danos ao cair do bacurizeiro. Por ser um fruto não-climatérico o seu tempo de maturação pode ser extenso, pois se houver colheita antes do tempo ele não continuará amadurecendo e conseqüentemente haverá alterações nas suas características sensoriais passando do estágio verde para a senescência (CARVALHO; NASCIMENTO, 2018; FONTENELE *et al.*, 2010).

A fruta madura possui coloração verde-amarelada ou amarela uniforme. A sua parte comestível tem textura viscosa e ao mesmo tempo firme com odor agridoce, a cor da sua polpa é esbranquiçada, mas ao entrar em contato com o meio externo começa a oxidar e escurecer, por esse motivo encontra-se em maior abundância produtos congelados a base de bacuri ao invés da fruta in natura (CARVALHO; NASCIMENTO, 2018; FONTENELE *et al.*, 2010).

3.1.1 *Nomenclatura*

Há várias nomeações para o bacuri. O primeiro nome a ser registrado foi dado por Claude D'Abbeville em 1614, denominando a fruta de Pacuri que era o nome dado à aldeia que cultivava a planta na região amazônica (D'ABBEVILLE, 2008). No entanto, podem ser encontradas diferentes denominações, como: bacuri-açu, bacuri grande, bacori, bakury, pakury, bocori, bacoriba, bacuriuba, ibá-curi-yba, ibacupari, ibacopari, ibacori, ibacuri, ibacurapari, ybacuri, ibicura pari, pacori, pacuri, pacoru, pacuru, pacuriuva, paquori, ubacuri, ubacury, bulandim e landirana (CARVALHO; NASCIMENTO, 2018).

O nome bacuri é originário da língua Tupi, que tem o significado de “o que amadurece logo cai”, em referência ao fato de que o fruto é coletado no solo e não colhido da sua árvore (FONSECA, 1954). Um dos motivos da diversidade de escrita para denominar o fruto foi decorrente de ser uma língua diferente para os historiadores aos quais não eram familiarizados.

3.1.2 *Comercialização*

A região Amazônica se destaca por possuir um dos maiores biomas naturais, apresentando uma diversidade de frutas exóticas, sendo frutas domésticas ou cultivadas com grande potencial agroindustrial e ainda pouco exploradas. Dentre essas espécies destaca-se o bacuri (*Platonia insignis* Mart.) por sua importância econômica nas regiões Norte e Nordeste do país (BEZERRA *et al.*, 2005).

A comercialização do bacuri integral costuma ocorrer nas Centrais de Abastecimento (CEASA) e em feiras livres de Belém - PA, Manaus - AM, São Luís - MA e Teresina - PI. As polpas da fruta congelada, sorvetes e picolés são vendidos nos supermercados e sorveterias nas capitais a preços iguais ou superiores aos de outras frutas tropicais como o cupuaçu, açaí e a graviola. Portanto, a médio ou longo prazo, essa espécie pode se estabelecer como uma nova alternativa para os mercados interno e externo de frutas exóticas (AGUIAR *et al.*, 2008).

No Brasil, a produção do fruto predomina em duas regiões: Norte, onde a produção em 2017 foi de 1.579 toneladas, contribuindo com 86,4% da produção total; e o Nordeste, onde ocorreu a obtenção de 248 toneladas, representando 13,5%. O estado do Pará é responsável por 49,2% do total de bacuri produzido no Brasil, que possui

2.700 estabelecimentos agropecuários responsáveis pela produção da fruta (BOTELHO *et al.*, 2020).

As formas mais comercializadas do bacuri são in natura e em polpas para a produção de vitaminas ou sucos. Por possuir um valor comercial superior às outras frutas exóticas e pela sua produção ser de baixa escala, o seu processamento acaba sendo restrito (GUÉNEAU *et al.*, 2020).

3.1.3 Produtos e utilização

Existe uma variedade de produtos que podem ser elaborados com o bacuri. Com a extração da sua polpa é possível desenvolver produtos como: picolés, sorvetes, licor, bebidas lácteas, cervejas e cachaças; na produção de geleias e doces geralmente utiliza-se a sua casca, mas pode ser realizada com sua polpa, já a semente da fruta (extração do óleo) costuma ser utilizada por muitas indústrias de cosméticos que buscam a marca da sustentabilidade em seus produtos (CARVALHO; NASCIMENTO, 2018).

Alguns agricultores além de comercializar os frutos do bacurizeiro, plantam a árvore para o aproveitamento da sua madeira. O modelo de negócio baseado na extração da madeira demonstra não ser rentável ao longo prazo, visto que para que tal negócio mantenha seu fluxo produtivo e econômico, torna-se necessário a disponibilidade de vastos territórios de plantações onde se permita a contínua extração das árvores. Em contrapartida, a extração dos frutos se revela mais sustentável tanto na perspectiva ambiental quanto econômica, uma vez que as árvores preservadas irão continuamente produzir o fruto, muito embora a sazonalidade da colheita seja relativamente demorada (SHANLEY; MEDINA; FERREIRA, 2010).

3.1.4 Extração da polpa

Quase todo o processamento da polpa de bacuri é feito manualmente. Tanto o setor artesanal quanto industrial tem fatores que limitam a agilidade durante o despulpamento da fruta, pois as despulpadoras existentes no mercado não são adequadas para o processamento do bacuri, as quais ocasionam ferimentos nas sementes, o que causa a sua desvalorização tanto pelos fragmentos de cor escura que se misturam com a polpa, como, principalmente, por provocar exsudação de resina nas sementes,

conferindo sabor adstringente. Deste modo, as indústrias acabam adquirindo a polpa através dos agricultores (CARVALHO; NASCIMENTO, 2018).

Porém, a valorização dos frutos, mediante o despolpamento, serviria de estímulo para incentivar o manejo e o plantio. Há, portanto, necessidade de que instituições de fomento à pesquisa, pesquisadores e indústrias sejam envolvidas nesse desafio (HOMMA *et al.*, 2018).

3.1.5 Bacuri e seus nutrientes

O bacuri vem demonstrando possuir um grande potencial de pesquisa, pois em sua composição encontram-se diversos antioxidantes relacionados à saúde e uma grande quantidade de vitaminas, ácidos graxos, ácido ascórbico, minerais, fibras e níveis consideráveis de compostos bioativos que transformam em uma fruta tropical exótica promissora (TEIXEIRA *et al.*, 2019).

De acordo com Hiane *et al.* (2003), a polpa do bacuri possui uma vasta quantidade de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, predominando o ácido oleico, palmítico, linoleico e o ácido láurico. Os ácidos graxos exercem inúmeros benefícios à saúde. Os mais conhecidos são o ômega 3 (ω -3), o ômega 6 (ω -6) e o ômega 9 (ω -9) que, em quantidades adequadas, desempenham papel importante na prevenção de doenças cardiovasculares (GUIA FUNCIONAIS, 2015). Além dos ácidos graxos essenciais presente na fruta, o seu conjunto de nutrientes auxiliam no bom funcionamento do organismo humano, prevenindo o aparecimento das doenças crônicas não transmissíveis.

Além dos nutrientes citados acima a polpa do bacuri possui elevados teores de pectina, que é uma fibra solúvel que atua como espessante e geleificante, propriedades de interesse para as indústrias processadoras de alimentos, pois ao invés de utilizar meios artificiais para oferecer uma melhor textura ao produto final, a empresa poderá adicionar a substância oriunda de um meio natural para obter o mesmo resultado (SANTOS *et al.*, 2013).

No que se refere aos minerais, à polpa de bacuri apresenta bons teores de potássio, fósforo, cálcio e razoável teor de ferro. Diversas vitaminas, compostos fenólicos e compostos bioativos também participam da composição da porção comestível da fruta, porém em baixas concentrações (SANTOS *et al.*, 2013; CARVALHO; NASCIMENTO, 2018).

3.2 Métodos de secagem

A secagem é uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para conservar os alimentos, uma vez que ao diminuir a sua umidade, bem como sua atividade de água, cria condições desfavoráveis para o crescimento microbiano. Esse método possui inúmeras vantagens, entre as quais pode-se citar a conservação do produto, a redução do seu peso, com a consequente redução do custo de transporte e armazenamento refrigerado e prolonga a vida útil do alimento (CELESTINO, 2010; CORNEJO; NOGUEIRA; WILBERG, 2003; VIANA *et al.*, 2020).

Existem duas maneiras de se realizar a secagem ou desidratação de um produto, que são por meio da secagem natural ou secagem forçada. No processo natural é utilizado o sol para retirar a umidade do produto, esse método é muito utilizado na região nordeste que possui a cultura de comercializar a carne de sol ou carne seca (CELESTINO, 2010).

Na secagem forçada, muito utilizada pela indústria de alimentos, utilizam-se diversos métodos e equipamentos, tais como, secadores de bandeja, secadores de esteira, secadores de tambor rotativo, secadores de leito fluidizado, secadores por aspersão, tipo “spray dryer” e liofilizadores (CELESTINO, 2010).

3.2.1 Secagem por Liofilização

A liofilização é um processo de secagem que não utiliza altas temperaturas, deste modo, produz um produto de melhor qualidade por manter suas características físicas e sensoriais menos prejudicadas. É um método de secagem indicado aos fabricantes que querem manter quantidades consideráveis de antioxidantes, ácido ascórbico, carotenoides, compostos fenólicos, entre outros (PARK *et al.*, 2007). Além das mínimas perdas de nutrientes, outra vantagem desse método é a fácil reidratação do produto seco por conta da porosidade do pó (CELESTINO, 2010).

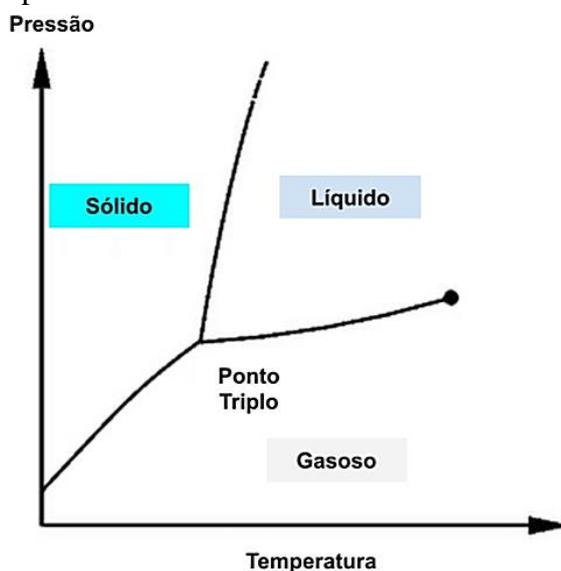
O método de liofilização baseia-se na retirada de água do alimento através da sublimação, onde o material congelado é submetido a baixas pressões e o produto final costuma apresentar uma umidade final inferior a 3% (CELESTINO, 2010; MARQUES; COSTA, 2015).

A secagem por liofilização pode ser dividida em 3 etapas: congelamento, sublimação e dessorção. Na primeira etapa ocorre o congelamento, onde são formados

os cristais de gelo e etapa de cristalização que influenciará na estrutura final do produto seco, pois quanto menor forem os cristais de gelo menos danos serão causados ao alimento (MARQUES; COSTA, 2015).

No estágio de sublimação ou secagem primária à água congelada é removida por sublimação. E para que isso ocorra, o material congelado deve permanecer a uma temperatura e pressão inferior ao ponto triplo da água (Figura 3). Nessa etapa da liofilização ocorre a grande retirada da água do produto, mas o seu interior continua sob congelamento (MARQUES; COSTA, 2015).

Figura 3 – Diagrama de fases da água e seu estado em função da pressão e temperatura.



Fonte: Elias (2022).

Na dessorção é realizada a retirada da água adsorvida nos sólidos do produto, sendo empregadas temperaturas entre 20 a 60 °C. Ao final da liofilização, devido às baixas temperaturas utilizadas o produto pode manter sua estrutura mais preservada (MARQUES; COSTA, 2015).

Os produtos liofilizados conseguem atingir alto padrão de qualidade de alimento em pó em relação à cor, sabor e textura. Todavia, seu alto custo e o longo tempo de processamento se tornam fatores que minimizam o uso dessa metodologia (SHOFIAN *et al.*, 2011).

3.3 Alimentos em pó

Existem no mercado uma variedade de alimentos em pó, tais como, sopas instantâneas, soja liofilizada, especiarias, suplementos vitamínicos, entre outros. Onde o principal objetivo da secagem é diminuir o volume e massa do alimento transformando-o em pequenas partículas. O tamanho das partículas resultantes da secagem vai depender da sua finalidade, possuindo grande variação (PALZER, 2018; DHANALAKSHMI, GHOSAL, BHATTACHARYA, 2011).

Algumas análises são realizadas a fim de avaliar as propriedades físicas, bem como suas características e comportamentos durante o processamento, manuseio e armazenamento dos pós (JAYA; DAS, 2004). De acordo com Dedavid; Gomes e Machado (2007), o microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um instrumento bastante versátil e indicado para observar as micropartículas e estrutura dos pós ou grânulos resultantes da liofilização, tendo em vista que, com essa observação pode-se verificar o quão solúvel será o alimento seco ao entrar em contato com a água fria ou quente (MALISKA, 2012).

As produções dos alimentos secos buscam minimizar as perdas, aumentando o aproveitamento dos insumos, sendo ele subproduto ou não, com o intuito de prolongar a sua vida útil sem abrir mão da qualidade. Além disso, as indústrias estão buscando oferecer aos consumidores novas experiências gastronômicas com a finalidade de preservar as condições sensoriais e nutritivas dos alimentos em pó (LEONARDI; AZEVEDO, 2018).

Moreira *et al.* (2013), observaram reduções no teor de ácido ascórbico após a liofilização da polpa de manga, o que pode ser explicado pela alta porosidade dos produtos liofilizados, aumentando a exposição ao oxigênio e posterior degradação oxidativa. Contudo, os autores frisaram que mesmo com as perdas durante o processamento os valores de vitamina C se mantiveram nos padrões de ingestão diária recomendada (IDR) (BRASIL, 2005).

Quanto à capacidade de reidratação dos pós alimentícios, ocorrem em quatro etapas. A primeira, molhabilidade, consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó devido à capilaridade. A segunda, imersibilidade, corresponde à imersão das partículas ou de porções de pó no líquido. A terceira etapa, dispersibilidade, representando a dispersão. E na quarta etapa, a solubilidade representa a dissolução das partículas pelo líquido, quando são solúveis (AZEVEDO *et al.*, 2011).

Durante o armazenamento prolongado, os alimentos secos costumam adquirir umidade, ao qual torna um critério de qualidade para a avaliação dos alimentos em pó, uma vez que a grande maioria destes podem se degradar na presença de água (SILVA *et al.*, 2010). Produtos em que sua composição possui muitos açúcares, tais como sacarose, glicose e frutose são, habitualmente, muito higroscópicos e esses açúcares são responsáveis por intensas interações com as moléculas de água. Como a higroscopicidade de um alimento está ligada à sua estabilidade física, química e microbiológica, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico dos alimentos (OLIVEIRA, COSTA; AFONSO, 2014). O uso de embalagens combinado com o conhecimento higroscópico do produto faz com que a escolha da embalagem seja mais correta visando seu armazenamento. A função principal da embalagem é proteger o alimento de fatores extrínsecos, no caso de produtos secos, a embalagem irá minimizar a entrada de ar, adsorção de água, possíveis oxidações e reações enzimáticas, atuando como uma barreira protetora.

O estudo das propriedades de escoamento dos pós é essencial para se conhecer as melhores formas de armazenamento dos produtos e sua vida útil, uma vez que os pós a base de frutas, com o passar do tempo costumam perder a sua fluidez (FITZPATRICK *et al.*, 2004). A fluidez dos pós depende do tamanho das partículas, da densidade e também das forças coesivas entre as partículas, diante disso, Azevedo *et al.* (2011), enfatizam que o aumento do diâmetro das partículas e a porosidade dos grânulos tornam o produto maior e mais leve, resultando em um pó com melhores características de reconstituição, melhorando a sua fluidez (XU; PEGG; KERR, 2016).

O índice de Carr (IC) e relação de Hausner (RH) são dois parâmetros utilizados para se estudar a escoabilidade dos pós sendo alimentícios ou não. O IC representa o índice de compressibilidade do pó, enquanto que a RH é usada para classificar a sua coesão. Quanto mais altos forem os valores desses parâmetros menos fluidos serão os pós (AZIZ *et al.*, 2018).

3.4 Agentes adjuvantes de secagem

Tendo em vista que a maioria das polpas de frutas possuem altos teores de açúcares, a adição dos adjuvantes no processo de secagem é considerada um procedimento indispensável, pois esses aditivos ao serem depositados na fruta formam uma fina camada na superfície das partículas secas, protegendo os componentes, o que

evita, por exemplo, a caramelização dos açúcares (SOUSA *et al.*, 2015; ANSELMO; MATA; ARRUDA, 2006).

Além do benefício acima citado, os adjuvantes proporcionam uma barreira física de proteção contra o oxigênio, luz e umidade, evitando reações químicas e enzimáticas, além de facilitar o manuseio e a retenção de compostos voláteis responsáveis por caracterizar o sabor e aroma, bem como aumentar a temperatura de transição vítrea dos pós (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

Existem várias opções de adjuvantes, tais como, alginato, proteína de soja, goma Arábica, dextrinas, amido, albumina, maltodextrina, entre outros. (DAÍUTO; CEREDA, 2003; VASCONCELOS *et al.*, 2005).

Dentre os adjuvantes mais utilizados estão os polissacarídeos maltodextrina e goma Arábica. A maltodextrina é obtida por meio da hidrólise ácida de vários amidos, enquanto que a goma Arábica é extraída através do exsudato das plantas do gênero *Acácia*. Ambos os adjuvantes fornecem estabilidade de emulsão, alta solubilidade em água, baixa viscosidade e são eficazes na redução da higroscopicidade (ABEL *et al.*, 2020; MEDRADO, 2017; OLIVEIRA, 2008). Segundo Saénz (2009) a maltodextrina é incolor, sendo uma vantagem durante o processamento, pois indica que não haverá tantas alterações na coloração do produto.

A albumina é uma proteína que possuiu diversas propriedades tais como: emulsão, espuma e capacidade de formar géis. Thuwapanichayanan, Prachayawarakorn e Soponronnarit (2012) observaram melhores propriedades de formação da espuma para os tratamentos adicionados do agente albumina e concentrado proteico de soro quando comparados ao isolado proteico de soja.

3.5 Isotermas de adsorção

Uma forma de se conhecer o comportamento da absorção de água dos alimentos em pó é através de suas isotermas de sorção. O estudo da isoterma de adsorção demonstra a umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura. Esta relação pode variar dependendo da composição química dos alimentos, tais como gordura, amido, açúcar, proteínas, entre outros (OLIVEIRA; COSTA; AFONSO, 2014; PARK; BIN; BROD, 2001).

Para as frutas desidratadas na forma de pó, é importante estudar as isotermas de seu equilíbrio higroscópico, pois se constitui fator essencial nos projetos e estudos de sistemas de secagem, manuseio, processamento, armazenagem, embalagem e previsão da vida útil de produtos alimentícios (SILVA *et al.*, 2015).

De acordo com Park *et al.* (2008), alguns autores desenvolveram modelos matemáticos para o ajuste das isotermas de sorção com o objetivo de prever o comportamento das isotermas através de aspectos estruturais, dinâmicos e termodinâmicos da água (PARK *et al.*, 2008). Vários são os modelos com capacidade de prever uma isoterma, os quais se destacam: BET (Brunauer-Emmett-Teller), GAB (Guggenhein, Anderson e De Bôer), Henderson e Oswin.

3.5.1 Modelo de BET

A equação BET (Brunauer, Emmett, Teller ou Teoria de Adsorção Molecular), representada na equação 1, costuma ser aplicado na análise de adsorção de gases e vapor poroso em superfícies e de sólidos e na adsorção de vapor, por polímeros homogêneos (ANDRADE *et al.*, 2011).

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n+1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n-1}}{1 - (1-C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad (1)$$

Onde:

a_w = atividade de água, adimensional;

X_e = umidade de equilíbrio, g.g⁻¹ base seca (b.s.);

n = número de camadas moleculares;

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular, g.g⁻¹ (b.s.);

C = constante de ajuste do modelo.

3.5.2 Modelo de GAB

O modelo de GAB, demonstrado na equação 2, é o modelo matemático mais adequado para análises de frutas, carnes e vegetais, sendo a união das teorias de adsorção física do Langmuir e BET. Seus ajustes de dados abrangem uma maior faixa

de atividade de água (0,1 a 0,9) em relação ao modelo de BET (BLAHOVEC, 2004; ANDRADE *et al.*, 2011).

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (2)$$

Onde:

a_w = atividade de água, adimensional;

X_e = umidade de equilíbrio, g.g⁻¹ (b.s.);

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular, g.g⁻¹ (b.s.);

C e K = constantes de adsorção.

3.5.3 Modelo de HENDERSON

O modelo de Henderson, apresentado na equação 3, é realizado para descrever o comportamento de alimentos como: grãos, cereais e frutas (RESENDE; FERREIRA; ALMEIDA, 2010).

$$X_e = \left[\frac{-1n(1-a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad (3)$$

Onde:

a_w = atividade de água, adimensional;

X_e = umidade de equilíbrio, g.g⁻¹ (b.s.);

a e b = constantes de ajustes dos modelos.

3.5.4 Modelo de OSWIN

É considerado como modelo empírico, descrito na equação 4, que consiste em uma expansão da série de curvas de forma sigmoide. Costuma ser empregado para relacionar o teor de umidade dos produtos liofilizados até uma atividade de água de 0,5, bem como para vários alimentos (ANDRADE *et al.*, 2011).

$$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1-a_w} \right]^b \quad (4)$$

Onde:

a_w = atividade de água, adimensional;

X_e = umidade de equilíbrio, g.g^{-1} (b.s);

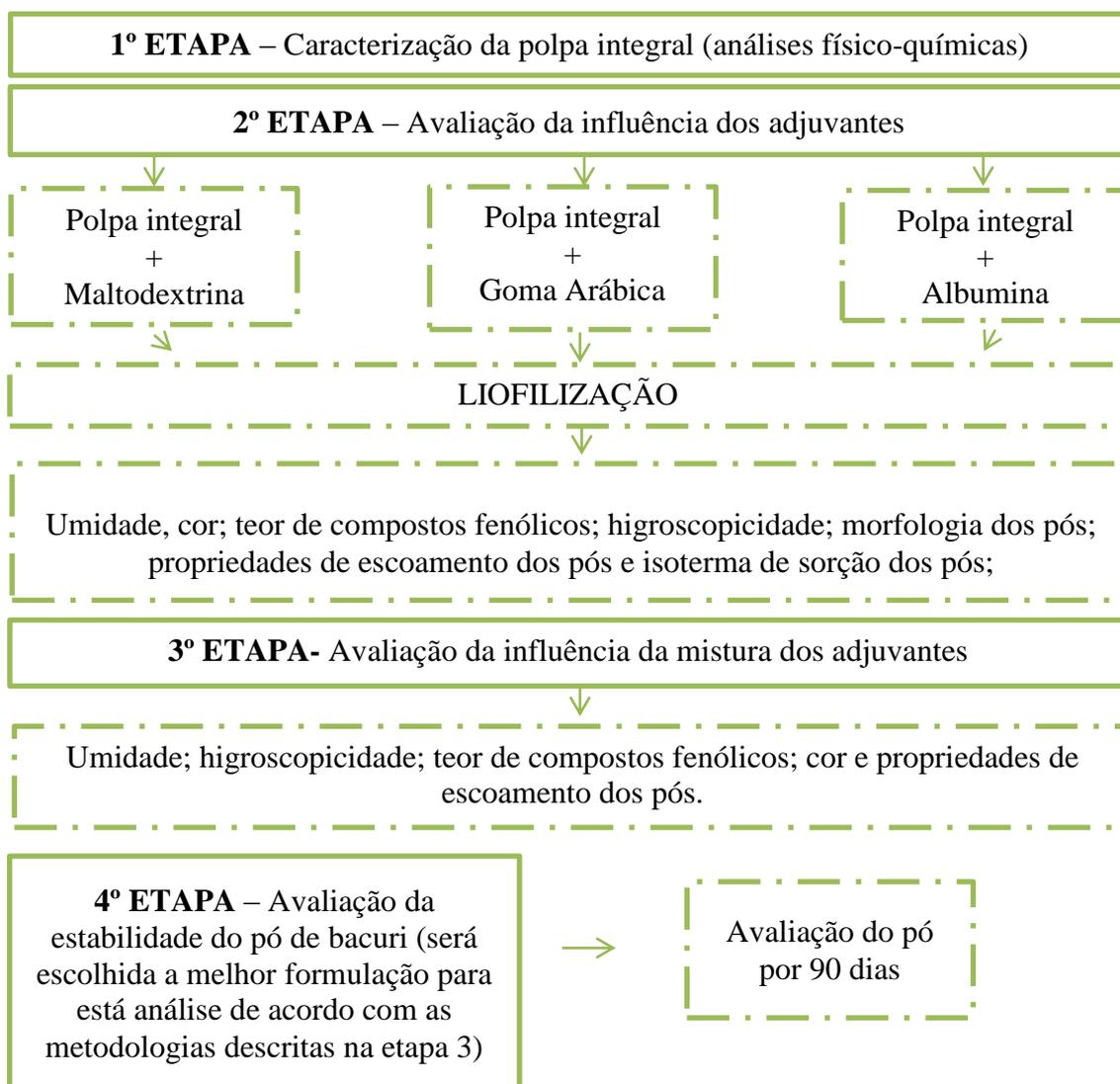
a e b = constantes de ajustes dos modelos.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da polpa e do pó de bacuri

Esta pesquisa foi realizada em quatro etapas (Figura 4). Na primeira etapa, realizou-se a caracterização da polpa integral de bacuri. Na segunda etapa, os pós da fruta com os adjuvantes foram avaliados quanto as suas características físicas, físico-químicas, morfológicas e de adsorção. Na terceira etapa, foi empregado o delineamento de misturas com os adjuvantes seguidos de avaliação quanto às características físicas e físico-químicas. Na quarta etapa, foi selecionada a melhor formulação com base nos resultados da etapa 3 finalizando o estudo da estabilidade por 90 dias.

Figura 4 – Fluxograma da caracterização e secagem das polpas de bacuri.



Fonte: Autora (2022).

4.2 Aquisição das matérias-primas

As polpas foram adquiridas através de uma empresa processadora de frutas tropicais localizada na região norte do estado do Piauí, as quais foram transportadas em caixas isotérmicas, contendo gelo, até o Laboratório de Refrigeração (Universidade Federal do Ceará) para serem armazenadas em um freezer vertical a -18 °C. Os adjuvantes de secagem maltodextrina (Maltogill-DE20, Cargill), goma Arábica (CAS9000-01-5, Êxodo Científica) e albumina (80% de albumina, marca Proteína Pura, Netto Alimentos) foram adquiridos no comércio local da cidade de Fortaleza-CE.

4.2.1 Análises físico-químicas da polpa de bacuri integral

As análises físicas e físico-químicas das polpas foram realizadas no laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da Universidade Federal do Ceará. Antes da realização das análises, as polpas foram descongeladas sob refrigeração. As análises da polpa integral foram realizadas em triplicatas e caracterizadas seguindo os métodos descritos nos itens a seguir.

4.2.1.1 pH

O potencial hidrogeniônico foi determinado conforme descrito o método 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008) utilizando potenciômetro da marca QUIMIS modelo Q400MT, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0. A leitura foi realizada diretamente na amostra.

4.2.1.2 Acidez total titulável

A acidez foi determinada conforme descrito o método 016/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008). Foi adicionado 1,0 g da amostra em água destilada (50 mL) e 2 gotas de fenolftaleína a 1% seguidos de titulação com hidróxido de sódio (NaOH 0,1 N) até coloração levemente rósea. Os resultados foram expressos em acidez (%) de ácido cítrico.

4.2.1.3 Sólidos solúveis totais (SST)

Os SST da polpa foram determinados seguindo as recomendações do Instituto Adolfo Lutz (2008), método 315/IV por refratometria através de um refratômetro digital modelo RTDS-28 da Instrutemp, os valores foram expressos em °Brix.

4.2.1.4 Açúcares redutores e totais

Os açúcares foram avaliados por método colorimétrico pelo princípio da redução do DNS (ácido dinitrosalicílico) descrito segundo Miller (1959) com modificações. O extrato foi diluído em água destilada (1,0 g da amostra em 40 mL de água destilada) e colocado em banho-maria por 5 minutos à temperatura de 65 °C, em seguida foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL, aferindo com água destilada e filtrada em papel filtro. Em tudo de ensaio, foram colocados 0,5 mL do extrato e adicionado 1,0 mL do reagente DNS e aquecido (100 °C) em banho-maria por 5 minutos, após esse tempo foi resfriado em banho de gelo. A leitura foi realizada em espectrofotômetro com comprimento de onda de 540 nm.

Para a análise dos açúcares totais, foram retirados 25 mL do extrato de açúcares redutores e adicionado 2,0 mL de ácido clorídrico, e levado ao banho-maria (75 °C) por 30 minutos e resfriado em banho de gelo. Em seguida, a solução foi neutralizada com hidróxido de sódio (NaOH 20%) utilizando um potenciômetro. Após esse processo, a amostra foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL, o qual foi aferido com água destilada. Em tubos de ensaio, foi tomada uma alíquota de 1,0 mL do extrato e adicionado 1,0 mL da solução elaborada e aquecido em banho-maria (100 °C) por 5 minutos, após esse tempo foi esfriado em banho de gelo. A leitura foi realizada em espectrofotômetro com comprimento de onda de 540 nm. Os resultados dos açúcares redutores e totais foram expressos em porcentagem (%).

4.2.1.5 Ácido ascórbico

A quantificação dos teores de ácido ascórbico foi realizado seguindo o método de Tillman conforme Strohecker e Henning (1967). Foi pesado aproximadamente 1,0 g da amostra e adicionado ácido oxálico (0,5%). Em seguida, o

conteúdo foi transferido para um balão de 100 mL e aferido com ácido oxálico (0,5%). Uma alíquota de 5 mL foi transferida para um erlenmeyer contendo 45 mL de água destilada e levada para titulação com 2,6 de diclorofenolindol (DFI) 0,02%, até coloração rósea persistente. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g.

4.2.1.6 Atividade de água

A atividade de água foi determinada por meio da leitura da amostra em analisador de atividade de água AQUALAB, da marca Decagon Devices, modelo 4TE, conforme a recomendação do fabricante.

4.2.1.7 Umidade

A umidade foi obtida por meio do analisador de umidade da marca Marconi ID50, conforme a recomendação do fabricante, onde foi pesado 1,0 g da amostra na balança a 105 °C e esperou-se o equipamento fornecer o valor da umidade em %.

4.2.1.8 Resíduo mineral por incineração - Cinzas

Esta análise seguiu as recomendações descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), método 018/IV, onde 5 g da amostra foi previamente aquecida em chapa elétrica até a sua carbonização e posteriormente incinerada em mufla (550 °C) até a eliminação completa do carvão (pó esbranquiçado). Os resultados foram expressos em % por diferença de massa.

4.2.1.9 Lipídios

Lipídios ou extrato etéreo foi realizado pelo método de extração direta em Soxhlet utilizando o éter como reagente. Esta análise foi realizada seguindo as recomendações do método 032/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008). As amostras em papel filtro foram colocadas no equipamento até a completa extração. Após esse processo, os reboilers com as amostras foram levadas à estufa (105 °C) até a evaporação

completa do reagente. Esperou-se que os reboilers estivessem em temperatura ambiente para calcular a diferença de peso. Os valores foram expressos em %.

4.2.1.10 *Proteínas*

A análise de proteínas foi realizada pelo método de Kjeldahl clássico, onde 1 g da amostra foi adicionado com a mistura catalítica e ácido sulfúrico para digestão, seguido de destilação e titulação com ácido clorídrico (HCl). Os resultados foram expressos em %. Esse método foi realizado seguindo as recomendações do método 036/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.2.1.11 *Determinação de fibra bruta*

Foi coletado 1 g da amostra e colocado na bolsa de filtragem para a extração da gordura. Posteriormente, foram adicionadas nas bolsas (já no equipamento) a solução ácida de ácido sulfúrico em temperatura ambiente. Ao final da extração foram realizados dois enxagues com água quente nas amostras e as mesmas receberam uma solução base com hidróxido de sódio voltaram para extração. Após a exaustão da solução, foi realizado outro enxague por 5 minutos. Após o enxague as amostras foram colocadas em uma proveta com acetona até cobrir as bolsas por 5 minutos. Posteriormente, as bolsas foram levadas ao forno por 2 horas para secagem completa e depois seguiram para vulcanização. O resultado da fibra bruta foi de acordo com a perda da matéria orgânica (SILVA, 1981).

4.2.1.12 *Compostos fenólicos*

Os compostos fenólicos foram determinados pela metodologia de Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997) com modificações. Para a preparação do extrato foram adicionados 1,0 g da amostra a 20 mL de solução de álcool etílico 50%, homogeneizado e deixado em repouso por 60 min e centrifugado a 3200 rpm por 30 min. Após a centrifugação, foi recolhido e filtrado o sobrenadante 1 em um balão volumétrico (50 mL) âmbar. A partir do resíduo da primeira extração foram adicionados 20 mL de solução de acetona 70%, homogeneizado e deixado em repouso por 60 min e centrifugado a 3200 rpm por 30 min, sendo recolhido e filtrado o sobrenadante 2, em

seguida, os dois sobrenadantes foram misturados e levados para balão volumétrico, sendo completado os 50 mL com água destilada. A leitura foi realizada em espectrômetro a 700 nm. A calibração da curva foi realizada com ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico/100 g.

4.2.1.13 *Avaliação da cor*

A cor foi avaliada através da escala CIELab, com determinação de L*(luminosidade), coordenada a*(cromaticidade verde e vermelho), b*(cromaticidade amarelo e azul). Os parâmetros colorimétricos foram medidos através do colorímetro Konica Minolta spectrophotometer modelo CR410, conforme orientação do fabricante.

4.3 **Secagem das polpas de bacuri**

As secagens por liofilização foram realizadas no Laboratório de Refrigeração de Alimentos e as análises físicas e físico-químicas dos pós foram realizadas no laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da Universidade Federal do Ceará.

A polpa de bacuri foi descongelada e homogeneizada com os adjuvantes de secagem em Mixer Versatile Black da Mondial 200 W de potência. Foram elaboradas três amostras, cada uma contendo, individualmente, os adjuvantes maltodextrina, goma Arábica e albumina na seguinte concentração em massa: 80% de polpa de bacuri e 20% do adjuvante. A concentração de fruta para adjuvante foi selecionada com base nos valores encontrados na literatura para diferentes tipos de polpa de frutas, tais como, Caliskan e Dirim (2016), Alves, Afonso e Costa (2020) e Tonon, Brabet e Hubinger (2009).

Após a homogeneização, cada amostra foi colocada em bandejas de inox e congelada até -38 °C por 24 horas em um ultra freezer vertical da empresa Terroni®. As amostras congeladas foram colocadas em um liofilizador modelo LS3000 da empresa Terroni® por 24 horas com pressões finais de 20 e 30 Pa com temperatura final de 25 °C. Após a liofilização, as amostras secas foram trituradas por 1 minuto com o auxílio do liquidificador industrial da marca Spolu modelo 2 L ECO copo inox de 800 W e 18.000 RPM. As secagens e as análises foram feitas em duplicatas. Os pós foram

acondicionados em embalagens laminadas a vácuo a temperatura ambiente até o início das análises.

4.3.1 Análises físicas e físico-químicas dos pós da polpa de bacuri

As amostras em pó contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina foram caracterizadas de acordo com a sua umidade (descrito no item 4.2.8), cor (descrito no item 4.2.14), compostos fenólicos (descrito no item 4.2.13), higroscopicidade, morfologia, propriedades de escoamento e isoterma de sorção, descritas a seguir.

4.3.2 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi realizada segundo a metodologia de Goula e Adamopoulos (2008), com modificações. Foi adicionado em placa de petri 1,0 g do pó liofilizado com adjuvante e, espalhado uniformemente, e colocado em dessecadores sob uma temperatura de 25°C com umidade relativa de 75%, realizando-se pesagens a cada 10 minutos até completar 90 minutos do experimento. Foi utilizada a equação 5 para determinar a higroscopicidade dos pós.

$$H = \frac{a-P}{(P) \cdot ((100-U) \cdot 100)} \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

H: higroscopicidade (%);

a: massa da amostra úmida (g);

P: massa inicial da amostra em pó (g);

U: umidade do pó (%).

4.3.3 Morfologia dos pós

Através do microscópio eletrônico de varredura – MEV (Quanta FEG 540), foram avaliadas superfície e morfologia dos pós das polpas de bacuri. Os pós da fruta foram depositados sobre fita adesiva dupla face, e então fixados em suporte metálico. A

placa metálica com os pós foi recoberta com platina e ouro em metalizadora (Quorum Q 1550T ES) e operada a 5m e 10 KV, fornecendo uma cobertura de aproximadamente 25 µm onde foram capturadas micrografias com resolução de 500 e 2000X.

4.3.4 Propriedades de escoamento dos pós da polpa de bacuri

Amostras dos pós foram obtidas segundo o delineamento de misturas, onde foram colocadas em bandejas circulares de aço inox e transferidas ao equipamento Powder Flow Test (PFT) da empresa Brookfield Engineering Laboratories. Em seguida, foram obtidos os ângulos de atrito com parede, densidades aparente e de compactação e a tensão de consolidação e tensão não confinada de deslizamento. A partir das densidades foram determinados índice de Carr (Equação 6) e a relação de Hausner (Equação 7). Após a obtenção dos resultados as amostras foram classificadas quanto sua fluidez (Tabela 1) de acordo com Aziz, *et al.* (2018).

$$IC = \frac{\alpha_c - \alpha_a}{\alpha_c} \times 10 \quad (6)$$

$$RH = \frac{\alpha_c}{\alpha_a} \quad (7)$$

Onde:

IC = índice de Carr (%);

RH = relação de Hausner;

α_c = densidade de compactação (kg/m³);

α_a = densidade aparente (kg/m³).

Tabela 1 – Classificação da fluidez de pós.

Fluidez	Índice de Carr (%)	Relação de Hausner
Excelente	<10	1,00-1,11
Boa	11-15	1,12-1,18
Adequada	16-20	1,19-1,25
Aceitável	21-25	1,26-1,34
Difícil	26-31	1,35-1,45
Muito difícil	32-37	1,46-1,59
Excessivamente difícil	>38	>1,60

Fonte: Aziz, *et al.* 2018.

4.3.5 Isotermas de adsorção dos pós

Na análise das isotermas de sorção dos pós da polpa de bacuri liofilizada, foi utilizado o método gravimétrico estático descrito por Spiess e Wolf (1987). Foram utilizadas soluções salinas saturadas de CH_3COOK , K_2CO_3 , NaBr , SnCl_2 , KCl e BaCl_2 , acondicionadas em células de vidro com atividade de água 0,21, 0,44, 0,58, 0,76, 0,84 e 0,90, respectivamente. Posteriormente, foram pesados 1 g de amostra do pó, em triplicata, e acondicionados em cadinhos previamente tarados. As amostras foram então colocadas dentro de cada uma das células contendo as soluções salinas. As células contendo as amostras foram levadas para estufa BOD com controle de temperatura, onde permaneceram até atingirem massa constante, constatada através de pesagens a cada 24 h até uma variação inferior a 1%. Foram utilizadas duas temperaturas na estufa, 25 e 40°C. Alcançado o equilíbrio, em cada temperatura estudada, as atividades de água das amostras foram determinadas por um medidor de modelo AQUALAB 4 TEV.

Após, a umidade de equilíbrio (X_0) foi calculada conforme Equação 8, utilizada também por Moreira *et al.* (2013):

$$X_0 = \frac{M_{eq} - M_s}{M_s} \quad (8)$$

Onde:

X_0 = umidade de equilíbrio (g/g);

M_{eq} = massa da amostra no equilíbrio (g);

M_s = massa da amostra seca (g).

Na determinação das isotermas das amostras foi feito um ajuste matemático dos dados experimentais da umidade de equilíbrio e atividade de água. Nesse ajuste, foram utilizados os modelos de BET (Brunauer-Emmett-Teller), GAB (Guggenheim, Anderson e De Bôer), Henderson e Oswin, representados pelas equações 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Os parâmetros dos modelos foram determinados através do software Statistica. Na avaliação dos modelos foram considerados os valores do coeficiente de

determinação ajustado (R^2) e o erro médio relativo (E), predito pela Equação 9, utilizada por Rodvalho (2008).

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - Mp_i)|}{M_i} \quad (9)$$

Onde:

E = erro médio relativo (%);

M_i = valores obtidos experimentalmente;

Mp_i = valores preditos pelo modelo;

n = número de dados experimentais.

4.4 Delineamento de mistura Simples Centroide

Após a avaliação dos adjuvantes utilizados individualmente na polpa de bacuri (item 4.3), um delineamento de misturas do tipo Simplex centroide foi proposto com o intuito de avaliar o uso da mistura dos adjuvantes (Tabela 2). Assim, além dos ensaios que continham os adjuvantes individualmente (ensaios 1 a 3) foram adicionados mais sete ensaios contendo a mistura destes (ensaios 4 a 10). Cada amostra continha, em massa, 80% da polpa e 20% dos adjuvantes. As amostras de cada ensaio foram avaliadas segundo a umidade, higroscopicidade, teor de compostos fenólicos, cor, índice de Carr e relação de Hausner.

Tabela 2 – Delineamento de misturas dos adjuvantes de secagem.

Ensaios	Maltodextrina* (%)	Goma Arábica* (%)	Albumina* (%)
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	0	50	50
7	66,67	16,67	16,67
8	16,67	66,67	16,67
9	16,67	16,67	66,67
10	33,33	33,33	33,33

*: % em massa. Fonte: Autora (2022).

A análise de umidade dos pós foi realizada de acordo com o item 4.2.8, a avaliação da cor de acordo com o item 4.2.14 e compostos fenólicos segundo item 4.2.13. A higroscopicidade foi determinada segundo Goula e Adamopoulos (2008), descrito no item 4.3.2.

Os resultados do planejamento de misturas dos adjuvantes foram avaliados, para cada variável de interesse, através do software Statistica 10.0.

4.5 Avaliação da estabilidade do pó de bacuri

Após avaliação dos resultados do delineamento de misturas, uma das formulações (ensaios) foi escolhida para secagem e posterior análise de estabilidade do pó durante 90 dias. As amostras dos pós foram acondicionadas em embalagens laminadas a vácuo a temperatura ambiente. Para cada dia de análise, reservou-se uma embalagem contendo 20 g de pó.

Os pós foram avaliados nos seguintes dias após a secagem: 0, 15, 30, 58 e 90 dias. Foram avaliados a umidade (descrito no item 4.2.8), higroscopicidade (descrito no item 4.3.2), solubilidade e teor de compostos fenólicos (descrito no item 4.2.13). A solubilidade foi realizada de acordo com a metodologia de Cano-Chauca *et al.* (2005), onde foi pesado 1,0 g do pó e homogeneizado durante 5 minutos com 100 mL de água destilada. A solução foi centrifugada a 3000 rpm por 5 minutos. Uma alíquota do sobrenadante (25 mL) foi colocada em placas de petri e levada a estufa a 105 °C por 5 horas. A solubilidade (%) foi calculada de acordo com a equação 10.

$$S = \frac{(As)}{Pi} \cdot 100 \quad (10)$$

Onde:

S: solubilidade (%);

As: massa da amostra final (g);

Pi: massa da amostra inicial (g).

4.6 Análise estatística

Os resultados foram analisados através da Análise de Variância (ANOVA) e teste de comparação de médias Tukey quando pertinente através do software Statistica 10.0. O grau de significância estatística foi de 90% ($p < 0,1$).

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização físico-química da polpa integral

Os resultados das análises físico-químicas da polpa integral de bacuri encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização físico-química da polpa de bacuri integral.

Parâmetros	Médias \pm Desvio padrão
pH	3,63 \pm 0,02
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	3,21 \pm 0,08
Sólidos solúveis totais (°Brix)	9,4 \pm 0,14
Açúcar total (%)	16,65 \pm 0,55
Açúcar redutor (%)	4,93 \pm 1
Ácido ascórbico (mg/100g)	16,12 \pm 2,51
Ácido ascórbico em base seca (mg/100g)	107,47 \pm 2,51
Atividade de água (a_w)	0,996 \pm 0,00
Umidade (%)	85 \pm 0,10
Cinzas (%)	0,46 \pm 0,01
Lipídios (%)	0,37 \pm 0,00
Proteínas (%)	1,18 \pm 0,15
Fibras (g/100g)	0,42 \pm 0,08
Compostos fenólicos (mg GAE /100g)	122,27 \pm 4,38
Compostos fenólicos em base seca (mg GAE/100g)	815,33 \pm 4,38
	L*
COR	63,30 \pm 1,58
	a*
	-2,54 \pm 0,07
	b*
	11,52 \pm 0,69

L*, a*, b* (parâmetros de cor – Escala CIELab), sendo L: luminosidade; a: cromaticidade vermelho (+) e verde (-); b: cromaticidade amarelo (+) e azul (-) Fonte: Autora (2022).

A partir do valor do pH pode-se perceber que o bacuri é uma fruta ácida, sendo confirmado por sua acidez total titulável apresentado na Tabela 3. Os valores de pH, acidez total titulável e sólidos solúveis totais (°Brix) deste estudo foram próximos aos resultados obtidos por Aguiar *et al.* (2008), que analisaram 17 genótipos de bacuri da região meio norte brasileira no qual os valores das polpas variaram de 9,30 a 15,09 °Brix, 2,76 a 3,64 do pH e acidez de 0,39 a 3,09% de ácido cítrico, enquanto que os resultados do °Brix de Bezerra *et al.* (2005) e Canuto *et al.* (2010) foram de 19,10 e 13,0 °Brix, respectivamente, apresentando valores superiores ao mencionado na Tabela 3. Essas variações de resultados podem ocorrer por diversos fatores, tais como: região, solo, clima e principalmente pelo estágio de maturação do fruto. A fruta analisada neste

trabalho apresentou teor de Brix abaixo ao preconizado pela Instrução Normativa nº 37 de 1º de outubro de 2018 da Secretaria de Defesa Agropecuária, que para o bacuri seja de no mínimo 13 ° Brix.

Em relação aos açúcares, Bezerra *et al.* (2005), ao estudarem o potencial agroeconômico do bacuri, encontraram 6,20% de açúcar redutor, valor superior ao apresentado na Tabela 3. Barbosa *et al.* (1978), ao estudarem as frutas da Amazônia, observaram que o teor de açúcar redutor do bacuri foi de 3,98%; no entanto, Bezerra *et al.* (2004), ao caracterizarem a fruta, obtiveram 4,89% de teor de açúcar redutor, valor aproximado com o presente trabalho.

O valor dos açúcares totais desta pesquisa foi de 16,65%, estando em acordo com a Instrução Normativa nº 37 de 1º de outubro de 2018 da Secretaria de Defesa Agropecuária, que o mínimo para esse parâmetro é de 11%. Teores próximos foram observados por Silva *et al.* (2010), que ao avaliarem o armazenamento do bacuri, obtiveram 11,63% de açúcares totais, enquanto que Bezerra *et al.* (2005) e Fontenele *et al.* (2010) apresentaram 10,98% e 7,94%, respectivamente. Devido ao processo respiratório das frutas, os carboidratos são oxidados para a produção de energia e, como consequência, a concentração de açúcares muda progressivamente, não havendo padrão definido. Por esse motivo, os valores dos autores mencionados variaram (CHITARRA E CHITARRA, 2005).

Em relação ao ácido ascórbico, Canuto *et al.* (2010) e Barreto, Benassi e Mercadante (2009) encontraram apenas traços de ácido ascórbico na polpa de bacuri, variando de 0,2 mg/100g e 0,5 mg/100g, respectivamente. Diante desses valores, o resultado obtido neste trabalho foi de 16,12 mg/100g e mostrou-se superior ao dos demais autores. Segundo Chitarra e Chitarra (2005) o teor de ácido ascórbico pode ser utilizado como índice de qualidade dos alimentos, pois quanto mais elevado for esse teor, melhor será a qualidade nutricional do produto, porém o valor desse parâmetro varia de acordo com as condições de cultivo, armazenamento e processamento.

Os resultados de umidade e atividade de água do bacuri (Tabela 3) apresentaram valores esperados para uma fruta. Em relação à umidade, Canuto *et al.* (2010) e Carvalho *et al.* (2002) encontraram 84,8 e 87,86% de umidade na fruta, respectivamente. Em relação à atividade de água, a polpa de bacuri de Silva *et al.* (2010) apresentou valor de 0,983, próximo ao encontrado neste trabalho (Tabela 3).

Com relação às cinzas, o resultado da Tabela 3 foi próximo ao valor de Barbosa *et al.* (1978), que apresentou 0,40%. Sousa *et al.* (2011), ao avaliarem a

caracterização nutricional do bacuri, apresentou 0,65% de cinzas. Tanto os resultados deste trabalho quanto dos autores mencionados foram baixos, indicando que esses valores podem estar associados à matéria prima analisada (SOUSA *et al.*, 2011). Desse modo, pode-se dizer que o bacuri possui pequenas quantidades de minerais em sua composição, uma vez que esses componentes costumam agregar valor nutricional ao produto em relação à suplementação alimentar, melhorando nutricionalmente o alimento.

O resultado do teor de lipídios na polpa deste trabalho (Tabela 3) foi próxima ao de Santos *et al.* (2020) com 0,31 g/100g e inferior ao apresentado por Nazaré (2000), que obteve 0,60% de lipídios ao analisar o bacuri e por Sousa *et al.* (2011), com teores de 3,84%. Sobre as proteínas, Santana, Carvalho e Nascimento (2008), ao caracterizarem diferentes genótipos de bacuri, obtiveram uma variação de 0,36 a 1,65% de proteínas, estando em acordo com o resultado apresentado na Tabela 3. O teor de fibras do bacuri analisado foi bem abaixo do esperado, apresentando 0,42 g/100g, enquanto que Morton (1987) obteve 7,4 g/100g. As variações dos teores de lipídeos, proteínas e fibras das frutas podem variar por diversos fatores (solo, espécie, clima, maturação, entre outros) considerados determinantes para a qualidade nutricional do alimento e a legislação brasileira apenas determina valores para sua ingestão diária e dos teores de pH, açúcares totais, sólidos solúveis totais e acidez dos sucos e polpas de frutas sem adição de água, conservantes ou aditivos.

Em relação aos compostos fenólicos, considera-se que a polpa de bacuri possui baixos teores desses compostos (Tabela 3) ao ser comparado com o extrato de caju (376,2 mg GAE /100g), com a maçã (321-474 mg GAE /100g⁻¹), com o kiwi (274,4 mg GAE/100g⁻¹) e com a ameixa (471,4 mg GAE/100g⁻¹). Por outro lado, diante de frutas como pitáia (111,17 mg GAE/ 100g), uva (117,1 mg GAE /100g⁻¹), amora (118,1 mg GAE /100g⁻¹) e morango (132,1 mg GAE /100g⁻¹), o bacuri apresenta concentração mais elevada (ALVES, 2021; KUSKOSKI *et al.*, 2006; LIMA, 2019; ROCHA *et al.*, 2011). Sousa, Vieira e Lima (2011) e Sousa *et al.* (2011) também observaram que a polpa de bacuri analisada foi a que apresentou os baixos teores de compostos fenólicos com 8,25 e 8,57 mg GAE /100g⁻¹ para o extrato hidroalcoólico utilizando a metodologia de Swain e Hills (1959).

Quanto à análise colorimétrica da polpa, a luminosidade (L*) do fruto foi de 63,30 e o mesmo comportamento foi observado por Canuto *et al.* (2010), no qual o bacuri estudado demonstrou 65,5 de luminosidade. Deste modo, o bacuri é uma fruta de

polpa clara (Apêndice A), apresentando alta luminosidade. Em relação à cromaticidade verde e vermelho (a^*), o valor encontrado na polpa foi de -2,54 e, por ser um resultado negativo, indicou que a cor verde foi predominante. Em relação à cromaticidade amarelo e azul (b^*), o valor encontrado na polpa foi de 11,52 e, por ser um resultado positivo, indicou que a cor amarela foi predominante. A cor é um importante atributo na agricultura, em especial para frutas e hortaliças, indicando a qualidade e, muitas vezes, determinando o seu valor (FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

5.2 Resultados das análises físico-químicas dos pós da polpa de bacuri

Os pós obtidos após a secagem foram analisados quanto as suas características físico-químicas. Os resultados obtidos das análises físicas e físico-químicas dos pós contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina encontram-se a seguir:

5.2.1 Análises físico-químicas

Os resultados da umidade, cor, compostos fenólicos e higroscopicidade das amostras dos pós são apresentados na Tabela 4.

Os teores de umidade das amostras variaram de 2,33 a 2,76%, sendo que o pó contendo albumina obteve menor valor, diferindo das demais ($p < 0,05$). Os pós das três amostras apresentaram umidade inferior a 5%, sendo considerados por Fazaeli *et al.* (2012) microbiologicamente seguro. Além disso, pós com baixa umidade contribuirão para uma melhor fluidez e estabilidade de armazenamento do produto.

Kandasamy *et al.* (2019) encontraram teores de umidade entre 4,36 a 6,38% no pó da polpa de mamão papaia contendo 15% (m/m) de albumina. Enquanto que Krumreich *et al.* (2016) obtiveram valores de 6,03 e 7,18% de umidade no pó de uvaia liofilizada contendo 10% (m/m) de maltodextrina e goma Arábica, respectivamente. Os valores de umidade dos pós podem variar devido ao tipo de fruta, tipo e concentração de adjuvante, além das condições de secagem.

Tabela 4 – Valores médios da caracterização físico-química dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.

Análises	Amostras dos pós contendo adjuvantes ¹		
	Maltodextrina	Goma Arábica	Albumina
Umidade (%)	2,76 ± 0,11 ^a	2,58 ± 0,07 ^a	2,33 ± 0,12 ^b
L*	77,83 ± 0,25 ^a	67,77 ± 5,08 ^b	74,14 ± 0,10 ^a
COR			
a*	-1,21 ± 0,01 ^c	0,50 ± 0,14 ^a	-1,03 ± 0,07 ^b
b*	8,18 ± 0,24 ^c	10,49 ± 0,14 ^b	20,02 ± 0,11 ^a
Compostos fenólicos (mg GAE/100g de sólidos)	386,90 ± 19,17 ^a	377,18 ± 19,30 ^a	182,22 ± 26,85 ^b
Higroscopicidade (%)	6,22 ± 0,24 ^b	6,79 ± 0,37 ^{ab}	6,92 ± 0,23 ^a

¹contendo 20% (m/m); *(parâmetros de cor – Escala CIELab); médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2022).

Em relação à cor das amostras (Tabela 4), na coordenada L* (luminosidade) apenas a amostra contendo goma Arábica diferiu das demais ($p < 0,05$) e os adjuvantes utilizados beneficiaram a luminosidade dos pós da polpa de bacuri, visto que a polpa integral apresentou valores inferiores (Tabela 3). Notou-se também que a amostra com o adjuvante maltodextrina foi o que manteve a sua coloração visual mais próxima à polpa integral, uma vez que esse parâmetro costuma ser determinante para a aquisição do produto pelo consumidor, acredita-se que quanto mais parecido à fruta mais atrativo será o produto (Apêndice A e B).

Krumreich *et al.* (2016) observaram que o pó de uvaia tornou-se mais claro com a adição de maltodextrina e goma Arábica, ocasionando um aumento no valor de L* em relação a polpa de 89,19 para 101,66 e 94,88, respectivamente. Caliskan e Dirim (2016) também observaram que o pó do extrato de sumagre liofilizado tornou-se mais claro com a adição de maltodextrina 20 a 30% (p/p), ocasionando um aumento no valor de L* em relação ao extrato de 32,17 para 50 a 61, aproximadamente.

Com relação à cromaticidade verde e vermelho (a*) e azul e amarelo (b*) todas as amostras diferiram entre si ($p < 0,05$). A coordenada a* apresentou em sua maioria resultados negativos (Tabela 4), predominando a coloração verde; em contrapartida, a amostra 2 apresentou valor positivo, sendo indicativo para coloração avermelhada. Quanto à coordenada b*, a cor amarela foi mais predominante; no caso da amostra 3, a presença da albumina influenciou no aumento desse parâmetro, pois o adjuvante é amarelado (Apêndice C). Maciel *et al.* (2020) relatou uma diminuição nos parâmetros a* e b* com a adição de maltodextrina nos pós de cupuaçu e Sousa *et al.* (2015) também apresentaram diminuição no parâmetro a* ao adicionar a maltodextrina

na atemoia em pó por aspersão. Adsare e Annapure (2021) observaram um aumento crescente nos valores de b* nos pós de proteína de coco com goma Arábica e curcumina secos por spray dryer, comportamento semelhante ao do pó com goma Arábica.

Quanto ao teor dos compostos fenólicos, houve uma variação desses teores (Tabela 4), sendo que a amostra contendo albumina apresentou o menor valor e diferiu ($p < 0,05$) das demais. Os adjuvantes maltodextrina e goma Arábica foram os que conseguiram preservar melhor os compostos bioativos dos pós da polpa de bacuri. No entanto, houve uma redução desses valores em relação a sua polpa integral (Tabela 3) que, convertendo para sólidos, foi de 815,33 mg GAE/100g, valor 3 a 4 vezes maior ao apresentado na Tabela 4.

Resultado parecido foi encontrado por Lima (2019) que, ao avaliar os compostos fenólicos presentes no extrato do pedúnculo de caju liofilizado com maltodextrina, goma Arábica e sua mistura a 11% (m/m), percebeu que ambos os adjuvantes foram eficazes na preservação desses compostos nos pós, não havendo diferença entre si ($p \leq 0,05$). Contudo, a autora constatou uma redução desse parâmetro após a liofilização, ocasionando uma redução de 376,2 mg GAE/100g de sólidos do extrato para 209 a 227,4 mg GAE/100g de sólidos. Segundo Lima (2019) a redução dos compostos fenólicos no produto em pó pode ter ocorrido pelas perdas durante o seu processamento. Para Espinoza, Martínez e Navarrete (2021) a goma Arábica conseguiu preservar melhor os compostos fenólicos dos pós da polpa de laranja liofilizada, com valores de 703,02 mg GAE/100g de sólidos. Kuck e Noreña, (2016), ao encapsularem o extrato fenólico da casca de uva com goma Arábica, polidextrose e goma guar, obtiveram o maior valor de compostos fenólicos (250,3 mg GAE/ 100g de sólidos) na amostra contendo goma Arábica. E Asquieri *et al.* (2020), ao avaliarem a influência da maltodextrina, aerosil e amido na retenção dos compostos fenólicos dos pós da batata yacon, verificaram que a maltodextrina e o amido foram melhores na preservação destes compostos. Asquieri *et al.* (2020) afirmam que o aumento de agentes adjuvantes, assim como temperaturas mais brandas durante a secagem, contribuem para melhor retenção dos compostos fenólicos dos pós e a biodisponibilidade desses compostos podem variar de acordo com a matéria-prima de estudo.

De acordo com os resultados das higroscopiedades (Tabela 4) os pós da polpa de bacuri podem ser classificados como não higroscópicos, pois segundo Gea Niro Research Laboratory (2003), pós com higroscopiedade inferior a 10% são considerados não higroscópicos e sua baixa higroscopiedade irá favorecer a redução da

capacidade de adsorção de água dos pós (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012). Observou-se que a amostra contendo maltodextrina (Tabela 4) foi à de menor higroscopicidade e diferiu ($p < 0,05$) daquela contendo albumina. Resultado similar foi encontrado por Alves, Afonso e Costa (2020) que, ao estudarem o efeito de diferentes adjuvantes sobre a higroscopicidade do pó da polpa de pitáia, encontraram os menores valores nas amostras contendo maltodextrina (6,83%). Maciel *et al.* (2020) observaram no pó da polpa de cupuaçu que o aumento da concentração de maltodextrina resultou na diminuição da higroscopicidade que variou de 3,89 a 4,09%.

Segundo Alves, Afonso e Costa (2020) as diferenças entre os valores de higroscopicidade podem ser justificadas pelo tipo e concentração dos adjuvantes utilizados e também pelas características dos próprios pós, tais como teor de umidade e de açúcares presentes. Para Ruengdech e Siripatrawan (2022) e Ganaie (2021) a higroscopicidade dos pós podem estar relacionada ao número de grupos hidrofílicos presentes na estrutura de cada adjuvante de secagem, dependendo das ligações entre o hidrogênio nas moléculas de água e os grupos hidroxila disponíveis nas regiões amorfas da matriz ou substrato.

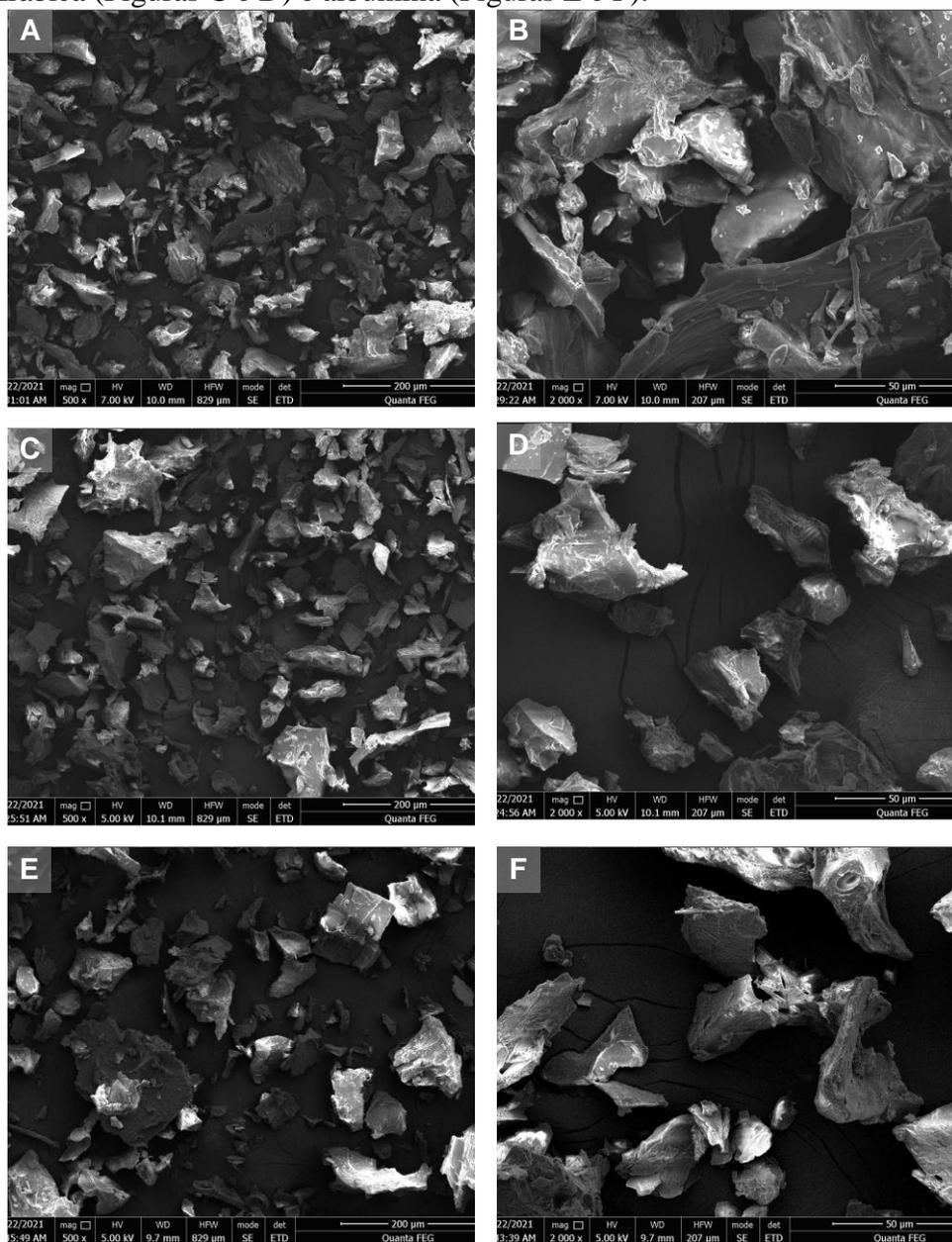
Fernandes *et al.* (2014) observaram em seu trabalho com pó da polpa de tomate adicionado de albumina que a presença dos adjuvantes reduz a ação dos açúcares e ácidos orgânicos, responsáveis pela absorção de umidade. Desse modo, entende-se que todo adjuvante de secagem pode influenciar de forma positiva, uma vez que o aumento da higroscopicidade pode estar relacionado à quantidade de açúcar presente no alimento como também na quantidade de grupos hidroxilas disponíveis.

5.2.2 Morfologia dos pós – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias dos pós com maltodextrina, goma Arábica e albumina contendo 20% (m/m) dos adjuvantes de secagem são apresentadas na Figura 5. Observou-se que o pó contendo goma Arábica (Figura 5 C e D) apresentou menores partículas possui se comparada as amostras contendo maltodextrina (Figura 5 A e B) e albumina (Figura 5 E e F). Na amostra contendo maltodextrina (Figura 5 A e B) observam-se partículas mais aglomeradas e com bordas mais pontiagudas se comparadas às amostras contendo goma Arábica e albumina, cujos formatos são mais curvos.

Além das características acima mencionadas, os pós apresentaram pequenas depressões com superfícies porosas causadas pela retirada da água durante o processo de liofilização e formas assimétricas.

Figura 5 – Micrografias (2000 e 500x) das partículas dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina (Figuras A e B), goma Arábica (Figuras C e D) e albumina (Figuras E e F).



Fonte: Autora (2022).

O mesmo comportamento foi observado por Duarte (2018) que, ao avaliarem as partículas do pó de lichia liofilizada com 25% de maltodextrina, observaram características amorfas e superfície rugosa e grande porosidade do material.

Segundo o autor, a natureza amorfa do pó de lichia se deu pelo seu elevado conteúdo de açúcar. Produtos à base de frutas na maioria das vezes tendem a possuir formas assimétricas, pois costumam conter grandes quantidades de fibras em sua composição, bem como açúcar e gordura, fazendo com que os pós venham a formar grânulos mais complexos e aglomerados (SAIFULLAH *et al.*, 2014; ZEA *et al.*, 2013). Para Ezhilarasi *et al.* (2013) as estruturas porosas dos produtos liofilizados estão diretamente relacionadas à sublimação do gelo durante o processo de secagem.

As partículas dos pós de araçá vermelho de Melo, Cavalcante e Amante (2020) foram maiores e com superfícies mais rugosas do que as deste trabalho, fato que pode ser justificado pela não adição de adjuvantes de secagem. Segundo os autores, esse resultado está associado à elevada concentração de pectina. O tamanho e forma das partículas possuem influência no comportamento do escoamento do pó. De maneira geral, quanto mais simétricas forem essas partículas melhor será a sua fluidez, e quando há formatos irregulares conseqüentemente haverá um aumento da área de superfície de contato, resultando em um pó menos fluido dificultando o seu processamento, necessitando de meios mecânicos para fluir facilmente.

Por meio da microscopia eletrônica de varredura podem-se identificar quais elementos químicos encontra-se nas amostras estudadas através do EDS (Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X). Nessa pesquisa os elementos majoritários encontrados nas três amostras com os adjuvantes foram (Apêndice D, E e F): potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), cloro (Cl), sódio (Na) e traços de ferro (Fe) e cobre (Cu). Esses micronutrientes ajudam a manter a manutenção do corpo humano, sendo essencial a sua ingestão diária. Pelo fato do pó da polpa de bacuri conter alguns desses minerais, acaba agregando valor ao produto estudado, pois o mesmo além de ser inovador irá fornecer nutrientes ao consumidor.

Os micronutrientes nos alimentos podem variar por diversos motivos, como espécie, solo, clima, entre outros. Portanto, cada bacuri ou fruta avaliada poderá apresentar variações no seu conteúdo nutricional. Além do conteúdo nutricional, as micropartículas dos pós podem vir com diversas formas geométricas, bem como seu índice de escoamento. Essa variação pode ocorrer por meio do método de secagem empregado na matéria-prima, adjuvante utilizado, bem como seu conteúdo, em relação à quantidade de pectina, fibra, açúcar e gordura.

5.2.3 Propriedades de escoamento dos pós da polpa de bacuri

Na Tabela 5 são apresentados os valores das densidades (kg/m^3), ângulos de atrito com a parede ($^\circ$), índice de Carr (IC) e relação de Hausner (RH) dos pós da polpa de bacuri obtidos por liofilização contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.

Tabela 5 – Densidade, ângulo de atrito com a parede, IC e RH dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.

Análises	Amostras dos pós contendo adjuvantes ¹			
	Maltodextrina	Goma Arábica	Albumina	
Densidade (kg/m^3)	aparente	$321,5 \pm 19,3^a$	$301,2 \pm 10,5^a$	$287,9 \pm 35,9^a$
	compactação	$433,1 \pm 14,8^a$	$392,2 \pm 1,13^a$	$375,0 \pm 22,1^b$
Ângulo de atrito com parede ($^\circ$)	mínimo	$12,20 \pm 1,41^a$	$12,55 \pm 0,21^a$	$12,70 \pm 0,28^a$
	máximo	$12,60 \pm 0,85^a$	$13,00 \pm 0,57^a$	$13,55 \pm 0,92^a$
Índice de Carr (%)		$25,80 \pm 1,37^a$	$23,21 \pm 1,74^a$	$23,37 \pm 3,58^a$
Relação de Hausner		$1,34 \pm 0,025^a$	$1,30 \pm 0,030^a$	$1,31 \pm 0,060^a$

¹contendo 20% (m/m); médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2021).

Em relação à densidade aparente, as amostras (Tabela 5) não diferiram entre si ($p < 0,05$), enquanto que para a densidade de compactação a amostra contendo albumina diferiu das demais. A amostra contendo maltodextrina, apesar de não ser estatisticamente diferente das outras amostras, apresentou maiores densidades.

Ferrari *et al.* (2012) observaram valores superiores para a densidade aparente dos pós de amora por spray dryer com 7% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e suas misturas, variando de 409 a 443 kg/m^3 . Para os autores, as interações poliméricas entre os agentes carreadores e o produto em pó influenciam diretamente a densidade aparente; quanto ao seu estudo, a mistura dos adjuvantes contribuiu para esse aumento.

Tonon, Brabet e Hubinger (2010) encontraram densidades aparente próximas ao deste trabalho de 370 a 480 kg/m^3 na avaliação dos pós de açaí contendo 6% (p/p) de maltodextrina, goma Arábica e goma de tapioca, relatando que o peso molecular do amido da tapioca contribuiu para uma maior densidade. Quanto mais pesado for o material mais facilidade ele terá para se acomodar entre as partículas, ocupando assim menos espaço, resultando em uma maior densidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro, Costa e Afonso (2020) que observaram densidades aparente entre 304,4 e 366,9 kg/m^3 e de compactação entre 418,2 e 493,4

kg/m³ na avaliação do pó da polpa de cacau contendo 15 e 30% de maltodextrina, relatando que o aumento da concentração deste adjuvante resultou em maiores densidades.

Fernandes, Borges e Botrel (2013) determinaram a densidade aparente entre 250 a 360 kg/m³ e de compactação entre 410 e 520 kg/m³ na avaliação do microencapsulamento do óleo de alecrim em pó por spray dryer com 10 a 30% (p/v) de goma Arábica, valores próximos ao deste trabalho. A densidade é um importante critério de qualidade que visa estimar o custo de armazenamento, transporte, padronização do produto, bem como o volume adequado para cada embalagem, além de prever a qualidade das partículas (ERMIŞ, 2021).

Quanto aos valores dos ângulos de atrito das três amostras (Tabela 5) não houve diferença entre elas ($p < 0,05$). Porém, quanto menor for esse valor melhor será o escoamento do pó. Segundo Campos (2012) valores abaixo de 18,4° do ângulo de atrito indicam excelente fluidez, assim os valores encontrados na Tabela 5 para ambas as amostras escoarão com facilidade.

O ângulo de atrito com a parede representa a resistência entre o pó e o material da parede do ambiente de processamento, e quanto mais alto for, mais difícil será para o pó escoar ao longo da parede (FITZPATRICK *et al.*, 2004). Além disso, esse parâmetro é considerado um dado que ajuda na hora da escolha do material a ser colocado em silos, leitos deslizantes, dentre outros (CAMPOS, 2012).

Afonso *et al.* (2019) observaram valores máximos para os ângulos de atrito com a parede variando de 18,9 a 23,9° nos pós de manga com maltodextrina, de maneira que o aumento da concentração desse adjuvante reduziu o ângulo. Maciel *et al.* (2020) relatam que a adição da albumina nos pós da polpa de goiaba reduziram os ângulos de atrito com parede, com valores de 20,4 e 13,6° para os valores máximo e mínimo, respectivamente.

Em relação aos valores do índice de Carr e relação de Hausner apresentados na Tabela 5, os pós são classificados de acordo com a Tabela 1 (item 4.3.4) como fluidez aceitável, não diferindo entre si ($p < 0,05$). Quanto menor forem os valores do IC e RH melhor será o escoamento dos pós, bem como a sua fluidez. Observando os valores obtidos neste trabalho, os pós de bacuri com os adjuvantes utilizados podem ser indicados ao uso industrial, tendo em vista que foi confirmada por esta análise que o produto irá escoar com facilidade durante o seu processamento. Estes índices de avaliação do escoamento podem se correlacionar com a morfologia dos pós obtida

através da microscopia eletrônica por varredura (item 5.2.2). Na Figura 5 observam-se partículas irregulares e pontiagudas, o que pode prejudicar o escoamento do pó. Assim, os resultados do IC e da RH dos pós demonstraram fluidez aceitável ao invés de excelente ou boa, devido a essas características apresentadas pelas partículas.

Alves, Afonso e Costa (2020) avaliaram o pó da polpa de pitáia liofilizada com maltodextrina, goma Arábica e dextrina a 20% (m/m), e apenas o pó com maltodextrina teve a mesma classificação deste estudo, apresentando IC de 22,6% e a RH a 1,29. Saikia, Mahnot e Mahanta (2014) obtiveram o IC de 18,49% e 1,22 para RH, apresentando fluidez adequada para abacaxi em pó contendo 20% (m/m) de maltodextrina

O índice de Carr do óleo de alecrim em pó com goma Arábica de Fernandes, Borges e Botrel (2013) variou de 23,09 a 40,22%, sendo classificado como fluidez aceitável a excessivamente difícil. Segundo os autores, a temperatura de secagem influenciou para o aumento do IC e área de superfície de contato entre as partículas, permitiu uma maior coesão e atrito entre elas, o que conduziu a uma maior resistência ao fluxo.

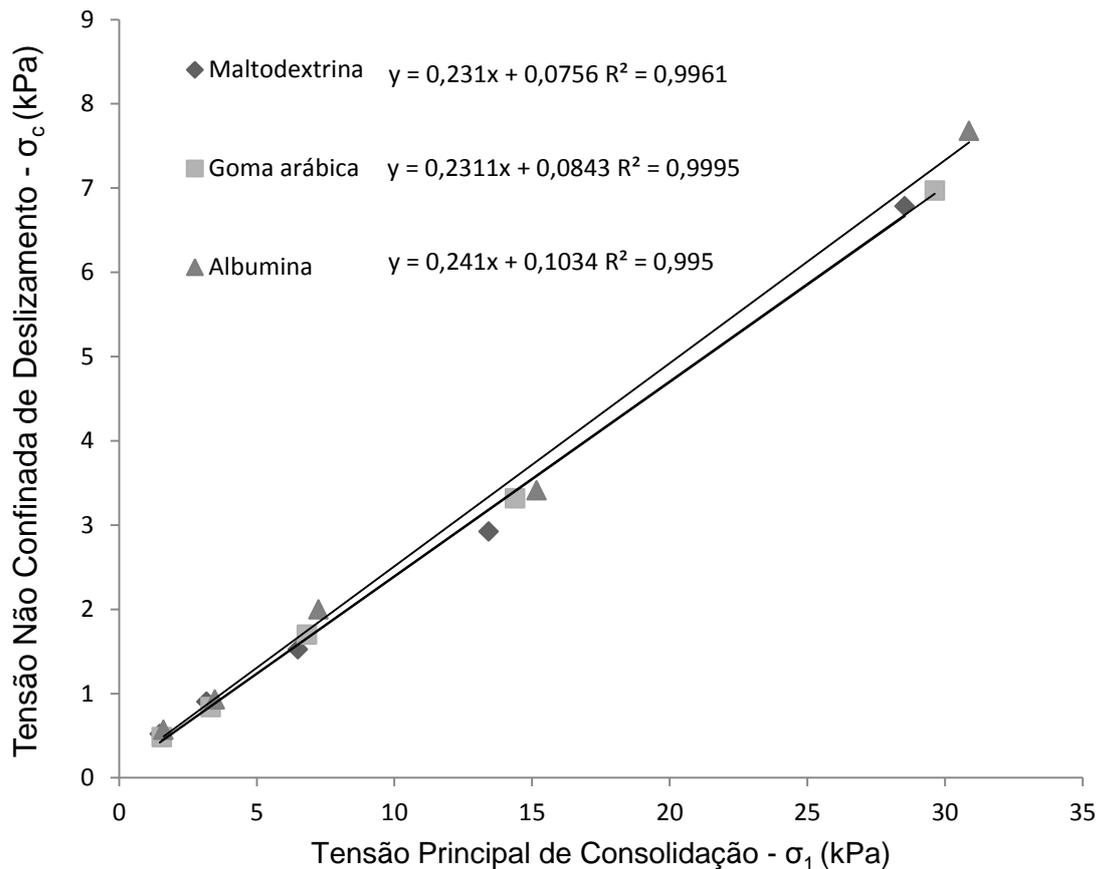
Para Bhusari, Muzzafar e Kumar (2014), o fator determinante para a baixa escoabilidade dos seus pós de tamarindo obtidos por spray-dryer com 40 a 60% (m/m) de maltodextrina e goma Arábica foi o teor umidade presente nas partículas dos pós, variando de 21,83 a 29,83% (IC) e 1,28 a 1,42 (RH) para os pós com maltodextrina e 24,27 a 34,16% (IC) e 1,29 a 1,52 (RH) para os pós com goma Arábica.

Nascimento (1996) cita que o teor de umidade, umidade relativa, temperatura, pressão, teor de gordura, dimensões de partículas e adições de agentes de fluxo mais conhecido como adjuvantes são alguns dos principais fatores responsáveis que afetam a escoabilidade de sólidos em silos e tremonhas. Forças de Wan Der Waals e forças eletrostáticas também são fatores que prejudicam a fluidez dos pós. As forças eletrostáticas costumam causar coesão nos pós e a formação inicial de aglomerados; no entanto, a magnitude das forças de Wan der Waals é quase quatro vezes maior que as forças eletrostáticas (BERNARDES, 2006). Esse efeito negativo geralmente ocorre quando a umidade é adsorvida pelas partículas, na qual essa pequena umidade acaba sendo responsável pela coesão dos pós ligeiramente úmidos (BERNARDES, 2006; AZIZ *et al.*, 2018).

Na Figura 6, podem-se observar as tensões aplicadas nos pós durante a análise do PFT (item 4.3.4). Essas tensões indicam o índice de fluxo dos pós e seu

comportamento em silos ou em tubos de processamento. Segundo Lopes Neto *et al.* (2007), quanto mais próxima a reta estiver ao eixo horizontal mais fluido o produto será, enquanto que quanto mais a reta tender ao eixo vertical mais resistência ele terá para escoar.

Figura 6 – Gráfico de dispersão da tensão de consolidação e tensão não confinada de deslizamento para os pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.



Fonte: Autora (2022).

Tendo em vista os resultados da Figura 6, os fluxos dos pós de bacuri com os adjuvantes maltodextrina, goma Arábica e albumina apresentaram comportamentos semelhantes. Para Lopes Neto *et al.* (2007) a posição em que se encontram os resultados deste trabalho é classificada como intermediária, estando entre o fluxo bom e ruim (Anexo A). Esses resultados corroboram com os números expressos na Tabela 5 para índice de Carr e relação de Hausner, que se encontram na classificação limite para um bom escoamento estabelecido por Aziz *et al.* (2018), item 4.3.4, Tabela 1.

Resultados parecidos foram encontrados por Maciel *et al.* (2020) que, ao avaliarem as tensões de fluxo do pó de goiabada com 4 a 8% (m/m) de albumina, apresentaram uma curva de comportamento intermediário e resultados semelhantes entre as amostras, tendo quase a mesma inclinação ao da Figura 6. Alves (2021) apresentou resultados semelhantes para os pós de pitaiá vermelha com goma Arábica e dextrina (20% m/m), enquanto que o pó com maltodextrina com a mesma concentração de adjuvante tendeu ao eixo horizontal, divergindo ao resultado apresentado pela Figura 6.

Existem diversos fatores que comprometem uma compreensão exata das tensões de consolidação dos alimentos em pó, tais como: conservantes, sais, ácidos, óleos, gorduras e a distribuição ou formato de suas partículas (LOPES NETO *et al.*, 2007). Por esse motivo, busca-se realizar mais de um tipo de análise (morfologia, índice de Carr, relação de Hausner, entre outros) a fim de confirmar o quão fluido poderá ser o pó, visto que são produtos complexos e de difícil caracterização por sua composição variada (ALVES, 2021).

5.2.4 Isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri

Os resultados dos ajustes dos modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin dos pós da polpa de bacuri liofilizada com 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina são apresentadas na Tabela 6.

Segundo Cavalcante *et al.* (2018), é adequado selecionar o modelo que apresenta o menor erro médio relativo (E), inferior a 10%. Em relação à média geral de erro de cada ajuste foi: GAB de 5,12%; BET de 5,26%; Henderson de 10,81% e Oswin de 5,49%. Assim, o melhor modelo seria o de GAB, porém há uma inconsistência no valor de 'K', onde foi maior que 1,0 (maltodextrina a 40 °C), o que o torna fisicamente inconsistente, pois de acordo com Chirife *et al.* (1992) seria uma sorção infinita. Desse modo, o modelo que melhor representou a isoterma do pó da polpa de bacuri foi o de BET com o segundo menor erro médio relativo.

Ribeiro, Costa e Afonso (2016) ao estudar o pó de acerola liofilizada com 19,1% de maltodextrina selecionaram o modelo de BET com E de 6,95%. Oliveira, Costa e Afonso (2014) também apresentaram como melhor modelo matemático o de BET para o pó de cajá liofilizado integral e com 17% (p/p) de maltodextrina com E de

9,14%, enquanto que o modelo de Henderson obteve melhores resultados para isoterma dos pós com maltodextrina com E de 9,49%.

Segundo Moreira *et al.* (2013), por meio dos modelos de GAB e BET (modelos matemáticos mais utilizados em produtos alimentícios) é possível avaliar o teor de X_m (umidade da monocamada) dos alimentos, permitindo um conhecimento físico sobre a sua capacidade de adsorção. A monocamada molecular é a camada primária do alimento e seu teor de água interfere na higroscopicidade ou afinidade das moléculas para a água, bem como a sua estabilidade (CELESTINO, 2010).

Tabela 6 – Resultados dos ajustes das isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina.

Modelos	Parâmetros	Maltodextrina		Goma Arábica		Albumina	
		25 °C	40 °C	25 °C	40 °C	25 °C	40 °C
GAB	X_m	0,0767	0,0570	0,117	0,102	0,0876	0,0950
	C	1,13	1,21	1,19	0,789	1,24	0,565
	K	0,968	1,05	0,862	0,940	0,909	0,956
	R^2	0,996	0,999	0,997	0,999	0,998	0,998
	E (%)	4,79	5,29	2,92	5,25	3,21	9,25
BET	X_m	0,0604	0,0968	0,0664	0,0741	0,0582	0,0730
	C	1,89	0,496	2,61	1,12	2,25	0,731
	n	168	172	16,6	22,1	19,9	24,9
	R^2	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999	0,998
	E (%)	4,16	10,48	1,76	4,48	1,78	8,90
Henderson	a	0,650	0,486	0,821	0,625	0,743	0,551
	b	3,74	2,77	3,92	3,46	4,52	3,32
	R^2	0,988	0,991	0,996	0,997	0,997	0,983
	E (%)	9,80	19,7	3,92	10,19	5,91	15,34
Oswin	a	0,0774	0,0651	0,102	0,0820	0,0854	0,0653
	b	0,896	1,15	0,684	0,882	0,742	0,976
	R^2	0,997	0,998	0,991	0,998	0,995	0,997
	E (%)	4,03	10,0	6,10	3,87	2,29	6,66

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos); R^2 - coeficiente de determinação; E (%) - erro médio relativo; C, K - constante de sorção da camada molecular; n - número de camadas moleculares; a, b - parâmetros de ajuste. Fonte: Autora (2022).

De acordo com os parâmetros de BET (Tabela 6) observou-se um aumento da umidade de X_m com o aumento da temperatura. Segundo Ferreira e Penha (2003) e Moreira *et al.* (2013) o aumento na temperatura costuma provocar modificações na estrutura física do produto em pó, disponibilizando uma maior quantidade de sítios ativos com afinidade por moléculas de água, aumentando assim o conteúdo da monocamada. Uma maior quantidade de água retida na monocamada em determinada temperatura provoca uma maior estabilidade e perdas mínimas da qualidade do produto (GOULA; ADAMOPOULOS, 2008).

Os valores de X_m apresentados na Tabela 6 no modelo de BET para os pós com maltodextrina, goma Arábica e Albumina foram próximos aos de Stępień, Witczak e Witczak (2020) para os pós de abacate com inulina e maltodextrina, onde os valores variaram entre 0,038 e 0,090 g água/g de sólidos (25 °C) para o modelo de GAB. Enquanto que para Maciel *et al.* (2020) os valores de X_m para os pós de goiaba com albumina a 4 e 8% foram de 0,1172 e 0,1821 g água/g de sólidos para 35 °C e 0,1607 e 0,2143 g água/g de sólidos para 45 °C para o modelo de GAB, valores acima aos da Tabela 6. Para Maciel *et al.* (2020), a elevação da temperatura contribuiu para a solubilidade dos açúcares nas amostras e os valores de X_m para os pós com 8% de albumina foram maiores, pois esse adjuvante possui maior afinidade a água.

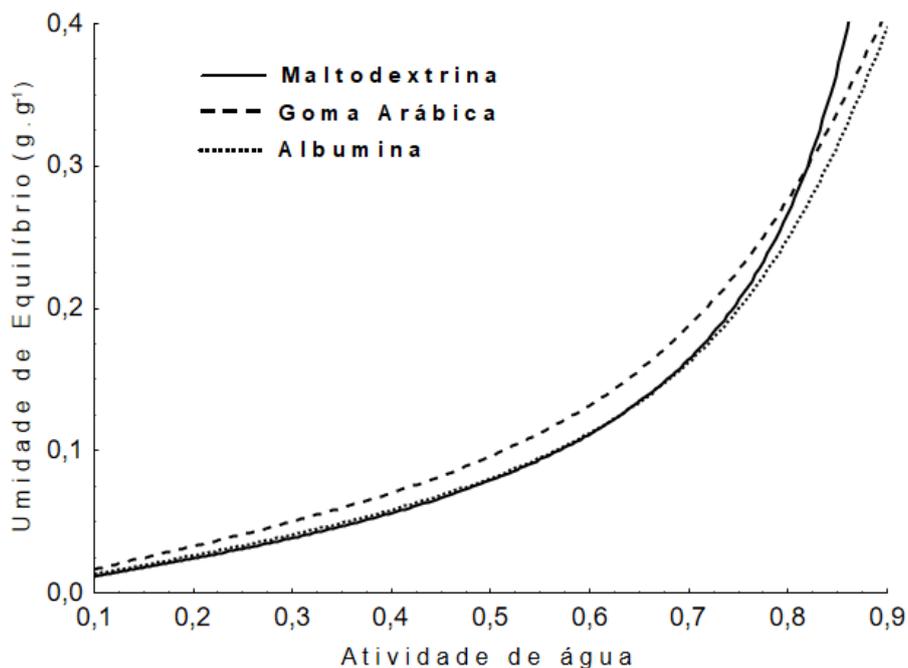
Ribeiro, Costa e Afonso (2016) encontraram comportamento semelhante para X_m no pó de acerola liofilizada em diferentes faixas de temperatura (25, 35 e 45 °C) para o modelo de BET. Stępień, Witczak e Witczak (2020) perceberam que o aumento crescente da inulina e maltodextrina nos pós de abacate liofilizado também resultou em um maior teor de umidade na monocamada a 25 °C para o modelo de Peleg. Nesse caso, não só a temperatura influenciou o aumento na monocamada, mas também o tipo e a concentração do adjuvante.

Para Silva *et al.* (2015) o valor de X_m diminuiu com o aumento da temperatura (25,30 e 35 °C) nos pós de umbu-cajá adicionados de Emustab e Super Liga Neutra obtidos por secagem em camada de espuma para o modelo de GAB. Mutlu, Koç e Erbaş (2020) também observaram uma diminuição dos valores de X_m no aumento da temperatura (15 e 25 °C) nos pós de mel com maltodextrina, goma Arábica e proteína do soro do leite por secagem em bandejas para o modelo de BET e Caurie. Mesmo havendo essa diminuição do teor de umidade da monocamada, os pós de mel com goma Arábica apresentaram maiores valores de X_m . Para Mutlu, Koç e Erbaş (2020) a diminuição de X_m com o aumento da temperatura se dá pelo fato da água adsorvida ser

fraca, não havendo uma ligação forte entre as moléculas de água e a monocamada, sendo necessário uma entalpia mais alta para formar uma interação mais forte.

Os valores da constante de sorção da camada molecular diminuíram com o aumento de temperatura (Tabela 6), indicando que a temperatura influenciou a umidade de equilíbrio entre as amostras (RIGANAKOS; DEMERTZIS; KONTOMINAS, 1994). As constantes C e K são um indicativo do tipo de isoterma e também determinam os tipos de ligações das moléculas de água e os sítios de ligação na superfície do produto. De acordo com Brunauer *et al.* (1940), as isotermas deste estudo são classificadas como tipo III (Figuras 7 e 8), com formato de “J”, uma particularidade de alimentos ricos em componentes solúveis. Essa classificação costuma ser atípica para a maioria das análises de isotermas, porém isso varia de acordo com o produto. O mesmo tipo e formato de isotermas foram observados por Maciel *et al.* (2020) e Ribeiro, Costa e Afonso (2016) para os pós de goiaba secas em secador de bandejas e polpa de acerola liofilizada.

Figura 7 – Isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina a 25 °C.



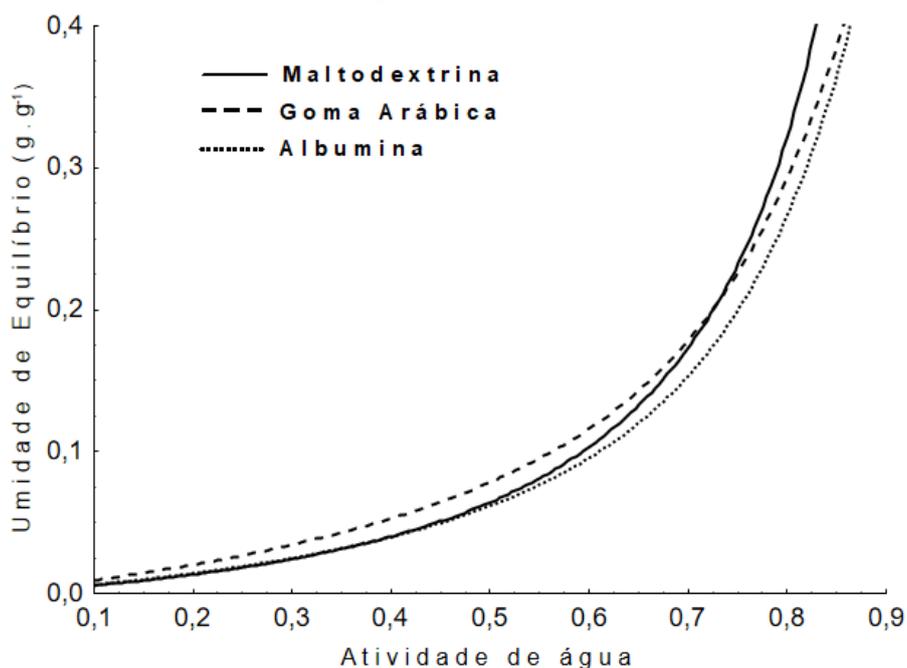
Fonte: Autora (2022).

De acordo com as Figuras 7 e 8, observou-se um aumento acentuado na umidade de equilíbrio das amostras entre as da atividades de água 0,6 e 0,7 para 25 °C e 0,5 e 0,6 para 40 °C. Os pós com maltodextrina (Apêndice G) apresentaram valores mais baixos para umidade de equilíbrio na em baixas de atividades de água, porém a

partir do valor de 0,8 para isoterma à 25 °C e entre 0,7 e 0,8 para a de 40 °C, houve aumento dessa umidade em relação aos pós contendo goma Arábica (Apêndice H) e albumina (Apêndice I). Comportamento semelhante foi relatado por Stępień, Witzak e Witzak (2020) para os pós de abacate liofilizado com inulina e maltodextrina Sormoli e Langrish (2015) e Maciel *et al.* (2020) explicam que o aumento da atividade de água está relacionado na dissolução dos açúcares da fruta no vapor de água sorvido, podendo ser causado pela elevação da temperatura do ambiente onde os sólidos solúveis se solubilizam tornando o pó mais higroscópico.

Nas Figuras 7 e 8 percebeu-se que a temperatura não foi um fator de grandes alterações na umidade de equilíbrio nas amostras, mas sim o adjuvante utilizado, mesmo que a diferença não tenha sido tão significativa visualmente.

Figura 8 – Isotermas de adsorção dos pós da polpa de bacuri liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e albumina a 40 °C.



Fonte: Autora (2022).

5.3 Resultados do delineamento de mistura dos adjuvantes de secagem

Os resultados do delineamento experimental de misturas dos pós da polpa de bacuri encontram-se na Tabela 7. Foi utilizado como variáveis independentes as concentrações de maltodextrina, goma Arábica e albumina e como variáveis dependentes a umidade, a higroscopicidade, os parâmetros de cor (Escala CIELab), o índice de Carr, a relação de Hausner e os teores de compostos fenólicos. As variáveis respostas do delineamento de mistura foram utilizadas com a finalidade de avaliar e selecionar a melhor formulação baseado nos resultados obtidos por meio da Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do delineamento de mistura dos pós da polpa de bacuri para os parâmetros de umidade, higroscopicidade, cor, índice de Carr, relação de Hausner e compostos fenólicos.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis dependentes							
	Maltodextrina (%)	Goma Arábica (%)	Albumina (%)	Umidade (%)	Higro ¹ (%)	L ²	a ³	b ⁴	IC ⁵ (%)	RH ⁶	CF ⁷ (mg GAE / 100g sólidos secos)
1	100,00	0,00	0,00	2,75	6,22	77,83	-1,21	8,18	25,8	1,34	386,90
2	0,00	100,00	0,00	2,57	6,79	67,77	0,50	10,49	23,21	1,3	377,18
3	0,00	0,00	100,00	2,32	6,92	74,14	-1,03	20,02	23,37	1,31	192,44
4	50,00	50,00	0,00	3,28	5,83	73,69	-0,44	8,48	30,19	1,43	328,21
5	50,00	0,00	50,00	2,75	6,28	75,91	-1,46	12,22	31,13	1,45	339,44
6	0,00	50,00	50,00	2,77	7,20	73,67	-0,36	14,8	15,28	1,18	461,50
7	66,67	16,67	16,67	3,92	5,72	77,79	-1,06	11,01	25,99	1,35	353,58
8	16,67	66,67	16,67	3,51	5,56	70,96	-0,06	11,18	25,42	1,34	430,29
9	16,67	16,67	66,67	2,52	5,73	75,18	-0,32	16,06	20,99	1,27	160,43
10	33,33	33,33	33,33	3,45	4,48	77,03	-1,05	13,41	27,06	1,37	437,12

¹Higro: higroscopicidade; ²L: luminosidade; ³a: cromaticidade vermelho e verde ; ⁴b: cromaticidade amarelo e azul; ⁵IC: Índice de Carr; ⁶RH: Relação de Hausner; ⁷CF: compostos fenólicos. Fonte: Autora (2022).

5.3.1 Avaliação da umidade e higroscopicidade

Os resultados dos teores de umidade nos pós de bacuri variaram de 2,32 a 3,92% (Tabela 7), sendo que o adjuvante albumina foi o que mais contribuiu para os menores índices de umidade, ensaios 3, 5, 6 e 9. Em contrapartida, os ensaios que continham interação de maltodextrina e goma Arábica tenderam a aumentar a umidade nos pós. Em uma visão geral, todos apresentaram bons teores.

Maciel *et al.* (2020) obtiveram valores próximos para o pó de cupuaçu liofilizado com maltodextrina 5 a 25%, com umidade variando de 3,01 a 3,34%. Poornima e Sinthiya (2017) obtiveram umidade de 1,0 a 3,4% para o extrato de beterraba encapsulado com maltodextrina e goma Arábica (1:2; 1:4; 1:6). Enquanto que Zea *et al.* (2013) observaram umidades de 5,09, 5,31 e 5,56% para os pós de pitaita, goiaba e suas misturas liofilizadas com 10% de maltodextrina, respectivamente, apresentando valores bem acima ao deste estudo; e Tonon, Brabet e Hubinger (2009) com umidade variando de 1,45 a 1,78% para os pós de açaí secos por spray dryer com 10, 20 e 30% de maltodextrina, valores bem abaixo ao deste trabalho.

Os teores de umidade dos produtos podem variar de acordo com a sua composição e tipos de secagem. Para Poornima e Sinthiya (2017) e Goula e Adamopoulos (2008) a temperatura de secagem e a concentração do adjuvante utilizado possuem influencia significativa no teor de umidade do pó, uma vez que uma maior força motriz resultará em pós menos úmidos.

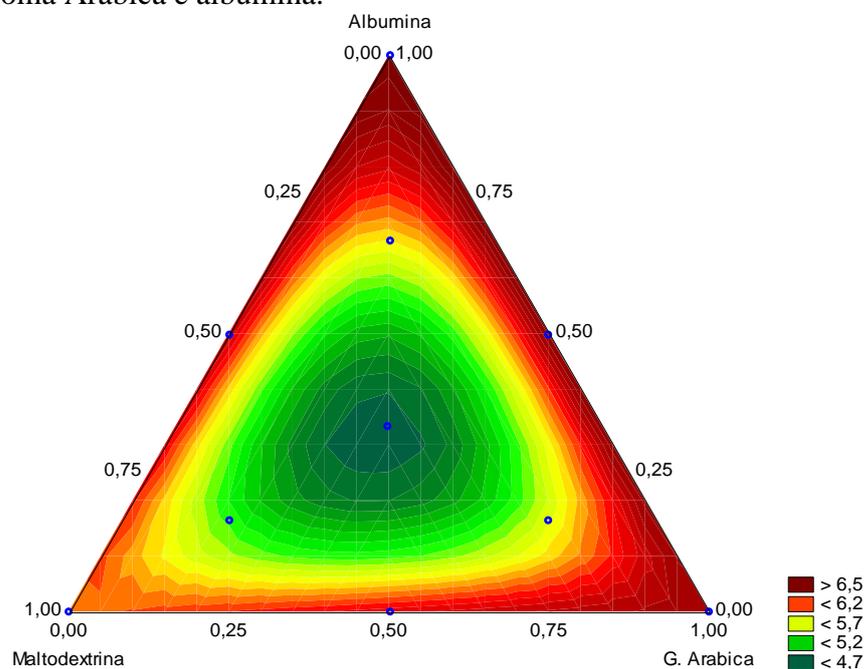
Com relação à higroscopicidade, os ensaios apresentaram teores entre 4,48 a 7,20%, sendo que a mínima higroscopicidade foi observada no ensaio 10, contendo a mistura dos três adjuvantes em iguais proporções, dando a entender que a sua mistura por igual tornará o pó menos higroscópico, contribuindo para um produto menos pegajoso. Já o ensaio 6, contendo a mistura de goma Arábica e albumina observou-se o maior valor da higroscopicidade.

Os efeitos estimados e as análises de variância (ANOVA) para os modelos de regressão obtidos para umidade e higroscopicidade encontram-se no Apêndice J e K. De acordo com os valores de F , o valor $F_{\text{calculado}}$ para umidade foi menor que o F_{Tabelado} , resultado, resultando assim em um modelo de regressão não significativo. O contrário foi observado para a variável higroscopicidade, indicando que o modelo de regressão foi estatisticamente significativo ao nível de 90% de confiança ($p < 0,10$). O coeficiente de

determinação (R^2) para higroscopicidade de 0,875, valor próximo 1, sendo um bom modelo (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).

Desta forma, uma figura ternária para a variável resposta higroscopicidade foi gerada (Figura 9). Nota-se que uma maior concentração (uso individual dos adjuvantes) de goma Arábica e albumina tendem a aumentar o teor de higroscopicidade dos pós (Figura 9 e Apêndice K). Foi observado por Ferreira *et al.* (2014), que a goma Arábica contribuiu para uma menor higroscopicidade em relação a maltodextrina, ambos a 10% de concentração nos pós de seriguela secos por spray dryer. Segundo eles, a goma Arábica apresenta maiores valores de transição vítrea (T_g) quando comparada a maltodextrina, motivo pelo qual foi mais eficaz. Quanto maior forem os valores de T_g do produto, mais estável ele será ao processamento e estocagem (FERNANDES *et al.*, 2014). Desse modo, explica-se o comportamento do ensaio 10, que a mistura dos três adjuvantes ocasionou um equilíbrio dos sólidos solúveis, bem como a T_g do produto em pó, o que pode ter contribuído para uma baixa higroscopicidade e uma boa umidade (Tabela 7).

Figura 9 – Diagrama ternário da higroscopicidade do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.



Fonte: Autora (2022).

Com relação à umidade e higroscopicidade dos ensaios estudados, pressupõe-se que, os adjuvantes empregados nos pós contribuem para torná-los menos úmidos, melhorando sua estabilidade. Já para a sua higroscopicidade, mesmo havendo

baixos teores para umidade, a partir do momento que um pó é exposto ao ambiente externo ocorrerá a absorção de umidade. Essa higroscopicidade será maior caso o pó tenha em sua composição apenas um dos adjuvantes utilizados, porém a mistura dos três reduziu esse comportamento.

5.3.2 Avaliação da cor

Os efeitos estimados e as análises de variância (ANOVA) para os modelos de regressão obtidos para luminosidade, cromaticidade a^* e b^* encontram-se nos Apêndices L, M e N. De acordo com as análises de variância o $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o F_{Tabelado} para os parâmetros, indicando que os modelos foram estatisticamente significativo ao nível de 90% de confiança. Assim, as Figuras 10, 11 e 12 foram geradas.

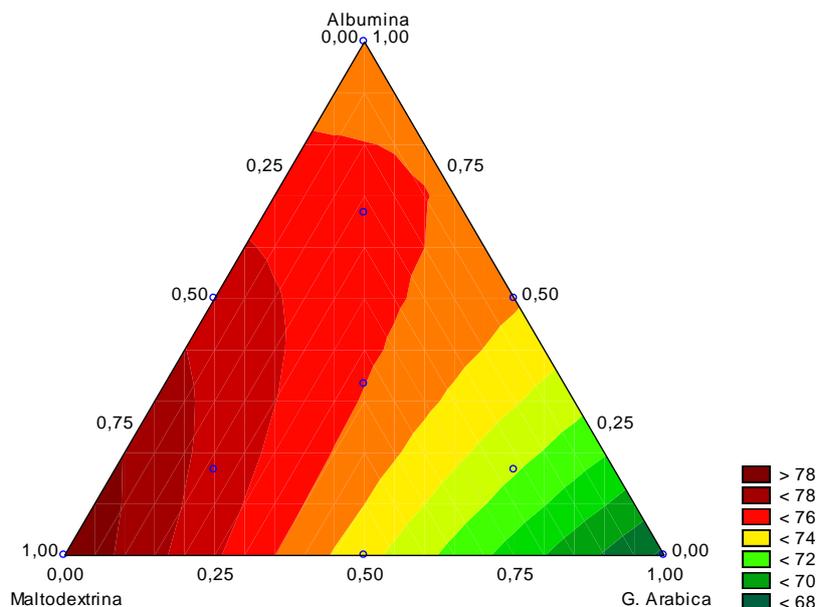
De acordo com a Tabela 7 para a análise de cor da escala CieLab*, os adjuvantes maltodextrina, goma Arábica e albumina beneficiaram o aumento da luminosidade (L^*) nos pós de bacuri, variando de 67,77 a 77,83. Já a polpa integral apresentou o valor de L^* (item 5.1) inferior aos dos ensaios do delineamento. Comportamento semelhante foi obtido no item 5.2.1 deste trabalho para a análise de cor. De todos os ensaios do delineamento o que apresentou o menor índice foi o 2 com goma Arábica. Pode-se observar por meio do Apêndice B que esse adjuvante contribuiu para uma coloração mais escura na polpa antes mesmo de sua secagem e após ela, tornando-a mais escura em comparação aos demais adjuvantes.

Resultados parecidos foram encontrados por Krumreich *et al.* (2016), onde a goma Arábica nos pós de uvaia apresentou o menor valor do parâmetro L^* em comparação aos pós com o adjuvante maltodextrina. Maciel *et al.* (2020) observaram que o aumento do valor de L^* era proporcional ao aumento da concentração de maltodextrina nos pós de cupuaçu liofilizados. Segundo Maciel *et al.* (2020) o uso do adjuvante contribuiu para a diluição dos pigmentos da amostra, tornando-a mais clara.

De acordo com o diagrama ternário (Figura 10), modelo matemático quadrático. As maiores concentrações de maltodextrina trouxeram um pó mais claro, resultando em uma maior luminosidade. Nota-se também que no vértice da albumina também houve o mesmo comportamento, mas não com a mesma intensidade da maltodextrina. Por outro lado, a goma Arábica contribuiu para uma baixa luminosidade, corroborando com os resultados da Tabela 7 do delineamento.

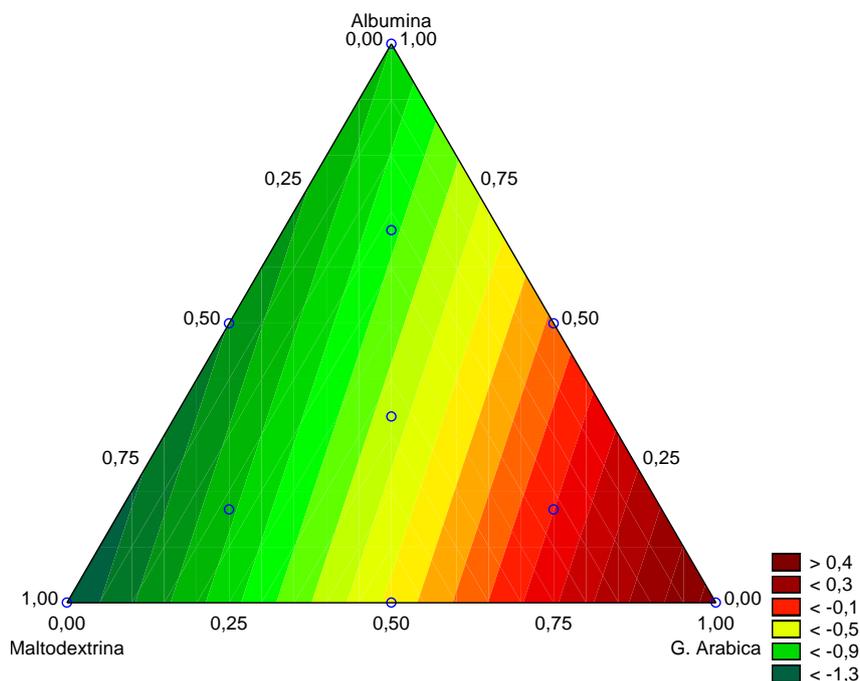
Em relação à cromaticidade verde e vermelho (a^*), os valores variaram de - 1,46 a 0,50. Esses resultados em sua maioria foram negativos, predominando a coloração verde; em contrapartida o ensaio 2 apresentou valor positivo (0,50), sendo indicativo para coloração avermelhada. Pela análise do diagrama ternário, modelo matemático linear (Figura 11), percebeu-se que o uso em maiores concentrações da goma Arábica tornou o pó mais avermelhado, confirmando os valores apresentados para os efeitos estimados no Apêndice M. Ao observar os demais vértices, nota-se que a maltodextrina e a albumina tendem a apresentar baixos valores quando foi usada em maiores concentrações, tendendo a valores negativos para a coloração esverdeada nos pós.

Figura 10 – Diagrama ternário da luminosidade do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.



Fonte: Autora (2022)

Figura 11 – Diagrama ternário da coordenada a^* do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.

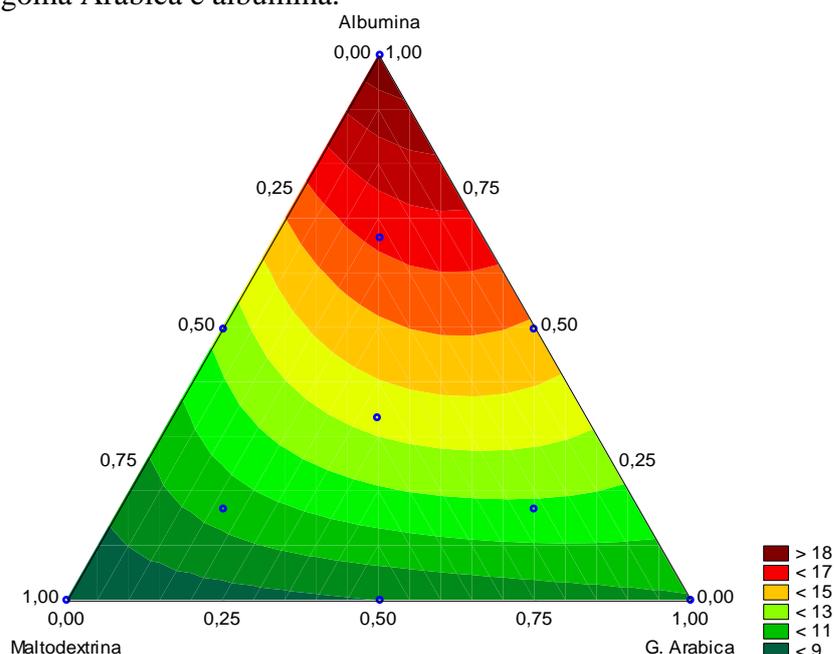


Fonte: Autora (2022).

Quanto à cromaticidade azul e amarelo (b^*), os valores variaram de 8,18 a 20,02, predominando a cor amarela por conta do adjuvante albumina possuir essa coloração predominante (Apêndice C); deste modo, os ensaios que tiveram maiores concentrações desse adjuvante em sua composição demonstraram altos valores da cromaticidade amarela. Ao comparar os valores de a^* e b^* dos ensaios em relação à polpa integral (item 5.1), pode-se afirmar que a mistura dos adjuvantes ajudou a intensificar a coloração da coordenada b^* , enquanto que à coordenada a^* apresentou valores inferiores ao da polpa integral.

Pela análise do diagrama ternário (Figura 12), modelo matemático cúbico especial, percebe-se que o uso em maiores concentrações da albumina tornou o pó mais amarelado, confirmando os valores apresentados na nos efeitos estimados (Apêndice N). Ao observar o ponto central do diagrama notou-se que poderá ocorrer um aumento considerável na coloração do pó; no entanto, os adjuvantes maltodextrina e goma Arábica influenciaram no pó menos amarelado, direcionando a sua cor para a escala azul. Pelo fato da polpa de bacuri ser branca (neutra) ela consequentemente irá fixar a cor que mais estará predominante no meio, nesse caso, o amarelo do adjuvante albumina (Apêndice C).

Figura 12 – Diagrama ternário da coordenada b^* do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.



Fonte: Autora (2022).

A coloração do alimento é um dos fatores determinantes para a aquisição do produto pelo consumidor e a análise colorimétrica é um dos métodos utilizados para verificar se houve ou não alterações da coloração do produto durante o seu processamento ou armazenamento, uma vez que reações como oxidação lipídica, reações enzimáticas, caramelização e adição de pigmentos podem afetar a aparência ou até mesmo o sabor do produto final (ROCHA e REDD, 2014).

5.3.3 Avaliação do índice de Carr (IC) e relação de Hausner (RH)

Os efeitos estimados e as análises de variância (ANOVA) para os modelos de regressão obtidos para o índice de Carr e relação de Hausner encontram-se nos Apêndices O e P. O valor de $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o F_{Tabelado} em ambos os modelos, de modo que o foi estatisticamente significativo ao nível de 90% de confiança. Assim, as Figuras 13 e 14 foram geradas.

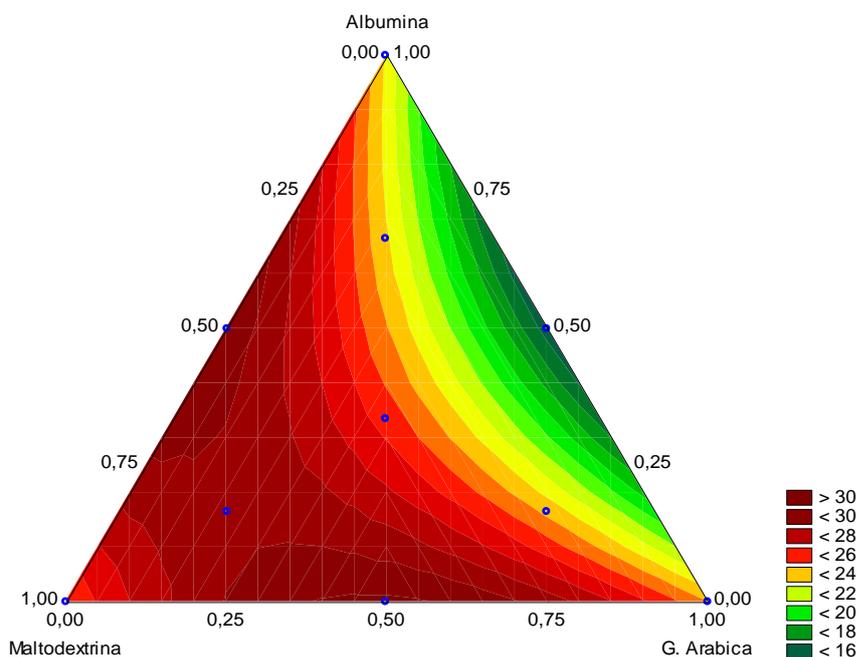
Os resultados dos IC variaram de 15,28 a 31,13% e para a RH de 1,18 a 1,45. Dos dez ensaios avaliados o que demonstrou possuir a melhor fluidez e relação foi o ensaio 6, mistura da goma Arábica mais albumina com 15,28% do índice de Carr e 1,18 para a relação de Hausner. De acordo com Aziz *et al.* (2018), Tabela 1, item 4.3.4,

o ensaio 6 se classifica como boa fluidez, possuindo uma melhor compressibilidade de suas partículas. Outros ensaios apresentaram bons índices, como os ensaios, sendo classificados como fluidez aceitável, porém o ensaio 6 se sobressaiu dos demais apresentando a menor porcentagem. Percebeu-se que o uso individual dos adjuvantes e a mistura da maltodextrina, goma Arábica e albumina, com exceção do ensaio 10 apresentaram bons valores para o IC e RH dos pós de bacuri. Como cada adjuvante possui uma particularidade positiva, isso possa ter influenciado nesses parâmetros.

Resultados parecidos foram encontrados por Adsare e Annapure (2021), nos quais o aumento da concentração da goma Arábica contribuiu para uma melhor fluidez, havendo uma redução nos valores do IC de 33,1 para 27,4% nos pós de curcumina e proteína de coco com goma Arábica a 5, 10 e 15% (p/v) secos por spray dryer. Caliskan e Dirim (2016) também observam boa fluidez nos pós de sumagre com 20 % (p/p) de maltodextrina em diferentes processos de secagem, secagem por spray dryer e liofilização, com IC de 33,94 e 25,02% e RH de 1,51 e 1,33, respectivamente, com melhores valores para o material liofilizado. Elpídio *et al.* (2020) avaliaram o pó de ameixa com 3% de albumina por secagem em camada de espuma onde os valores do IC variaram de 27,33 a 36,98 %, 1,59 a 1,37 para RH, estando em acordo com os valores dos ensaios 4, 5, 7 e 10 (Tabela 7).

De acordo com os diagramas (Figura 13 e 14), modelos matemáticos quadráticos, verificou-se que, os menores valores encontram-se nos vértices da albumina e a goma arábica, bem como a sua mistura; A partir do ponto central em ambas as figuras, nota-se que a mistura dos três adjuvantes tornou o pó menos fluido e que a maltodextrina apresentou o efeito de diminuir a fluidez do pó.

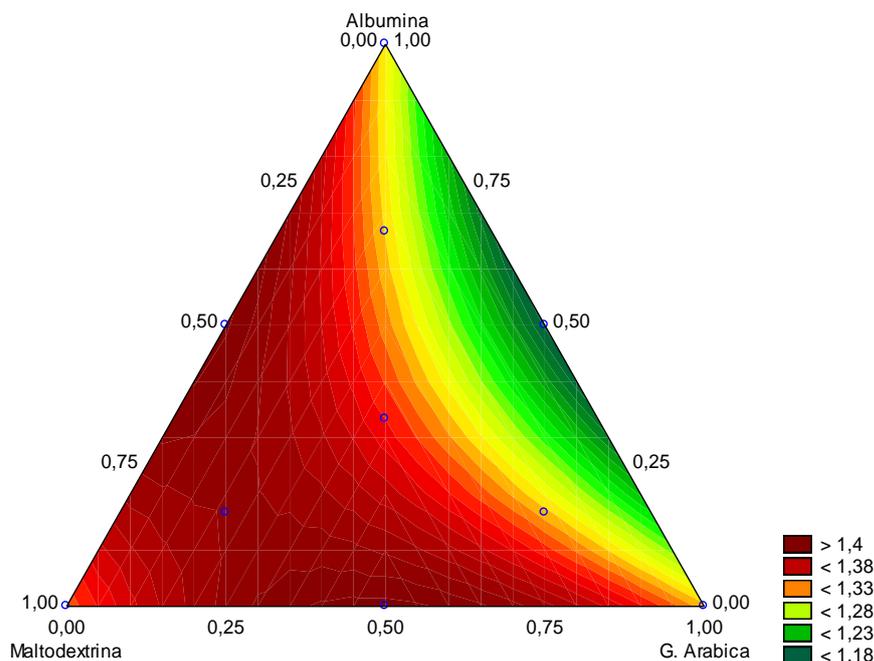
Figura 13 – Diagrama ternário do índice de Carr do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.



Fonte: Autora (2022).

O índice de Carr e a relação de Hausner são dois parâmetros utilizados nas indústrias de alimentos em pó e também no ramo farmacêutico a fim de determinar a fluidez e a capacidade da compressibilidade do produto desejado. Por meio do equipamento PFT (Powder Flow Pro) se obtém os valores desses dois parâmetros e sua junção dirá as características do produto analisado. No caso das indústrias alimentícias, quanto menores forem esses índices melhor será o seu desempenho no processamento e armazenamento. O índice de Carr está ligado com a compressibilidade do pó, onde o seu índice implicará no escoamento do produto em uma superfície. O bom escoamento do pó ocorre quando ele flui facilmente, ou seja, sem auxílio de nenhum mecanismo que promova escoamento, não consolida e escoar com facilidade em um silo/funil/túnel para outro, sem auxílio de nenhum mecanismo que promova o escoamento. Quando pó possui fluidez ruim, este tende a sofrer obstrução no escoamento ou a consolidar, durante o armazenamento, transporte e processamento (MACHADO, 2019). No caso do ensaio 6, que demonstrou a melhor fluidez para ambos os parâmetros, o pó irá escoar com maior facilidade durante o seu manuseio/transporte.

Figura 14 – Diagrama ternário da relação de Hausner do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.



Fonte: Autora (2022).

5.3.4 Avaliação dos compostos fenólicos

A análise de variância (ANOVA) para o modelo de regressão obtido para compostos fenólicos encontra-se no Apêndice Q. O valor do $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o F_{Tabelado} , de modo que o modelo foi estatisticamente significativo ao nível de 90% de confiança e, desta forma, a Figura 15 foi gerada.

De acordo com a Tabela 7 os valores dos compostos fenólicos dos ensaios variaram de 160,43 a 461,50 mg GAE / 100g de sólidos secos. O ensaio 6, mistura da goma Arábica mais albumina, apresentou os maiores nível de compostos fenólicos (461,50 mg GAE / 100g de sólidos secos) sendo um pó rico em compostos bioativos. Bons resultados também foram apresentados pelos ensaios 10 (mistura dos três adjuvantes em partes iguais) e 8 (mistura dos três adjuvantes com maior concentração de goma Arábica). O menor valor foi do ensaio 3, contendo apenas albumina, valor parecido ao resultado obtido no item 5.2.1, Tabela 4 para amostra 3. Resultados parecidos foram observados por Zhang *et al.* (2020), onde maiores concentrações (5:5, 7:3 e 9:1 p/p) de goma Arábica em relação a maltodextrina conseguiram preservar melhor os compostos fenólicos dos pós de noni secos por spray dryer.

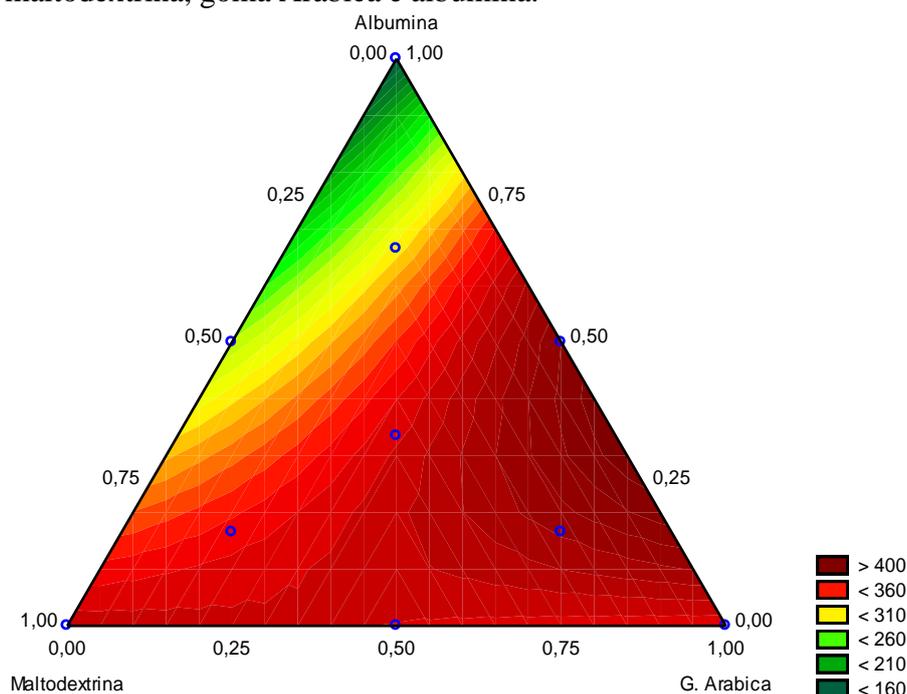
Khalifa *et al.* (2019) ao avaliarem a estabilidade do pó de mulberry encapsulado utilizando delineamento experimental com os adjuvantes maltodextrina, goma Arábica e proteínas de soro de leite apresentaram resultados semelhantes ao deste estudo, na qual a utilização apenas da proteína como adjuvante apresentou os menores índices para esse parâmetro, enquanto que a mistura da proteína com a goma Arábica demonstrou uma maior retenção desses compostos comparado aos pós que continha maltodextrina. Al-Maqtari *et al.* (2021) também observaram bons resultados na preservação dos compostos fenólicos, na utilização da goma Arábica com a proteína do soro de leite e de soja no extrato microencapsulado de *Pulicaria jaubertii* por liofilização.

Mesmo que os autores acima mencionados tenham utilizado proteínas de origens diferentes ao deste estudo, o pressuposto para sua utilização foi o mesmo. Desse modo, os princípios ativos da goma Arábica se potencializam com a junção de proteína.

Ao comparar o valor do ensaio 6 com a polpa integral (815,33 mg GAE/100g de sólidos) houve uma redução de quase 50% dos compostos fenólicos em relação a polpa integral. Visto que o presente trabalho utilizou a liofilização como método de secagem, a redução dos compostos fenólicos no produto em pó pode ter ocorrido pelas perdas durante o seu processamento (LIMA, 2019). Alves (2021) tiveram 75,46% de perdas dos compostos fenólicos em relação à polpa integral nos pós de pitaia vermelha liofilizada com 20% de maltodextrina (m/m), apresentando valores acima aos deste trabalho. Segundo Alves (2021) isso ocorreu por conta da oxidação desses compostos durante o manuseio do pó.

Ao se observar cada vértice da Figura 15 percebe-se que a albumina demonstrou ser um agente redutor para os compostos fenólicos no pó de bacuri. A maltodextrina e a goma arábica foram os adjuvantes que apresentaram os melhores resultados em relação a esses compostos e a mistura dos três adjuvantes (ponto central do diagrama).

Figura 15 – Diagrama ternário dos compostos fenólicos do pó da polpa de bacuri contendo maltodextrina, goma Arábica e albumina.



Fonte: Autora (2022).

5.4 Escolha da formulação para estabilidade

De acordo com a análise dos resultados obtidos e apresentados no item 5.3 (Tabela 7) do delineamento de misturas foi selecionada a formulação que apresentou os melhores teores e índices dos parâmetros analisados. Nenhum dos parâmetros analisados apresentaram valores ótimos. Com relação aos resultados da umidade, higroscopicidade e a cor dos pós observou-se que estes não variaram muito, de maneira que, não foram decisivos na escolha da melhor formulação. Já na avaliação dos parâmetros do IC, RH e compostos fenólicos podem-se observar variações que resultaram na escolha da melhor formulação. Assim, os menores valores de IC e RH dos ensaios são aqueles que apresentaram o melhor escoamento, de acordo com a classificação de Aziz *et al.* (2018) e, portanto, foram priorizados na escolha. Já para os compostos fenólicos, a escolha se deu buscando-se os maiores valores deste parâmetro. Desse modo, o ensaio 6 contendo polpa de bacuri adicionada de 10% de goma Arábica e 10% de albumina foi aquele que apresentou os melhores resultados para o IC (15,28%) e RH (1,18) e o maior valor para os compostos fenólicos (461,50 mg GAE / 100g de sólidos secos) dentre os 10 ensaios avaliados. Portanto, o ensaio 6 foi o escolhido para os teste de avaliação da estabilidade.

5.5 Resultados da avaliação da estabilidade do pó da polpa de bacuri

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios com os respectivos desvios-padrão das análises de estabilidade do pó da polpa de bacuri com a mistura de goma Arábica e albumina 20% (m/m).

Tabela 8 – Avaliação da estabilidade do pó da polpa de bacuri com a mistura de goma Arábica e albumina (20% m/m).

Tempo de armazenamento (Dias)	Análises			
	Umidade (%)	Higroscopicidade (%)	Compostos fenólicos (mg GAE/100g de sólidos)	Solubilidade (%)
0	3,73 ± 0,41 ^b	7,55 ± 1,38 ^a	1105,5 ± 51,03 ^b	71,00 ± 3,91 ^a
15	3,77 ± 0,35 ^b	7,27 ± 0,99 ^a	1471,9 ± 13,09 ^a	70,98 ± 0,64 ^a
30	3,96 ± 0,16 ^b	7,18 ± 0,13 ^a	1498,2 ± 56,45 ^a	70,28 ± 3,48 ^a
58	3,61 ± 0,08 ^b	7,72 ± 1,00 ^a	1141,8 ± 55,72 ^b	69,53 ± 0,89 ^a
90	4,69 ± 0,14 ^a	6,98 ± 0,68 ^a	1157,5 ± 39,61 ^b	70,86 ± 19,95 ^a

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2022).

Umidade

De acordo com os resultados de umidade na Tabela 8 percebeu-se que apenas no dia 90 houve um aumento considerável nesse parâmetro, a qual foi o resultado que diferiu das demais significativamente ($p < 0,05$). Apesar disso, os resultados se mantiveram abaixo de 5%, indicando ser um produto estável microbiologicamente e não apresentando formação de aglomerados após 15 dias de armazenamento (AMIDON; HOUGHTON, 1995).

Para Alves (2021) e Araujo (2019), os pós de pitaiá vermelha e coco liofilizados com maltodextrina poderiam ficar mais tempo armazenados se necessário, pois apresentaram umidades inferiores a 5%. Contudo, recomenda-se haver um tempo de segurança para ser um alimento seguro. Considerando que a umidade final deste estudo foi de 4,69% (Tabela 8), não seria indicado prolongar mais o seu armazenamento, sob o risco de crescimento microbiano devido à alta umidade.

Por meio do Apêndice R pode-se observar a tendência do teor de umidade a cada dia de análise. Embora o armazenamento do pó tenha sido a vácuo e em

embalagens apropriadas para alimentos secos, houve um ganho de umidade no produto a partir do dia 58. Para Lima *et al.* (2019) mesmo em embalagens adequadas para cada alimento específico é possível ocorrer variações no processo de soldagem, dando abertura ao meio externo a alterar a natureza do produto.

Resultados parecidos foram observados por Oliveira *et al.* (2013) em seu estudo da estabilidade dos pós de morango atomizada com diferentes adjuvantes de secagem, onde os pós com goma Arábica do dia 0 até 90 dias de análise variaram a umidade de 2,45 a 4,13%. Costa *et al.* (2019), ao avaliarem a estabilidade do pó de manga liofilizada com 20% de maltodextrina em embalagem laminada com e sem vácuo e embalagem de plástico sem vácuo, apresentaram umidade final de 4,09, 4,37 e 7,58%, respectivamente.

Segundo Costa *et al.* (2019) a presença ou ausência do oxigênio no armazenamento não foi um fator determinante na mudança de umidade, mas sim as propriedades de barreiras do material laminado em comparação à embalagem de plástico. Já a embalagem laminada apresentou resultado positivo no equilíbrio da umidade do pó devido a sua composição química e multicamadas.

Valores superiores ao deste trabalho foram observados por Oliveira *et al.* (2015) na estabilidade do pó de *Cereus jamacaru* com 10% de maltodextrina e diferentes dextroses durante 50 dias de armazenamento, e no final da análise os pós apresentaram 12,30 e 13,09% de umidade. No entanto, as suas amostras apresentaram teor crescente de umidade nos pós, comportamento semelhante ao deste estudo.

Higroscopicidade

De acordo com os valores para higroscopicidade (Tabela 8) não houve diferença significativa entre os dias analisados ($p < 0,05$). Esse parâmetro se mostrou estável durante todo o seu armazenamento (Apêndice S), não havendo influência do meio externo ao produto. Os valores dessa análise corroboram com o resultado obtido para o ensaio 6, no item 5.3 do delineamento de mistura para higroscopicidade, onde a mesma amostra apresentou 7,20%.

Comportamento semelhante foi observado por Costa *et al.* (2019) nos pós de manga liofilizada com maltodextrina em embalagem laminada, no qual os teores de higroscopicidade estariam reduzindo com o passar dos dias de armazenamento. Molina *et al.* (2014) apresentaram resultados diferentes ao deste estudo para os pós de pitaiá

liofilizada com 17% de maltodextrina em embalagem laminada, no qual houve uma tendência do aumento da higroscopicidade durante 120 dias de armazenamento. Para Molina *et al.* (2014) a concentração do adjuvante e o tamanho das partículas contribuíram para o aumento da higroscopicidade dos pós.

Compostos fenólicos

De acordo com a Tabela 8, os dias 15 e 30 apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os demais dias de armazenamento para os compostos fenólicos. Ao observar a Tabela 8 e a Apêndice T notou-se que nos dias que diferiram dos demais ocorreu o aumento nos valores desses compostos e, em seguida, seus teores voltaram a ficar próximos aos valores iniciais. As análises que envolvem leitura por espectrofotômetro são extremamente sensíveis aos sólidos em suspensão presentes nos extratos, assim, pode ser que nos extratos dos dias 15 e 30 tenha ocorrido a presença de pequenas partículas, interferindo assim na leitura do equipamento. Contudo, nota-se que mesmo havendo essa alteração os valores se mantiveram estáveis para os dias 0, 58 e 90.

Khalifa *et al.* (2019) avaliaram durante 60 dias a estabilidade do pó de mulberry encapsulado com maltodextrina, goma Arábica e proteína de soro de leite e perceberam que houve uma diminuição nos valores dos compostos fenólicos, principalmente para os pós com maltodextrina. Já para Al-Maqtari *et al.* (2021) os valores dos compostos fenólicos aumentaram ao passar dos dias de armazenamento no extrato microencapsulado de *Pulicaria jaubertii* por liofilização com goma Arábica, proteína do soro de leite e de soja.

Para Li *et al.* (2020) o adjuvante utilizado irá influenciar diretamente na capacidade de retenção dos compostos fenólicos nos pós, contribuindo para uma menor liberação deles ao passar dos dias.

Solubilidade

De acordo com a Tabela 8 e Apêndice U os teores de solubilidade não apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$). Ao dissolver a mistura em água, percebeu-se que a água ficou turva com formação de espuma. Tal efeito foi ocasionado pela agitação contínua do adjuvante albumina. A solubilidade do pó da polpa de bacuri

com goma Arábica e albumina ficou em torno de 70%. Resultados próximos foram observados por Araujo (2019) nos pós de coco liofilizados com maltodextrina, apresentando solubilidade inicial de 75,84% e com o passar do tempo de armazenamento (até 90 dias) ocorreu uma redução desses teores.

Sousa *et al.* (2016), ao avaliarem a estabilidade do suco de caju em pó secos em leite de jorro com 17% de maltodextrina por 60 dias, obtiveram a solubilidade acima de 90%, valores acima ao deste estudo. Para eles a existência de açúcares solúveis em água no suco de caju em pó contribuiu para uma maior solubilidade. Alves (2021) também apresentaram solubilidade acima de 90% nos pós de pitáia vermelha liofilizadas com 20% (m/m) de maltodextrina durante 60 dias de armazenamento.

Rezende, Nogueira e Narain (2018) citam que a solubilidade do produto em pó depende de vários fatores, com destaque para a composição do alimento, tamanho das partículas (quanto menor o tamanho da partícula maior a área de superfície disponível para hidratação) e o adjuvante de secagem, mas não só para a solubilidade em si, mas também ao estado cristalino que é conferido ao pó. Desse modo, acredita-se que a baixa solubilidade da amostra deste trabalho pode ter sido ocasionada pela compactação dos pós na embalagem, visto que armazenamento sob vácuo ocasiona uma maior aglomeração, pois as partículas dispõem de menos espaço para se acomodarem (ARAUJO, 2019), como também possíveis componentes que não são solúveis em água presentes na polpa de bacuri.

6 CONCLUSÃO

Com relação à polpa de bacuri, observou-se elevados teores de ácido ascórbico e açúcares totais.

Os pós da polpa de bacuri apresentaram baixos teores de higroscopicidade e exibiram fluidez aceitável, independente do adjuvante utilizado. Entre os adjuvantes adicionados individualmente à polpa, a albumina contribui para uma menor umidade do pó, já a maltodextrina e goma Arábica mostraram-se melhores na preservação dos compostos fenólicos da polpa.

As isotermas do pó da polpa de bacuri foram caracterizadas como do tipo III e o modelo matemático de BET foi aquele que melhor se ajustou. As isotermas revelaram que a albumina favoreceu uma maior estabilidade para o pó para ambientes com altas umidades relativas. As partículas dos pós, independente do adjuvante utilizado, apresentaram formatos irregulares, típico dos produtos liofilizados.

Em relação a mistura dos adjuvantes com a polpa de bacuri, a mistura contendo albumina e goma Arábica foi aquela que apresentou boa fluidez e maior retenção dos compostos fenólicos.

Na avaliação da estabilidade do pó da polpa de bacuri contendo a mistura de goma Arábica e albumina, concluiu-se que não houve alterações que pudessem comprometer sua estabilidade durante os 90 dias de análise. Desse modo, supõe-se que a partir dessa formulação pode-se elaborar novos estudos para a produção de produtos adicionado do pó da polpa de bacuri.

Assim, concluiu-se que os diferentes adjuvantes e suas misturas adicionadas à polpa de bacuri influenciaram nas características do pó, no que se refere a sua composição, comportamento de escoamento e características físicas.

REFERÊNCIAS

ABEL, Stashia Eleaness Rosland; YUSOF, Yus Aniza; CHIN, Nyuk Ling; CHANG, Lee-Sin; GHAZALI, Hasanah Mohd; ISHAK, Izzreen. The effect of particle size on the physical properties of Arabic gum powder. **Journal of Food Process Engineering**. v. 43, n. 3, 2020.

ADSARE, Sachin Ramdas; ANNAPURE, Uday S. Microencapsulation of curcumin using coconut milk whey and gum Arabic. **Journal of Food Engineering**. v. 298, 2021.

AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; RODRIGUES, Brena Kelle Moreira; COSTA, José Maria Correira da; RYBKA, Ana Cecília Poloni; WURLITZER, Nédio Jair. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 2, p. 133-137, 2019.

AGUIAR, Larissa Pereira; FIGUEIREDO, Raimundo Wilane de; ALVES, Ricardo Elesbão; MAIA, Geraldo Arraes; SOUZA, Valdomiro Aurélio Barbosa de. Caracterização física e físico-química de frutos de diferentes genótipos de bacurizeiro (*Platonia insignis* Mart.). **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n.2, p. 423-428, 2008.

AL-MAQTARI, Qais Ali; MOHAMMED, Jalaleldeen Khaleel; MAHDI, Amer Ali; AL-ANSI, Waleed; ZHANG, Mi; AL-ADEEB, Abdulqader; WEI, Minping; PHYO, Hsu Mon; YAO, Weirong. Physicochemical properties, microstructure, and storage stability of *Pulicaria jaubertii* extract microencapsulated with diferente protein biopolymers and gum arabic as wall materials. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 187, p. 939-954, 2021.

ALVES, Thallyne de Brito; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; COSTA, José Maria Correira da. Efeitos da adição de agentes carreadores sobre o pó da polpa de pitaia vermelha. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 9, n. 8, 2020.

ALVES, Thallyne de Brito; **Influência da maltodextrina, goma arábica e dextrina sobre o pó da polpa de pitaia vermelha *Hylocereus polyrhizus* liofilizada**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

AMIDON, Gregory E.; HOUGHTON, Michael E. The effect of moisture on the mechanical and powder flow properties of microcrystalline cellulose. **Pharmaceutical Research**. v. 12, n. 6, p. 923-929, 1995.

ANDRADE, Ricardo. D. Pizarro; LEMUS, Roberto; PÉREZ, Carmem. Elena. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica**, Colômbia, v. 18, n. 3, p. 325-334, 2011.

ANSELMO, George Carlos S.; MATA, Mario Eduardo R. M. Cavalcanti; ARRUDA, Patrícia Campus de. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da

secagem por atomização. **Rev. de Biol. e Ciênc. da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 2, 2006.

ARAUJO, Tayla Maria Ramos; **Influência da maltodextrina nas propriedades e na microestrutura da polpa de coco verde em pó**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

ASQUIERI, Eduardo Ramirez; NISHI, Adriana Cândida Faustino; BATISTA, Rayssa Dias; ASQUIERI, Elaine Meire de Assis Ramirez. Secagem do extrato de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) por spray dryer: efeito dos diferentes agentes carreadores e avaliação dos teores de frutooligossacarídeos e compostos fenólicos. **Research, Society Development**, São Paulo. v. 9, n. 7, 2020.

AZEVEDO, Luciana; MILEIB, Christiane; VISSOTTO, Fernanda Zaratini; CARVALHO-SILVA, Luciano Bruno de. Alimento para fins especiais: ingredientes, elaboração e aglomeração. **Brazilian Journal of Nutrition**. Campinas, v. 24, n. 2, p. 315-322, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rn/v24n2/a12v24n2.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2020.

AZIZ, Mohammad Gulzarul; YUSOF; BLANCHARD, Christopher; SAIFULLAH; FARAHNAKY, Asgar; SCHEILING, G. Material properties and tableting of fruit powders. **Food Engineering Reviews**. Estados Unidos, v. 10, n. 4. 2018.

BARBOSA, Wilson Carvalho; NAZARÉ, Raimunda Fátima R. de; NAGATA, Iwao. **Estudo tecnológico de frutas da amazônia**. EMBRAPA-CPATU (comunicado técnico 3), Belém, 1978. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/376721/1/CPATUComTec3.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

BARRETO, Gisela Pizarro de Mattos; BENASSI, Marta de Toledo; MERCADANTE, Adriana Zerlotti. Bioactive compounds from several tropical fruits and correlation by multivariate analysis to free radical scavenger activity. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 20, n. 10, p. 1865-1861, 2009.

BARROS NETO, Benicio de; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, Editora Unicamp, p. 214, 2001.

BERNARDES, Laudo José Landi. A granulação de materiais. **Cerâmica Industrial**. Santa Catarina, v. 11, n. 3, 2006.

BEZERRA, Germania De Souza Almeida; MAIA, Geraldo Arraes; FIGUEIREDO, Raimundo Wilane De; FILHO, Men De Sá Moreira De Souza. influência da redução da atividade de água, adição de conservantes e branqueamento na preservação da polpa de bacuri por métodos combinados. **Boletim Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 22, v. 2, p. 217-232, 2004.

BEZERRA, Germania De Souza Almeida; MAIA, Geraldo Arraes; FIGUEIREDO, Raimundo Wilane De; FILHO, Men De Sá Moreira De Souza. Potencial agroeconômico

do bacuri: revisão. **Boletim Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.23, n. 1, p. 47-58, 2005.

BHUSARI, S. N; MUZAFFAR, Khalid; KUMAR, Pradyuman. Effect of carrier agentes on physical and microstructural properties of spray dried tamarindo pulp powder. **Powder Technology**. v. 266, p. 354-364, 2014.

BLAHOVEC, Jiří. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**. v. 65, 4 ed., p. 489–495, 2004.

BOTELHO, Matheus Gabriel Lopes; HOMMA, Alfredo Kingo Oyama; FURTADO, Layse Gomes; LIMA, Maria do Carmo Silva; COSTA Merilene do Socorro Silva. Productive and market potential of bacuri fruit (*Platonia insignis* Mart.) in Pará, Brazil. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 9, n. 7, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5124>. Acesso em: 16 set. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - **RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais”. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

BRUNAUER, Sthephen; DEMING, Lola S.; DEMING, W. Edwards; TELLER, Edward. On a theory of the van der waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**. v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.

CALISKAN, Gulsah; DIRIM, Safiye Nur. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrina addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**. v. 287, p. 308-314, 2016.

CAMPOS, Milene Minniti de. **Análise da escoabilidade de pós**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2012.

CANO-CHAUCA, Milton; STRINGUETA, Paulo Cesar; RAMOS, Afonso Mota; CAL-VIDAL, José. Effect of the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovate Food Science and Emerging Technologies**. v. 6, ed. 4, p. 420-428, 2005.

CANUTO, Gisele André Baptista; XAVIER, Ana Augusta Odorissi; NEVES, Leandro Camargo; BENASSI, Marta de Toledo. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/MYtVCHkznjcSnsHTRHDXfZG/?lang=pt>. Acesso em: 14 ago. 2021.

CARVALHO, José Edmar Urano de; ALVEZ, Sérgio de Mello; NASCIMENTO, Walnice Maria Oliveira do; MÜLLER, Carlos Hans. Características físicas e químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) sem sementes. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 573-575, 2002.

CARVALHO, José Edmar Urano de. NASCIMENTO Walnice Maria Oliveira do. **Bacuri: *Platonia insignis***. PROCISUR - IICA, 2018.

CARVALHO, José Edmar Urano de; NAZARÉ, Raimunda Rátima Ribeiro de; NASCIMENTO, Walnice Maria Oliveira do. Características físicas e físico-químicas de um tipo de bacuri (*platonia insignis* mart.) com rendimento industrial superior. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 326-328, 2003.

CAVALCANTE, Carlos Eliardo Barros; RODRIGUES, Sueli; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; COSTA, José Maria Correia. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, 2018.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/883845/1/doc276.pdf>. Acesso em: 30 set. 2020.

CHIRIFE, Jorge; TIMMERMANN, Ernesto O.; IGLESIAS, Héctor A.; BOQUET, Reinaldo. Some features of the parameter k of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food materials. **Journal of Food Engineering**, Inglaterra, v. 15, n. 1, p. 75- 82, 1992.

CHITARRA, Maria Isabel Fernandes; CHITARRA, Adimilson Bosco. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2º edição, Lavras: UFLA, 2005.

CHITARRA, Maria Isabel Fernandes; CHITARRA, Adimilson Bosco. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: glossário**. Lavras: UFLA, 2006.

CORNEJO, Felix Emilio Prado; NOGUEIRA, Regina Isabel; WILBERG, Viktor Christian. **Secagem como método de conservação de frutas**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/415605/1/2003DOC0054.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2020.

COSTA, Laiana Olibeira; LARA JUNIOR, Jovan Marques; COSTA, José Maria Correia; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; RODRIGUES, Sueli; WURLITZER, Nédio Jair. Stability and microstructure of powdered pulp of the palmer mango obtained by the process of lyophilisation. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 50, n. 2, p. 251-258, 2019.

D'ABBEVILLE, Claude. **História da Missão dos Padres Capuchinhos na Ilha do Maranhão e Terras Circunvizinhas**. Edições do Senado Federal, v. 105. Brasília, p. 195-230, 2008.

DAÍUTO, E. R.; CEREDA, M. P. **Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento**. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3. cap. 16, p. 449-474. Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. **Microscopia eletrônica de varredura aplicações e preparação de amostras:** materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DHANALAKSHMI, Kuttigounder; GHOSAL, Sudeep, BHATTACHARYA, S. Agglomeration of food powder and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 5, p. 432-441, 2011.

DUARTE, Marco Tullio Lima. **Qualidade da polpa de lichia em pó, obtida pelo processo de Liofilização.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2018.

ELIAS, Kauane. **Diagrama de fases:** o que é e como interpretar. Estratégia Vestibulares. 2022. Disponível em: <https://vestibulares.estrategia.com/portal/materias/fisica/diagrama-de-fases/> Acesso em: 21 jul. 2022.

ELPÍDIO, Cinthia Meirelly de Araújo; MACHADO, Aimée Karla Tavares; OLIVEIRA, Jackson Araújo de; MEDEIROS, Maria de Fátima Dantas. **Secagem da ameixa pelo método em camada de espuma:** estudo sobre as variáveis do processo e qualidade do pó. *In:* TULLIO, Franciele Braga Machado; MACHADO, Lucio Mauro Braga. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020, cap. 8.

ERMİŞ, Ertan. **Food powder properties and characterization.** Food Engineering Series. Springer. 2021.

ESPINOZA, Marilú Andrea Silva; MARTÍNEZ, Eva García; NAVARRETE, Nuria Martínez. Protective capacity of gum arabic, maltodextrina, diferente starches, and fibers on the bioactive compounds and antioxidante activity of na Orange puree (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) against freeze-drying and *in vitro* digestion. **Food Chemistry**. v. 357, 2021.

EZHILARASI, Perumal Natarajam; INDRANI, Dasappa; JENA, Bhabani Sankar; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Freeze drying technique for microencapsulations of garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**. v. 117, n. 4, p. 513-520, 2013.

FAZAEI, Mahboubeh; EMAM-DJOMEH, Zahra; ASHTARI, Ahmad Kalbasi; OMID, Mahmoud. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**. v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FERNANDES, Regiane Victória de Barros; BORGES, Soraia Vilela; BOTREL, Diego Alvarenga. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 33, p. 171-178, 2013.

FERNANDES, Regiane Victória de Barros; QUEIROZ, Fabiana; BOTREL, Diego Alvarenga; ROCHA, Vitangela Vieira; SOUZA, Vívian Raquel de; LIMA, Carla Ferreira de. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Sêmima: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1267-1278, 2014.

FERRARI, Cristhiane Caroline; GERMER, Silvia Pimentel Marconi; ALVIM, Izabela Dutra; VISSOTTO, Fernanda Zaratini; AGUIRRE, José Maurício de. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**. v. 47, n. 6, p. 1237-1245, 2012.

FERRARI, Cristhiane Caroline; RIBEIRO, Caio Pereira; AGUIRRE, José Maurício de. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 157-165, 2012.

FERREIRA, Ana Paula Rodrigues; COSTA, J. de P. da; souza, S. L.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, José Maria Correia da. Comportamento higroscópico de polpa de seriguela atomizada utilizando diferentes agentes carreadores de secagem. **XX COBEQ 2014**. Florianópolis. 2014.

FERREIRA, Cristiane Damasceno; PENA, Rosinelson S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

FERREIRA, Marcos David; SPRICIGO, Poliana Cristina. **Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura**. Embrapa Instrumentação - Capítulo em livro científico (ALICE), 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1084379/1/Parte4cap1Colorimetria...pdf> Acesso em: 27 set. 2021.

FITZPATRICK, John J.; IQBAL T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, Filadélfia, v.64, n.4, p. 435-444, 2004.

FONSECA, Eurico Teixeira da. **Frutas do Brasil**. Instituto Nacional do Livro, Rio de Janeiro, 1954.

FONTENELE, Maria Alves; FIGUEIREDO, Raimundo Wilane de; MAIA, Geraldo Arraes; ALVES, Ricardo Elesbão; SOUSA, Paulo Henrique Machado de; SOUZA, Valdomiro Aurélio Barbosa de. Conservação pós-colheita de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) sob refrigeração e embalado em PVC. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.3, p. 292-296, 2010.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **Analytical methods dry milk products**. GEA Niro analytical methods. Soeborg, Denmark, 2003.

GOULA, Athanasia M.; ADAMOPOULOS, Konstantinos G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Power properties. **Drying technology: Na International Journal**, v. 26, n. 6, p. 726-737, 2008.

GUÉNEAU, Stéphane; DINIZ, Janaína Deane de Abreu Sá; BISPO, Tayline Walverde; MENDONÇA, Sabina Dessartre. **Alternativas para o bioma Cerrado:** agroextrativismo e uso sustentável da sociobiodiversidade (Cadeias de produtos da sociobiodiversidade como opção de desenvolvimento sustentável no Cerrado: o desafio da comercialização). *Mil Folhas*, Brasília, ed. 1, v. 1, 2020. p. 329-367. Disponível em: <https://agritrop.cirad.fr/595842/1/Gu%C3%A9neau2020-Cap8-ALTERN-CERRADO-ED-MILFOLHAS-2020-05-21.pdf>. Acesso em: 17 set. 2020.

GUIA FUNCIONAIS. Aditivos & Ingredientes. São Paulo, ed. Insumos. n. 124, p. 54-61, 2015.

HIANE, Priscila Aiko; BOGO, Danielle; RAMOS, Maria Isabel Lima; FILHO, Manoel Mendes Ramos. Carotenóides pró-vitaminicos A e composição em ácidos graxos do fruto e da farinha do bacuri (*Scheelea phalerata* Mart.). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 2006-209, 2003.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama; MENEZES, Antônio José Elias Amorim de; CARVALHO, José Edmar Urano de; MATOS, Grimoaldo Bandeira de. Manejo e plantio de bacurizeiros (*Platonia insignis* Mart.): a experiência no manejo e domesticação de um recurso da biodiversidade amazônica. **Inclusão Social**, Brasília, v.12 n.1, p.48-57, 2018.

HOMMA, Alfredo; CARVALHO, José Edmar Urano de; MENEZES, Antônio José Elias Amorim de. Fruta Amazônica em ascensão: Bacuri. **Ciência Hoje**, Amazônia, vol. 46, n. 271, p. 42. 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/872367/bacuri-fruta-amazonica-em-ascensao>. Acesso em: 11 set. 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo. 4ª edição. 2008.

JACOMINO, Angelo P.; PINTO, Patricia M.; GALLON, Camilla Z.; **Exotic Fruits:** reference guide (Bacuri). Academic Press. ed. 1, p. 49-51, 2018.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 2, p. 125–134, 2004.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; DHAKRE, Digvijay Singh; SARKAR, Smritikana. Assessment of physicochemical and sensory characteristics of foam-mat dried papaya fruit powder. **International Food Research Journal**. v. 26, n. 3, p. 819-829, 2019.

KHALIFA, Ibrahim; LI, Mengli; MAMET, Torkun; LI, Chunmei. Maltodextrin or gum arabic with whey proteins as wall-material blends increased the stability and physiochemical characteristics of mulberry microparticles. **Food Bioscience**. v. 31, 2019.

KIST, Benno Bernardo; CARVALHO, Cleonice de; BELING, Romar Rudolfo. **Anuário Brasileiro de horti&fruti 2021**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2021. 104p.

KRUMREICH, Fernanda; D'AVILA, Roseane Farias; FREDA, Suzan Almeida; CHAVES, Fábio Clasen; CHIM, Josiane Freitas; Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica. **Revista Thema**, Pelotas, v. 14, n. 2, p. 4-17, 2016.

KUCK, Luiza Siede; NOREÑA, Caciano Pelayo Zapata. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. **Food Chemistry**. v. 194, p. 569-576, 2016.

KUSKOSKI, Eugenia Marta; ASUERO, Agustín García; MORALES, Maria Teresa; FETT, Roseane. Frutas tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1283-1287, 2006.

LARRAURI, José. A; RUPÉREZ, Pilar; SAURA-CALIXTO, Fulgencio. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997.

LEONARDI, Jéssica Gabriela; AZEVEDO, Bruna Marcacini. Métodos de conservação de alimentos. **Revista Saúde em Foco**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 51-61, 2018.

LI, Liang; ZHANG, Wenhui; PENG, Jian; XUE, Bei; LIU, Zhendong; LOU, Zhang; LU, Deze; ZHAO, Xiaorui. A novel shell material – highland barley starch for microencapsulation of cinnamon essential oil with different preparation methods. **Materials**. n. 13, v. 5, 2020.

LIMA, Antonia Carlota de Souza. **Liofilização do extrato fenólico do coproduto do processamento do pedúnculo do caju**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019.

LIMA, Natalia Duarte de; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; COSTA, José Maria Correia de; CARVALHO, Juliane Doering Gasparin. Powdered beverage mix with acerola pulp, whey and maltodextrina. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 50, n. 4, p.578-583, 2019.

LOPES NETO, José Pinheiro; NASCIMENTO, José Wallace Barbosa do; SILVA, Valneide Rodrigues da; LOPES, Fernanda Fernandes de Melo. Propriedade de fluxo e características de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 851-859, 2007.

LUSTOSA, Ana Karina Marques Fortes; ARCANJO, Daniel; RIBEIRO, Rayra Gomes; RODRIGUES, Kingler Antonio da Franca; PASSOS, Flávia Francieli de Brito; PIAULINO, Celyane Alves; FILHO, José Couras Silva; ARAUJO, Bruno; NETO, José de Sousa Lima; JÚNIOR, Joaquim Soares da Costa; CARVAL, Fernando Aécio de Amorim; CITÓ, Atônia Maria das Graças Lopes. Immunomodulatory and toxicological evaluation of the fruit seed from *Platonia insignis*, a native species from brazilian amazon rainforest. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, v. 26, n. 1, p. 77-82, 2016.

MACHADO, Mafalda Esteves. **Uso de Lubrificantes (deslizantes) na melhoria do índice de escoamento de pós**. 2019. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Farmácia, Universidade de Lisboa, Portugal, 2019.

Disponível em:

https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/43373/1/MICF_Mafalda_Machado.pdf Acesso em: 13 set. 2021.

MACIEL, Roberta Mágila Gurgel; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; COSTA, José Maria Correia da; ARAUJO, Tayla Maria Ramos. Influence of albumin on guava pulp powder obtained by foam-mat drying. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 388-395, 2020.

MACIEL, Roberta Mágila Gurgel; LIMA, Sanvily Braga de; COSTA, José Maria Correia da; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, 2020.

MALISKA, Ana Maria **Microscopia eletrônica de varredura**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2012.

MARQUES, Elisabete Coentrão; COSTA, Stella Regina Reis da. Estudo da liofilização pela engenharia de produto no processamento industrial de alimentos. **Acta Tecnologia**, Maranhão, v. 10, n. 1, p. 44-52, 2015.

MEDINA, Gabriel; FERREIRA, Maria Do Socorro Goncalves. **Bacuri (Platonia insignis Martius): o fruto amazônico que virou ouro**. Embrapa Amazônia Oriental. p. 203-218. 2004. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198744/1/Bacuri-o-fruto-amazonico.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

MEDRADO, Lais Camargo de Lacerda. **Biorremediação do antibiótico oxitetraciclina utilizando lacases produzidas pelo fungo *Pleurotus ostreatus***. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2017.

MELO, Denise Wibelinger de; CAVALCANTE, Bianca D'arck Melo; AMANTE, Edna Regina. Caracterização do araçá vermelho (*psidium cattleianum sabine*) liofilizado em pó. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p.29868-29875, 2020.

MENON, Abhay; STOJCESKA, Valentina; TASSOU, Savvas. A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. **Trends in food Science & Technology**, v. 100, p. 67-76, 2020.

MILLER, Gail Lorenz. Uso de reagente ácido dinitrossalicílico para determinação de açúcares redutores. **Química analítica**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, **Amazônia**, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia>. Acesso em: 22 set. 2020.

MOLINA, Rosimari; CLEMENTE, Edmar; SCAPIM, Mônica Regina da Silva; VAGULA, Julianna Matias. Physical evaluation and higroscopic behavior of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) lyophilized pulp powder. **Drying Technology**. v. 32, n. 16, p. 2005-2011, 2014.

MOREIRA, Teresinha; ROCHA, Érica Milô de Freitas Felipe; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; COSTA, José M. C. da. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.

MORTON, Julia. Bakuri. **Fruits of warm climates**. Miami: FL, p. 308, 1987. Disponível em: <https://hort.purdue.edu/newcrop/morton/bakuri.html/> acesso em: 17 de nov. 2021.

MOURÃO, Káthia Socorro Mathias; BELTRATI, Celia Massa. Morfologia dos frutos, sementes e plântulas de *Platonia insignis* Mart. (Clusiaceae). II. Morfo-anatomia dos frutos dos frutos e sementes maduros. **Acta Amazonica**, Manaus, v.25, n. 1/2, p. 33-46. 1995.

MUTLU, Ceren; KOÇ, Andaç; ERBAS, Mustafa. Some physical properties and adsorption isotherms of vacuum-dried honey powder with different carrier materials. **LWT – Food Science and Technology**. v. 134, 2020.

NASCIMENTO, José Wallace Barbosa do. **Estudo de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

NAZARÉ, Raimunda Fátima Ribeiro. Produtos agroindustriais de bacuri, cupuaçu, graviola e açáí, desenvolvidos pela embrapa amazônia oriental. Documento 40. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, 27 p.

OLIVEIRA, Arali da Silva; FIGUEIRÊDO, Rossana Maria Feitosa de; QUEIROZ, Alexandre José de Melo; BRITO, Juliana Gomes de. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 147-153, 2015.

OLIVEIRA, Gleison Silva; COSTA, José Maria Correia; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim. Caracterização e comportamento higroscópico de pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p. 1059-1064, 2014.

OLIVEIRA, Maria Isabel Sousa; TONON, Renata Valeriano; NOGUEIRA, Regina Isabel; CABRAL, Lourdes Maria Corrêa. Stability of spray-dried strawberry pulp produced with diferente carrier agentes. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.

OLIVEIRA, Mirela Araújo de. **Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PALZER, Stefan. **The Industrial Relevance and Future of Food Agglomeration**. Food Science. 2018.

PARK, kil Jin Brandini; PARK, kil Jin; CORNEJO, Félix Emilio Prado; FABBRO, Inácio Maria Dal. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n. 1, p.83-94, 2008.

PARK, Kil Jin; ANTONIO, Graziella Colato; OLIVEIRA, Rafael Augustus de; PARK, kil Jin Brandini. **Conceito de processos e equipamentos de secagem**. Campinas, Freagi. 2007.

PARK, Kil Jin; BIN, Adriana; BROD, Fernando Pedro Reis. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 21, n. 1, 2001.

POORNIMA, Kalpani; SINTHIYA, Rajendran,. Encapsulation of beetroot extract using spray drying. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)**. v. 5, n. 4, p.346-352, 2017.

RESENDE, Osvaldo; FERREIRA, Lênio Urzêda; ALMEIDA, Dieimisson Paulo. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (vigna angularis). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.

REZENDE, Yara Rafaella Ribeiro Santos; NOGUEIRA, Juliete Pedreira; NARAIN; Narendra. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**. v. 254, p. 281-291, 2018.

RIBEIRO, Luciana Carneiro; COSTA, José Maria Correia da; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim. Flow behavior of coco pulp poder containing maltodextrina. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 23, 2020.

RIBEIRO, Luciana Carneiro; COSTA, José Maria Correia da; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 269-274, 2016.

RIGANAKOS, Kyriakos A.; DEMERTZIS, Panagiotis g.; KONTOMINAS, Michael George. Water sorption by wheat and soy flour: comparison of three methods. *Journal of Cereal Science*. v. 20, n. 1, p. 101-106, 1994.

ROCHA, Danielly Santos; REED, Elaine. Pigmentos naturais em alimentos e sua importância à saúde. *Revista Estudos Vida e Saúde*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 76-85, 2014.

ROCHA, Wesley Silveira; LOPES, Renata Miranda; SILVA, Dijmala Barbosa da Silva; VIEIRA, Roberto Fontes; SILVA, Joseane Padilha da; AGOSTINI-COSTA, Tânia da Silveira. Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1215-1221, 2011.

RODOVALHO, Renato Souza. **Determinação e modelagem matemática das isotermas de sorção do arroz-vermelho (*Oryza sativa* L.)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2008, p. 82. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp138767.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2020.

RODRIGUES, Sueli; SILVA, Ebenezer de Oliveira; BRITO, Edy Sousa de. **Exotic Fruits: reference guide**. Academic Press. ed. 1, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128031384/exotic-fruits#book-description>. Acesso em: 25 set. 2020.

SABAREZ, Henry. Advanced Drying Technologies of Relevance in the Food Industry. **Reference Module in Food Sciences**. Austrália. v. 3, p. 64-81, 2021.

SAÉNZ, Carmen; TAPIA, Sandra; CHÁVEZ, Jorge; Robert, Paz. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**. v. 114, p. 616–622, 2009.

SAIFULLAH, Md; YUSOF, Yus Aniza; CHIN, Nyuk Ling; AZIZ, Mohammed Gulzarul; MOHAMMED, Mohd. Afandi P.; AZIZ, Norashikin Ab. Tableting and dissolution characteristics of mixed fruit powder. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**. v. 2, p. 18-25, 2014.

SAIKIA, Sangeeta; MAHNOT, Nikhil Kumar; MAHANTA, Charu Lata. Effect of spray drying of four fruit juices on physicochemical, phytochemical and antioxidante properties. **Journal of Food Processing and Preservation**, India, 2014.

SANTANA, M. F.S.; CARVALHO, J. E. de; NASCIMENTO, W. M. O. do. **Determinação química da polpa em genótipos de bacuri (*Platonia insignis* Mart.)**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

SANTOS, Dayanne Bentes dos; AGUIAR, Rodrigo Oliveira; CRUZ, Wilton Pires da; BERNARDINO, Priscilla Diniz Lima da Silva; MARTINS, Luiza Helena da Silva; CARVALHO, Fabio Israel Martins. Desenvolvimento e caracterização de doces de leite bubalino pastosos saborizados com doces de bacuri e cupuaçu. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 56917-56935, 2020.

SANTOS, Patricia Régia Pereira dos; CARVALHO, Rusbene Bruno Fonseca de; JÚNIOR, Joaquim Soares da Costa; FREITAS, Rivelilson Mendes de; FEITOSA, Chistiane Mendes. Survey of physicochemical and pharmacological properties of extracts and compounds isolated from *Platonia insignis* Mart. a perspective for developing phytomedicines. **Revista Brasileira de Farmácia**. Rio de Janeiro, n. 94, v. 2, p 161-168, 2013. Disponível em: <https://rbfarma.org.br/files/rbf-94-2-12-2013.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018**. Brasília, 2018.

SHANLEY, Patricia; MEDINA, Gabriel; FERREIRA, Socorro. Bacuri (*Platonia insignis* Mart.). **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Bogor: CIFOR, 2 ed, p.55-64, 2010.

SHOFIAN, Norshahida Mohamad; HAMID, Azizah Abdul; OSMAN, Azizah; SAARI, Nazamid; ANWAR, Farooq; DEK, Mohd Sabri Pak Dek; HAIRUDDIN, Muhammad Redzuan. Effect of freeze-frying on the antioxidante compounds and antioxidante activity of selected tropical frutis. **International Jounal of Molecular Sciences**. v. 12, n. 7, p. 4678-4692, 2011.

SILVA, Adriano Sant'Ana; ALMEIDA, Francisco de Assis Cardoso; ALVES, Niédja Marizze Cezar; MELO, Karla dos Santos; Gomes, Josivanda Palmeira. Hygroscopic and thermodynamic features of dehydrated coriander. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.2, 2010.

SILVA, Dirceu Jorge da. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa, UFV. Impresso. Universidade, 1981, p. 16-20.

SILVA, Ranilda. N. G; FIGUEIRÊDO, Rossana Maria Feitosa de; QUEIROZ, José de Melo; FEITOSA, Regilane Marques. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-caja em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**. v.30, n.1, p.33-36, 2015.

SORMOLI, Mona Edrisi; LANGRISH, Timothy Alan Granville. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. **LWT – Food Science and Technology**. v. 62, n. 1, part. 2, p. 875-882, 2015.

SOUSA, Karla dos Santos Melo de; FIGUEIREDO, Rosana Maria Feitosa de; QUEIROZ, Alexandre José de Melo; FERNANDES, Tâmila Kassimura da Silva. Produção e caracterização da polpa de atemóia em pó. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 718-728, 2015.

SOUSA, Mariana Séfora Bezerra; VIEIRA, Luanne Morais; LIMA, Alessandro de. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 202-210, 2011.

SOUSA, Mariana Séfora Bezerra; VIEIRA, Luanne Morais; SILVA, Manoel de Jesus Marques da; LIMA, Alessandro de. Caracterização nutricional e compostos

antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 554-559, 2011.

SOUSA, Sanyelle Lima; MORAIS, Brenda A. de; RIBEIRO, Luciana Carneiro; COSTA, José Maria Correia da. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 7, p. 678-682, 2016.

SPIESS, Walter E. L.; WOLF, Walter. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, Louis.B.; BEUCHAT, Larry. R. (ed.) **Water activity: theory and applications to food**, New York: Marcel Dekker, p. 215-233, 1987.

STĘPIEŃ, Anna; WITCZAK, Mariusz; WITCZAK, Teresa. Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrina and inulin. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 149, p. 256-261, 2020.

STROHECKER, Rolf; HENNING, Heiz. M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, v. 5, 1967.

SWAIN, T.; HILLS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.-quantitative analysis of phenolics constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 19, p. 63-68, 1959.

TEIXEIRA, Nayane; MELO, Jean Carlos Silva de; BATISTA, Luiz; SOUZA-PAULA, Juliana; FRONZA, Pâmella; BRANDÃO, Maria Graças Lins. Edible fruits from Brazilian biodiversity: A review on their sensorial characteristics versus bioactivity as tool to select research. **Food Research International**. v. 119, p. 325-348, 2019.

THUWAPANICHAYANAN, Ratiya; PRACHAYAWARAKORN, Somkiat; SOPONRONNARIT, Somchart. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **LWT – Food Science and Technology**. v. 47, p. 348-357, 2012.

TONON, Renata Valeriano; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam Dupas. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**. v. 43, p. 907-914, 2010.

TONON, Renata Valeriano; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam Dupas. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açai em pó. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n.2, p. 444-450, 2009.

UEKANE, Thais Matsue; NICOLOTTI, Luca; GRIGLIONE, Alessandra; BIZZO, Humberto; RUBIOLO, Patrizia; BICCHI, Carlo; ROCHA-LEÃO, Maria Helena Miguez da; REZENDE, Claudia. Studies on the volatile fraction composition of three native Amazonian- Brazilian fruits: Murici (*Byrsonima crassifolia* L., Malpighiaceae),

bacuri (*Platonia insignis* M., Clusiaceae), and sapodilla (*Manilkara sapota* L., Sapotaceae). **Food Chemistry**. v. 219, p. 13-22, 2017.

VASCONCELOS, Eilika Andréia Feitosa; MEDEIROS, Maria das Graças Freire de; RAFIN, Fernanda Nervo; MOURA, Túlio Flávio Accioly de Lima. Influência da temperatura de secagem e da concentração de aerosil@200 nas características dos extratos secos por aspersão da *Schinus terebinthifolios* Raddi (Anacardiaceae). **Brasilian Journal of Pharmacognosy**. v.15, n. 3, p. 243-249, 2005.

VIANA, Bruna da Costa; GOMES, Fábio Augusto; VALE, Marcus Augusto Damaceno do; MELCHIOR, Leonardo Augusto Kohara; ZOLINI, Guilherme Pimenta de Pádua; ROSA, Bruna Laurindo. Bromatological and microbiological quality of lymphilized chicken breast meat in different storage environments. **South American Journal of Basic Education Technical and Technological**. v. 7, n.1, p. 558-569, 2020.

XU, Suxuan; PEGG, Romald; KERR, William. Physical and chemical properties of vacuum belt dried tomato powders. **Food Bioprocess Technology**. v. 1, n.9, p. 91-100, 2016.

ZEA, Lai Pei; YUSOF, Yus Aniza; AZIZ, Mohammad Gulzarul; LING, Chin Nyuk; AMIN, Nor Amaiza Mohd. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. **Powder Tecnology**. v. 247, p. 112-119, 2013.

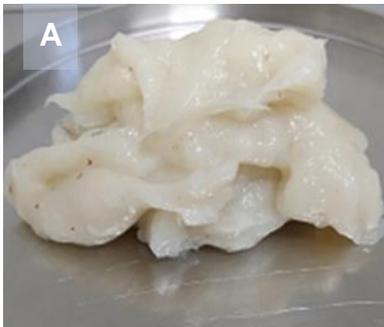
ZHANG, Chuang; KHOO, Siew Lin Ada; SWEDLUND, Peter; OGAWA, Yukiharu; SHAN, Yang; QUEK, Siew Young. Fabrication of spray-dried microcapsules containing noni juice using blends of maltodextrin and gum acacia: physicochemical properties of powders and bioaccessibility of bioactives during in vitro digestion. **Foods**. v. 9, n. 9, 2020.

**APÊNDICE A – POLPA DE BACURI INTEGRAL SEM ADIÇÃO DOS
ADJUVANTES DE SECAGEM**



Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE B – POLPA DE BACURI INTEGRAL E EM PÓ COM 20% (M/M)
DOS ADJUVANTES MALTODEXTRINA (A, B, C), GOMA ARÁBICA (D, E, F)
E ALBUMINA (G, H, I)**



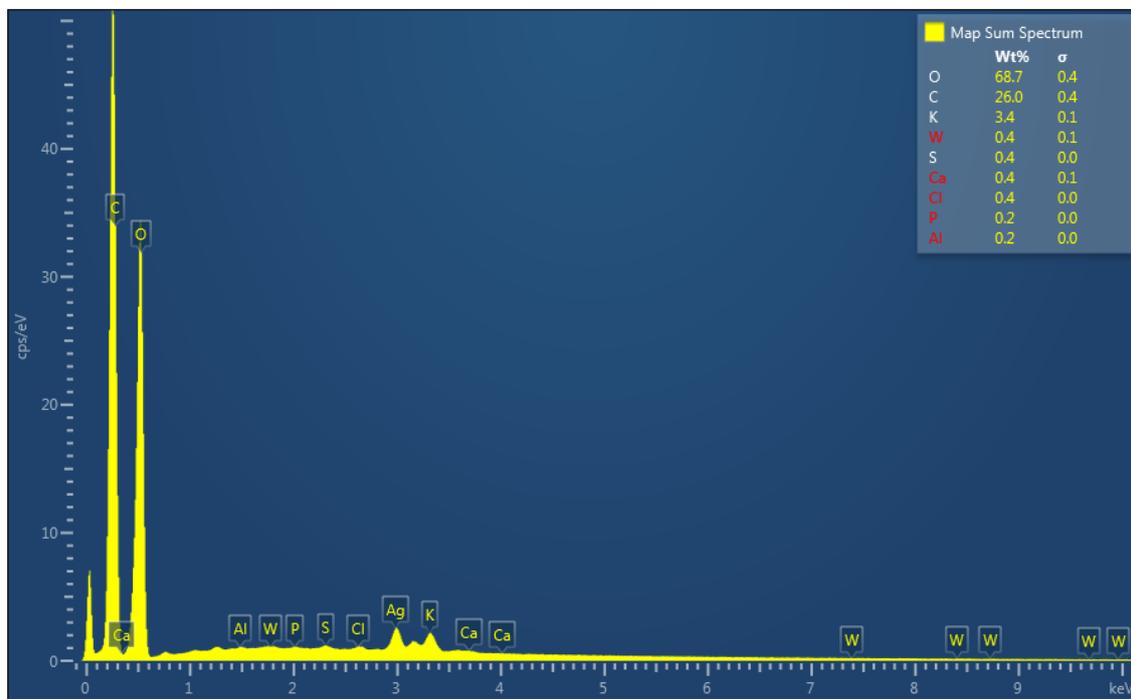
Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE C – ADJUVANTE ALBUMINA



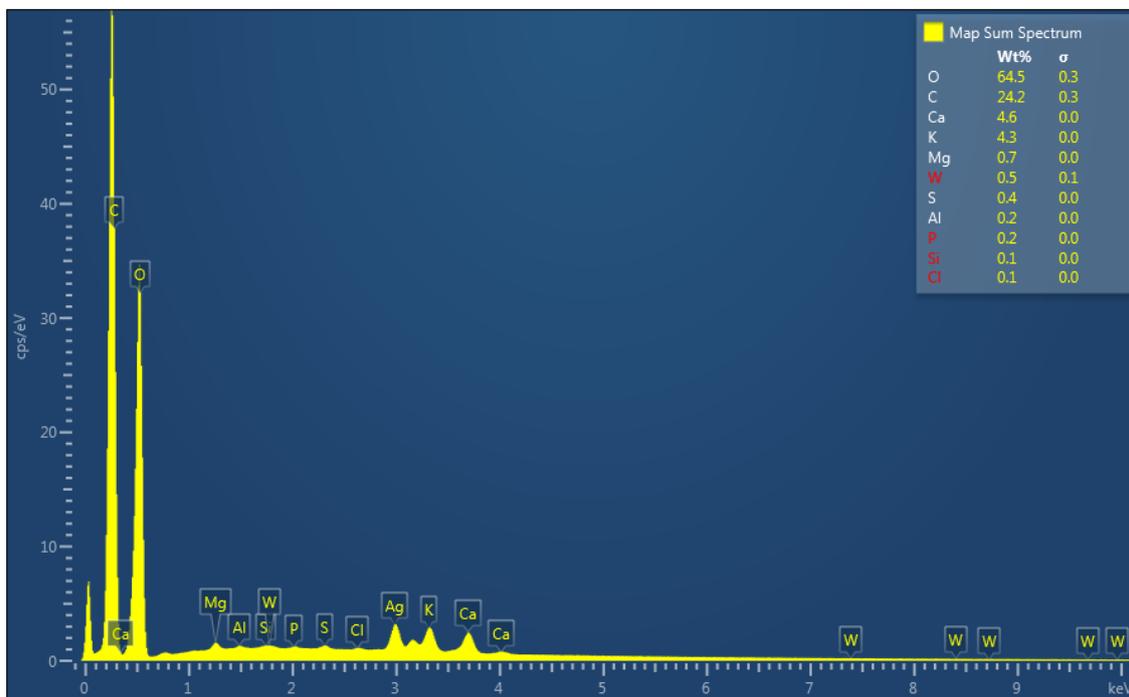
Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE D – ANÁLISE EDS DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA
CONTENDO 20% (M/M) DE MALTODEXTRINA**



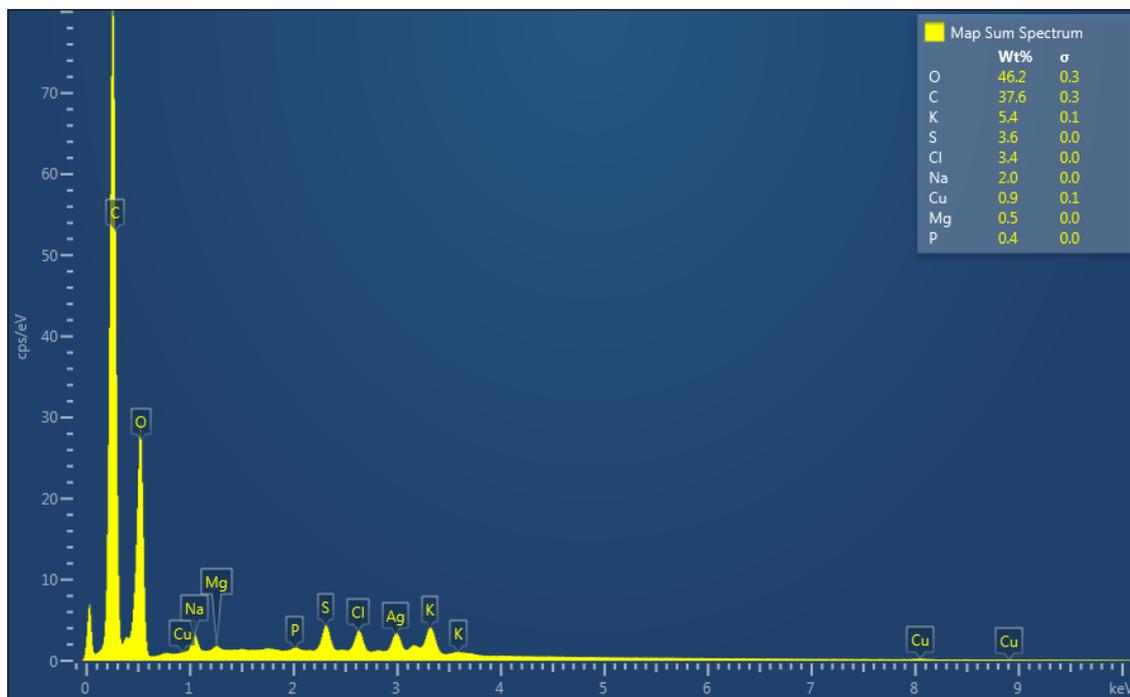
Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE E – ANÁLISE EDS DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA
CONTENDO 20% (M/M) DE GOMA ARÁBICA**



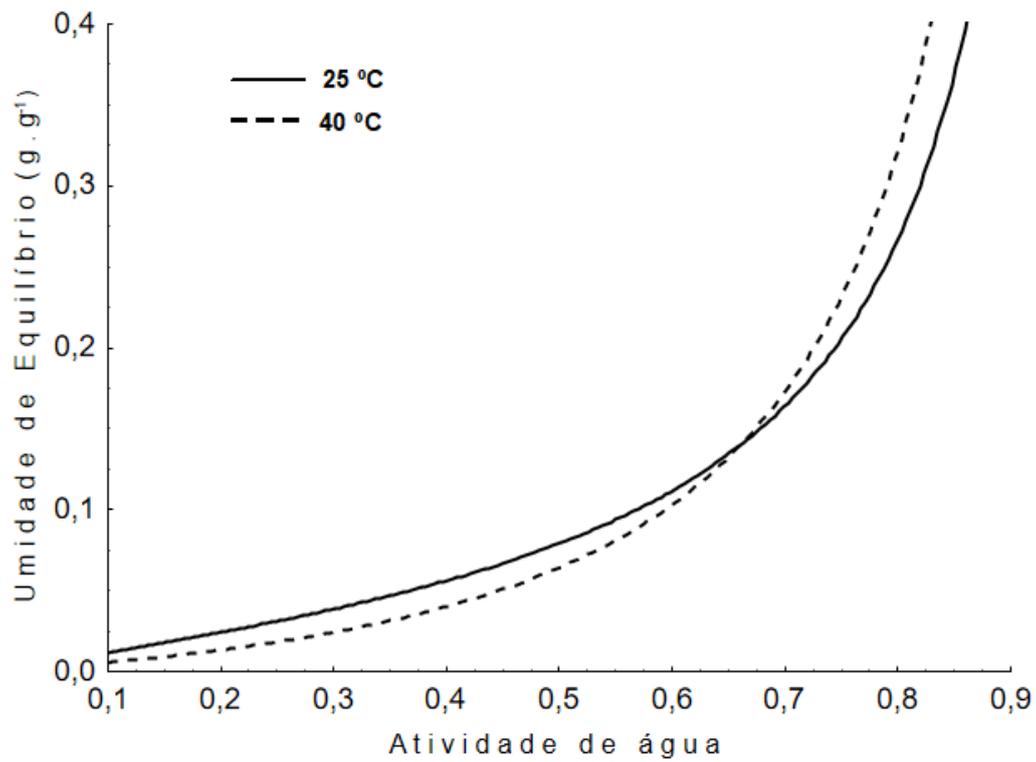
Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE F – ANÁLISE EDS DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA
CONTENDO 20% (M/M) DE ALBUMINA**



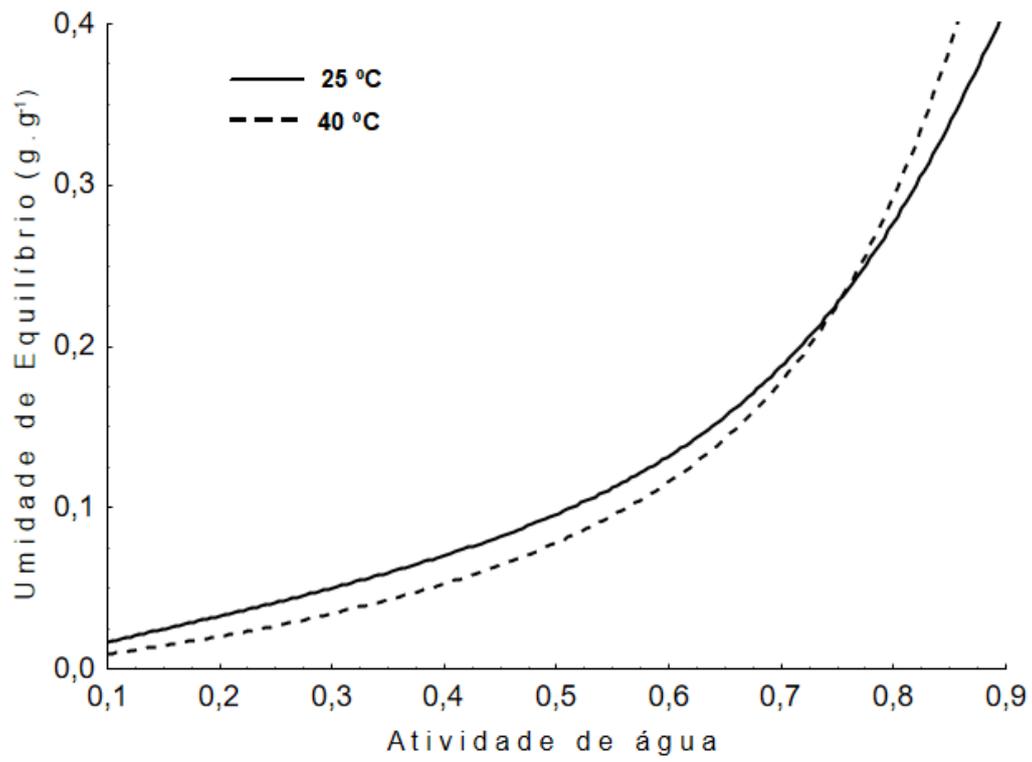
Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE G – ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO PÓ DA POLPA DE BACURI LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE MALTODEXTRINA A 25 E 40 °C



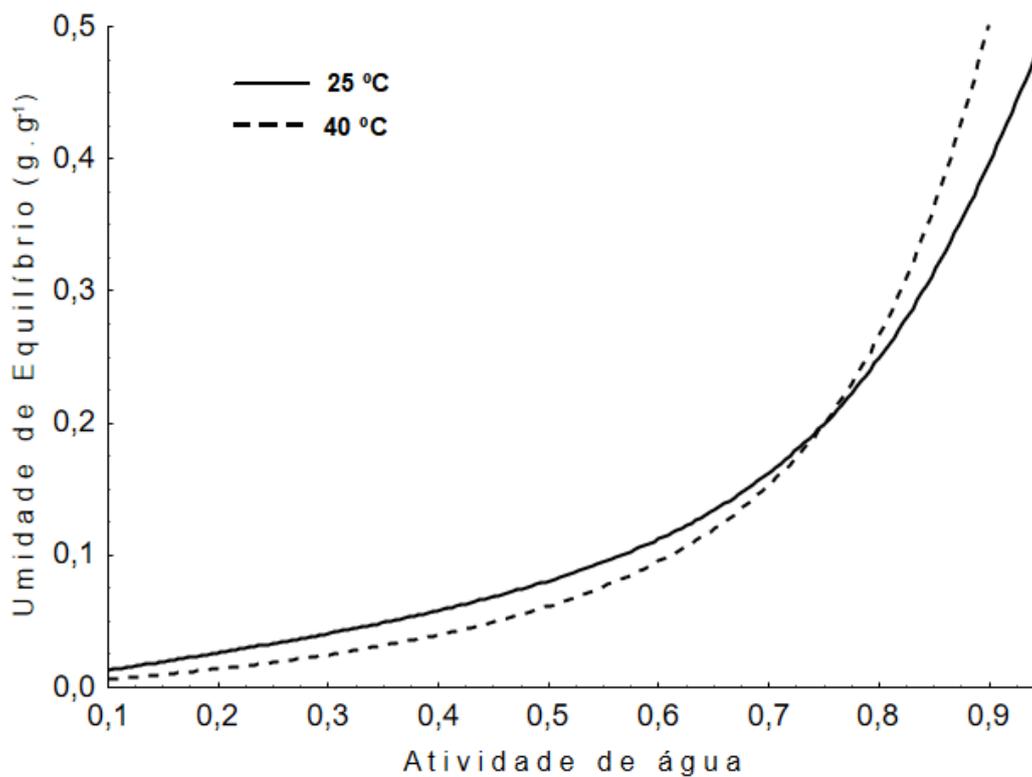
Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE H – ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO PÓ DA POLPA DE BACURI
LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE GOMA ARÁBICA A 25 E 40 °C**



Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE I – ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO PÓ DA POLPA DE BACURI
LIOFILIZADA CONTENDO 20% (M/M) DE ALBUMINA A 25 E 40 °C**



Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE J – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA UMIDADE DOS PÓS DA POLPA DE BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p</i> – valor*
Maltodextrina	8,349	0,362	0,000160
Goma Arábica	7,649	0,362	0,000261
Albumina	8,012	0,312	0,000202
Maltodextrina X Goma Arábica	1,955	1,875	0,098244

*valores significativos para $p < 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	1,366	3	0,455	2,558	3,289	0,561
Erro	1,068	6	0,178			
Total	2,434	9	0,270			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal}: F_{calculado}; ⁵F_{tab}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE K – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA HIGROSCOPICIDADE DOS PÓS DA POLPA DE BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p – valor*</i>
Maltodextrina	26,197	0,266	0,000000
Goma Arábica	25,085	0,266	0,000000
Albumina	22,720	0,266	0,000000
Maltodextrina x Goma Arábica x Albumina	-6,030	8,747	0,000940

*valores significativos para $p < 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	4,963	3	1,654	14,011	3,289	0,875
Erro	0,708	6	0,118			
Total	5,672	9	0,630			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal.}: F_{calculado}; ⁵F_{tab.}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

$$H = 0,0604*x + 0,068*y + 0,0697*z - 52,7E-6*x*y*z$$

Onde:

H: higroscopicidade (%);

x: maltodextrina (%);

y: goma Arábica (%);

z: albumina (%);

**APÊNDICE L – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA LUMINOSIDADE DOS PÓS DA POLPA DE BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p – valor*</i>
Maltodextrina	88,957	0,887	0,000000
Goma Arábica	65,978	1,027	0,000000
Albumina	72,201	1,027	0,000000
Goma Arábica X Albumina	2,361	5,328	0,056234

*valores significativos para $p \leq 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	81,332	3	27,111	18,869	3,289	0,904
Erro	8,620	6	1,437			
Total	89,953	9	9,995			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal.}: F_{calculado}; ⁵F_{tab.}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

$$L = 0,789*x + 0,678*y + 0,741*z + 12,6E-6*x*y*z$$

Onde:

L: luminosidade (%);

x: maltodextrina (%);

y: goma Arábica (%);

**APÊNDICE M – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA CROMATICIDADE VERMELHO E VERDE (A) DOS PÓS DA
POLPA DE BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p – valor*</i>
Maltodextrina	-6,842	0,204	0,000244
Goma Arábica	2,193	0,204	0,064432
Albumina	-4,911	0,204	0,001732

*valores significativos para $p < 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	2,817	2	1,408	18,483	3,257	0,841
Erro	0,533	7	0,076			
Total	3,345	9	0,372			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal}: F_{calculado}; ⁵F_{tab}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

$$A = -0,0139 + 0,0045*y - 0,01*z$$

Onde:

A: cromaticidade verde e vermelho (%);

x: maltodextrina (%);

y: goma Arábica (%);

z: albumina (%).

**APÊNDICE N – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA CROMATICIDADE AMARELO E AZUL (B) DOS PÓS DA
POLPA DE BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p – valor*</i>
Maltodextrina	17,160	0,474	0,000012
Goma Arábica	22,774	0,434	0,000003
Albumina	41,789	0,474	0,000000
Maltodextrina + albumina	-2,439	2,611	0,058717
Maltodextrina + goma Arábica + albumina	2,573	14,954	0,049850

*valores significativos para $p < 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	116,659	4	29,165	96,249	3,520	0,987
Erro	1,515	5	0,303			
Total	118,174	9	13,130			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal.}: F_{calculado}; ⁵F_{tab.}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

$$B = 0,0814*x + 0,0989*y + 0,198*z - 6,37E-4*x*z + 38,5E-6*x*y*z$$

Onde:

B: cromaticidade amarelo e azul (%);

x: maltodextrina (%);

y: goma Arábica (%);

z: albumina (%);

**APÊNDICE O – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA ÍNDICE DE CARR (IC) DOS PÓS DA POLPA DE BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p – valor*</i>
Maltodextrina	11,383	2,201	0,000340
Goma Arábica	10,898	2,201	0,000403
Albumina	10,376	2,201	0,000487
Maltodextrina X goma Arábica	2,234	10,145	0,089233
Maltodextrina X albumina	2,315	10,145	0,081584
Goma Arábica X Albumina	-3,124	10,145	0,035387

*valores significativos para $p < 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	165,893	5	33,179	6,369	4,051	0,888
Erro	20,836	4	5,209			
Total	186,729	9	20,748			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal.}: F_{calculado}; ⁵F_{tab.}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

$$IC = 0,251*x + 0,240*y + 0,228*z + 22,7E-4*x*y + 23,5E-4*x*z - 31,7E-4*y*z$$

Onde:

IC: índice de Carr (%);

x: maltodextrina (%);

y: goma Arábica (%);

z: albumina (%);

**APÊNDICE P – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA RELAÇÃO DE HAUSNER (RH) DOS PÓS DA POLPA DE
BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p – valor*</i>
Maltodextrina	34,305	0,0389	0,000004
Goma Arábica	33,814	0,0389	0,000005
Albumina	33,509	0,0389	0,000005
Maltodextrina X goma Arábica	2,247	0,179	0,087914
Maltodextrina X albumina	2,339	0,179	0,079498
Goma Arábica X albumina	-2,901	0,179	0,044070

*valores significativos para $p < 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	0,047	5	0,009	5,846	4,051	0,880
Erro	0,006	4	0,002			
Total	0,054	9	0,006			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal}: F_{calculado}; ⁵F_{tab}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

$$RH = 0,0133*x + 0,0131*y + 0,0130*z + 4,02E-5*x*y + 4,18E-5*x*z - 5,19E-5*y*z$$

Onde:

RH: relação de Hausner (%);

x: maltodextrina (%);

y: goma Arábica (%);

z: albumina (%);

**APÊNDICE Q – EFEITOS ESTIMADOS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA
(ANOVA) PARA OS COMPOSTOS FENÓLICOS DOS PÓS DA POLPA DE
BACURI**

Fatores	Efeitos estimados	Erro	<i>p – valor*</i>
Maltodextrina	6,982	55,337	0,000430
Goma Arábica	5,816	64,090	0,001135
Albumina	2,453	64,090	0,049563
Goma Arábica X albumina	1,987	332,332	0,094154

*valores significativos para $p < 0,10$. Fonte: Autora (2022).

Fontes de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F _{cal.} ⁴	F _{tab. (90%)} ⁵	R ²
Regressão	59202,60	3	19734,20	3,530	3,289	0,638
Erro	33542,51	6	5590,42			
Total	92745,11	9	10305,01			

¹SQ: soma dos quadrados; ²GL: grau de liberdade; ³QM: quadrados médios. ⁴F_{cal.}: F_{calculado}; ⁵F_{tab.}: F_{Tabelado}. Significativo a 90% de confiança ($p < 0,10$). Fonte: Autora (2022).

$$CF = 3,863*x + 3,73*y + 1,57*z + 6,6E-4*y*z$$

Onde:

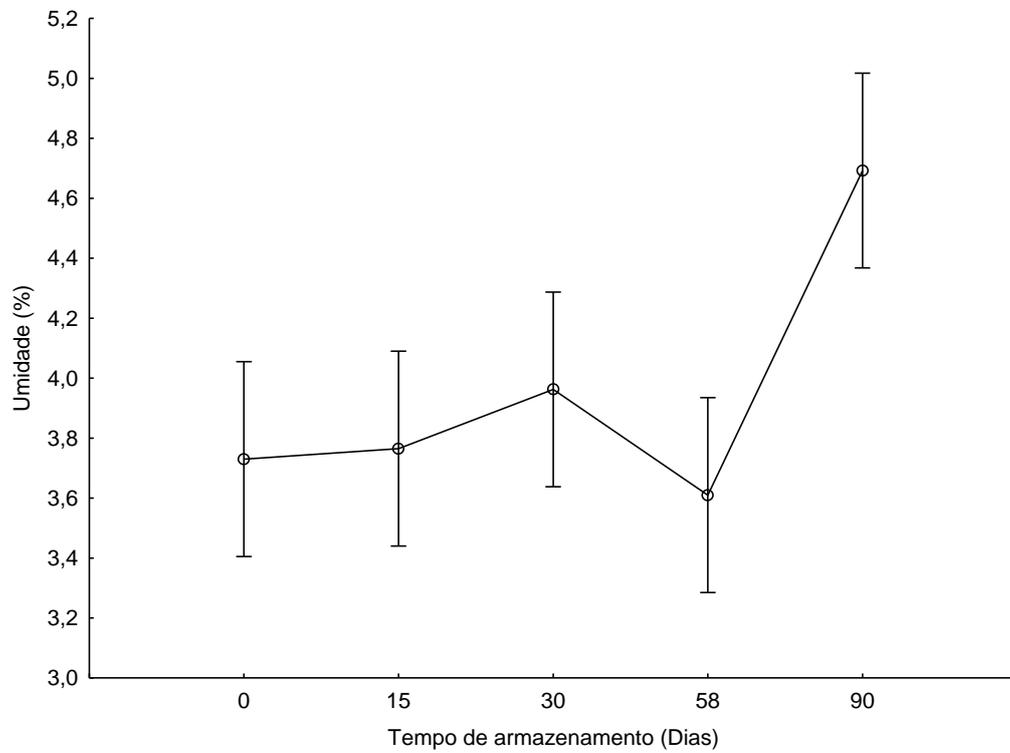
CF: compostos fenólicos (%);

x: maltodextrina (%);

y: goma Arábica (%);

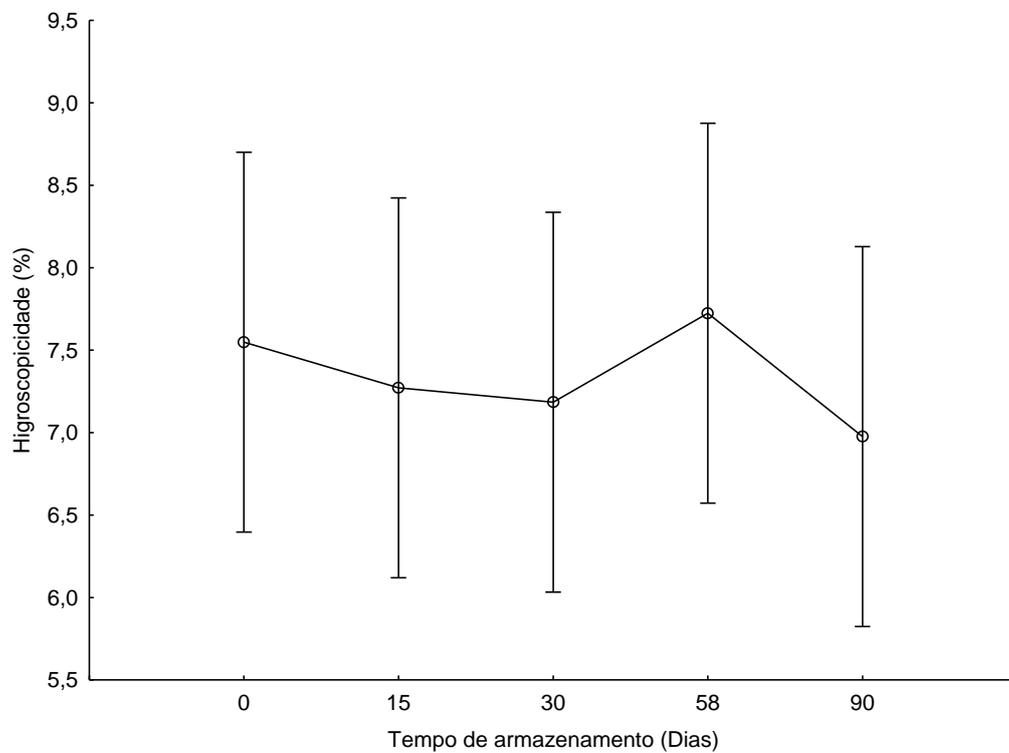
z: albumina (%);

**APÊNDICE R – COMPORTAMENTO DO TEOR DE UMIDADE DO PÓ DA
POLPA DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E ALBUMINA
(20% M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO**



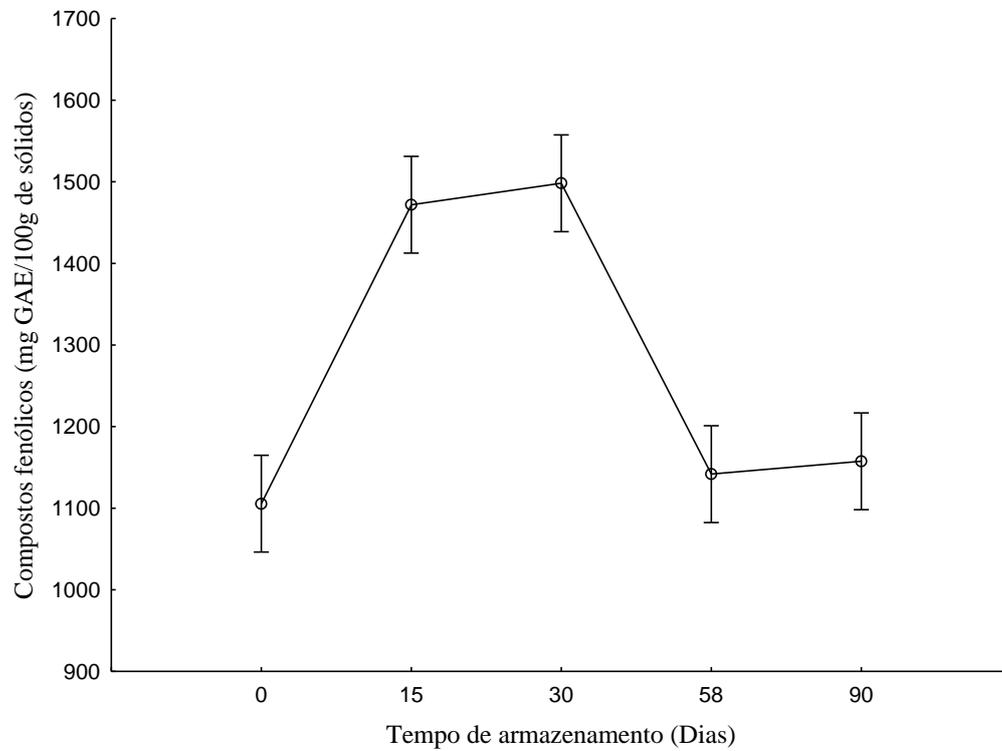
Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE S – COMPORTAMENTO DO TEOR DE HIGROSCOPICIDADE DO PÓ DA POLPA DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E ALBUMINA (20% M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO



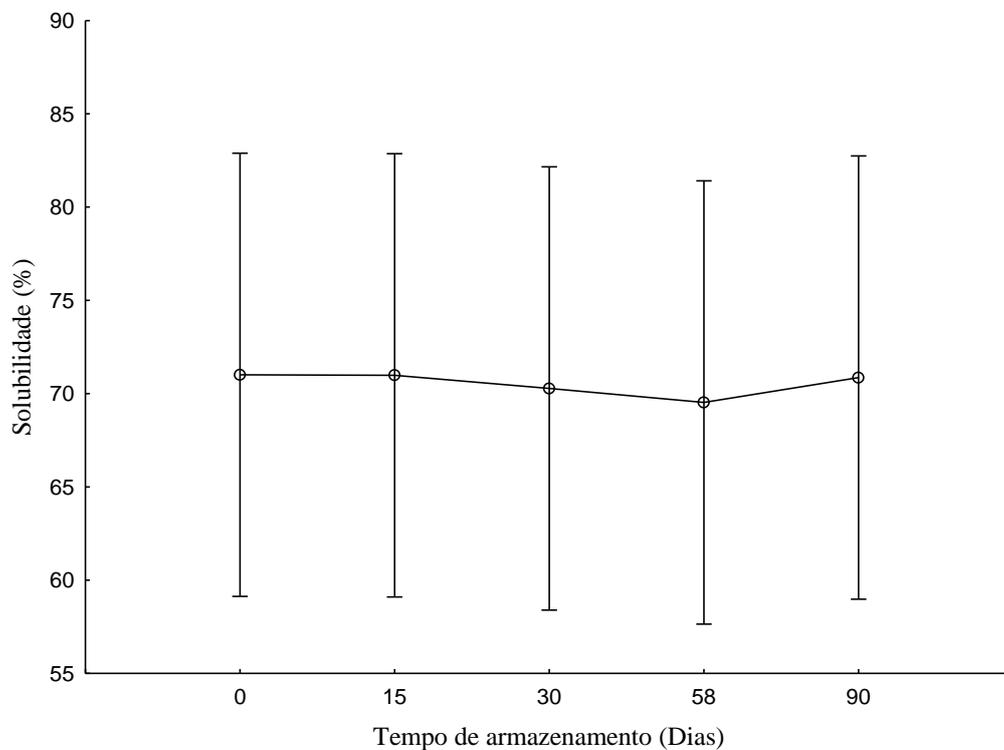
Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE T – COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS DO PÓ
DA POLPA DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E
ALBUMINA (20% M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO**



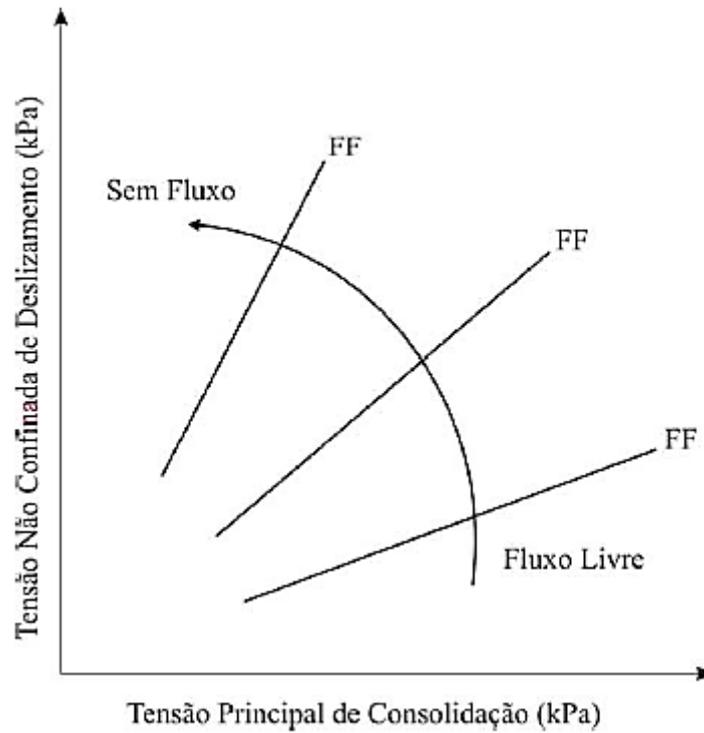
Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE U – COMPORTAMENTO DA SOLUBILIDADE DO PÓ DA POLPA
DE BACURI COM A MISTURA DE GOMA ARÁBICA E ALBUMINA (20%
M/M) DURANTE 90 DIAS DE ARMAZENAMENTO**



Fonte: Autora (2022).

**ANEXO A – NÍVEL DO FLUXO DE UM PRODUTO: “FLUXO LIVRE”
VERSUS “SEM FLUXO”**



Fonte: Lopes Neto *et al.* (2007).