



Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Recursos Naturais da Amazônia

SECAGEM DE AÇAÍ BRANCO POR LIOFILIZAÇÃO E EM  
LEITO DE JORRO: INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO E DE DIFERENTES AGENTES  
CARREADORES NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOATIVAS E  
COLORIMÉTRICAS DO PÓ OBTIDO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia dos Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Co-orientadora: Profa. Dra. Cristiane Maria Leal Costa

Belém-PA  
Abril de 2024

Hellen Carvalho Barros

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DOS RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DOS RECURSOS NATURAIS.

Examinada por:



---

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria  
(PRODERNA/ITEC/UFPA - Orientador)



Prof. Dra. Cristiane Maria Leal Costa  
(FEQ/ITEC/UFPA - Coorientadora)



---

Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Júnior  
(PRODERNA/ITEC/UFPA - Membro Interno)



---

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena  
(FEA/ITEC/UFPA - Membro Externo)



018/19/2024 09:28:07-0300  
CREA 3519018296  
SIAPE 7315062

---

Profa. Dra. Erika Milene Pinto de Sousa  
(UFRA/Capanema-PA - Membro Externo)

Documento assinado digitalmente



GABRIELA SILVEIRA DA ROSA

Data: 19/12/2024 09:28:07-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

Profa. Dra. Gabriela da Silveira Rosa  
(UNIPAMPA-RS - Membro Externo)

Belém-PA  
Abril de 2024

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

---

Barros, Hellen Carvalho.

Secagem de Açaí Branco Por Liofilização e em leite de Jorro :  
Influência da concentração de diferentes carreadores nas  
características, Físicas, Bioativas e Calorimétricas do Pó Obtido /  
Hellen Carvalho Barros. — 2024.

118 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Coorientação: Profª. Dra. Cristiane Maria Leal Costa

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de  
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Recursos Naturais na Amazônia, Belém, 2024.

1. Açaí branco em pó. 2. ANOVA. 3. Atividade  
antioxidante. 4. Agentes Carreadores. 5. FARIA, Lênio José  
Guerreiro de. I. Título.

CDD 660.09811

---

*Dedico ao meu pai Eurico do Pilar Barros (in  
memorian) por seu apoio incondicional.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e oportunidade de ter concluído mais um passo da minha Jornada;

Ao programa de Engenharia de Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA), pelo apoio institucional;

Ao meu Orientador Lênio José Guerreiro de Faria, por sua orientação desde o mestrado, até esta etapa. Sempre será um grande privilégio estar sob a orientação de um profissional desta magnitude;

A minha Coorientadora Cristiane Maria Leal Costa, pelas doces palavras de apoio e incentivo;

Aos meus pais, Eurico do Pilar Barros (*in memorian*) e Diana de Jesus Carvalho Barros, por serem minha base de apoio em todas as etapas de minha vida;

Aos meus tios Cacilda Gomes Soares e José Maria Soares (*in memorian*), por me criarem como filha e sempre me mostrarem o amor verdadeiro;

As minhas irmãs Jocilda e Jecilda Soares, por sempre me mostrarem o caminho do estudo e da responsabilidade;

Aos colegas do grupo de Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia GEPRON, Elza Brandrão, Rafael Nascimento e Elisângela Andrade, Tatiane Damasceno, Daniela Santana, pelas palavras de incentivo, durante todo processo;

Ao meu grande amigo Dilson Cardoso, por toda ajuda e incentivo e por acreditar sempre;

A minha amiga Renata Pinto, por sua lealdade e seu apoio incondicional durante essa trajetória;

A minha Esposa Renata Ribeiro, por todo incentivo, carinho, respeito e apoio ao final dessa longa jornada;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes” (Marthin Luther King).*

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFGA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia dos Recursos Naturais (D. Eng.)

**SECAGEM DE AÇAÍ BRANCO POR LIOFILIZAÇÃO E EM LEITO DE JORRO:  
INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO E DE DIFERENTES AGENTES  
CARREADORES NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOATIVAS E  
COLORIMÉTRICAS DO PÓ OBTIDO**

**Hellen Carvalho Barros**

Abril/2024

Orientador: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Área de Concentração: Engenharia de Processos

O objetivo deste estudo foi analisar como o uso de quatro diferentes agentes carreadores (amido modificado, goma arábica, maltodextrina e colágeno hidrolisado) e diferentes concentrações (10, 20 e 30%) influenciam no pó de açaí branco produzido por liofilização e em leite de jorro. Rendimento, umidade, polifenóis totais, atividade antioxidante, higroscopicidade, solubilidade, fluidez, cor, estrutura química e morfologia foram as respostas avaliadas. Na liofilização, o rendimento do processo ( $\geq 75,40\%$ ) e a umidade do açaí branco em pó ( $\leq 4,93 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), não diferiram estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ), independentemente do agente carreador utilizado. Na secagem em leite de jorro, a adição de amido modificado ou do colágeno hidrolisado promoveu maior rendimento do processo ( $\geq 42,70\%$ ). Entretanto, o açaí branco produzido com colágeno hidrolisado foi o único que apresentou teor de umidade  $\geq 6,00 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ . Em ambos os processos de secagem, os pós produzidos com amido modificado foram menos solúveis ( $\leq 48,96\%$ ), apesar de baixa higroscopicidade ( $\leq 13,73 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ). As amostras produzidas com maltodextrina ou goma arábica apresentaram maiores teores de polifenóis totais ( $\geq 8,52 \text{ mg EAG g}^{-1}$ ) e atividade antioxidante ( $\geq 42,75 \text{ } \mu\text{mol ET g}^{-1}$ ). Além disso, as amostras foram mais solúveis ( $\geq 94,36\%$ ), fluidas (11 a 15% segundo o índice de carr), e melhor preservaram a coloração original da polpa em detrimento as demais formulações. A estrutura química dos pós de açaí branco obtido com os diferentes agentes carreadores foi similar ao da polpa, indicando uma encapsulação eficiente de compostos bioativos e boa preservação de grupos funcionais presentes na matéria prima original, mesmo após os processos de secagem.

**Palavras-chave:** Açaí branco em pó; ANOVA; atividade antioxidante; agentes carreadores.

Abstract of the Thesis presented to PRODERNA/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Natural Resource Engineering (D. Ing.)

**DRYING WHITE AÇAÍ BY FREEZE DRYING AND IN A SPRAY BED: INFLUENCE OF CONCENTRATION AND DIFFERENT CARRIER AGENTS ON THE PHYSICAL, CHEMICAL, BIOACTIVE AND COLORIMETRIC CHARACTERISTICS OF THE POWDER OBTAINED**

**Hellen Carvalho Barros**

Abril/2024

Advisors: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Research Area: Process Engineering

The objective of this study was to analyze how the use of four different carrier agents (modified starch, gum arabic, maltodextrin and hydrolyzed collagen) and different concentrations (10, 20 and 30%) influence the white açaí powder produced by lyophilization and in a bed of gush. Yield, moisture, total polyphenols, antioxidant activity, hygroscopicity, solubility, fluidity, color, chemical structure, and morphology were the responses evaluated. In freeze-drying, the yield of the process ( $\geq 75.40\%$ ) and the moisture content of white açaí powder ( $\leq 4.93 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) did not differ statistically ( $p \leq 0.05$ ), regardless of the agent carrier used. In spouted bed drying, the addition of modified starch or hydrolyzed collagen promoted higher process yield ( $\geq 42.70\%$ ). However, the white açaí produced with hydrolyzed collagen was the only one that had a moisture content  $\geq 6.00 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ . In both drying processes, powders produced with modified starch were less soluble ( $\leq 48.96\%$ ), despite low hygroscopicity ( $\leq 13.73 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ). Samples produced with maltodextrin or gum arabic showed higher levels of total polyphenols ( $\geq 8.52 \text{ mg EAG g}^{-1}$ ) and antioxidant activity ( $\geq 42.75 \text{ } \mu\text{mol ET g}^{-1}$ ). In addition, they were more soluble ( $\geq 94.36\%$ ), fluid (11 to 15% according to the carr index), and better preserved the original color of the pulp to the detriment of other formulations. The chemical structure of white açaí powders obtained with different carrier agents was like that of the pulp, indicating efficient encapsulation of bioactive compounds and good preservation of functional groups present in the original raw material, even after drying processes.

**Keywords:** White acai powder; ANOVA; antioxidant activity; carrier agents.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Frutos do Açaí .....	19
Figura 2.2 – Etnovarietades do açaí: açaí-branco(a), açaí-espada(b) e açaí-roxo(c).....	20
Figura 2.3 – Etnovarietades do açaí: açaí-sangue-de-boi(a), açaí-açu(b) e açaí-chumbinho(c).....	21
Figura 2.4 – Polpa de açaí branco.....	22
Figura 2.5 – Diagrama de fases da água e ponto triplo.....	27
Figura 2.6 – Leito de jorro com suas regiões características.....	31
Figura 2.7 – Diagrama geral dos regimes de escoamento.....	31
Figura 2.8 – Curvas típicas de queda de pressão em função da velocidade do fluido.....	32
Figura 2.9 – Mecanismo da secagem em leito de jorro com inertes.....	34
Figura 2.10 – Mecanismo de recobrimento, secagem e formação de pó em leito de jorro.....	35
Figura 2.11 – Estrutura da Goma Arábica.....	37
Figura 2.12 – Estrutura da Maltodextrina.....	38
Figura 2.13 – Estrutura primária, secundária e terciária do colágeno.....	41
Figura 3.1 – Fluxograma de produção do açaí branco.....	48
Figura 3.2 – Liofilizador de bancada LS6000.....	50
Figura 3.3 – Esquema experimental do leito de jorro convencional.....	50
Figura 4.1 – Comportamento fluidodinâmico das partículas inertes de PEAD.....	62
Figura 4.2 – Correlação entre FT e ATT do AB em pó liofilizado obtido em função dos agentes carreadores e da concentração.....	70
Figura 4.3 – Correlação entre FT e ATT do pó de AB produzido em leito de jorro e obtido em função dos agentes carreadores e da concentração.....	71
Figura 4.4 – Independência dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) FT, d) AAT, e) higroscopicidade, f) solubilidade e g) fluidez do AB em pó liofilizado.....	78
Figura 4.5 – Independência dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) FT, d) AAT, e) higroscopicidade, f) solubilidade e g) fluidez do AB em pó obtido em leito de jorro.....	79
Figura 4.6 – Resíduos <i>versus</i> Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para a) rendimento, b) umidade, c) FT, d) AAT, e) higroscopicidade, f) solubilidade e g) fluidez dos pós de AB liofilizados.....	80
Figura 4.7 – Resíduos <i>versus</i> Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para a) rendimento, b) umidade, c) FT, d) AAT, e) higroscopicidade, f) solubilidade e g) fluidez dos pós de AB obtidos em leito de jorro.....	82

Figura 4.8 – Gráfico de Probabilidade Normal dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) FT, d) AAT, e) higroscopicidade, f) solubilidade e g) fluidez do AB em pó liofilizado.....84

Figura 4.9 – Gráfico de Probabilidade Normal dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) FT, d) AAT, e) higroscopicidade, f) solubilidade e g) fluidez do AB em pó obtido em leito de jorro.....86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação do Açaí Branco com o Roxo.....	23
Tabela 2.2 – Polpas de frutas submetidas a secagem por liofilização.....	30
Tabela 2.3 – Polpas de frutas submetidas a secagem em leite de jorro.....	34
Tabela 2.4 – Principais agentes carreadores utilizados em alimentos.....	36
Tabela 2.5 – Relação entre DE, MM e Tg da Maltodextrina.....	39
Tabela 2.6 – Propriedades avaliadas em produtos alimentares em pó.....	43
Tabela 2.7 – ANOVA para o DBC.....	46
Tabela 3.1 – Formulação das pastas de AB com agentes carreadores.....	51
Tabela 3.2 – Classificação da Fluidez, baseado no Índice de Carr.....	57
Tabela 3.3 – Matriz de Planejamento de blocos ao acaso com repetições.....	59
Tabela 4.1 – Composição físico-química da polpa de AB diluída.....	61
Tabela 4.2 – ANOVA para Rendimento de AB obtido em ambos os processos de secagem..	64
Tabela 4.3 – Teste de Tukey para valores médios de rendimento.....	64
Tabela 4.4 – ANOVA para Umidade de AB obtido em ambos os processos de secagem.....	66
Tabela 4.5 – Teste de Tukey para valores médios de umidade.....	67
Tabela 4.6 – ANOVA para FT e AAT de AB em pó obtido na Liofilização.....	69
Tabela 4.7 – ANOVA para FT e AAT de AB em pó obtido em Leite de Jorro.....	69
Tabela 4.8 – Teste de Tukey para valores médios de FT e AAT do pó de AB obtido na Liofilização.....	69
Tabela 4.9 – Teste de Tukey para valores médios de FT e AAT do pó de AB obtido em Leite de Jorro.....	70
Tabela 4.10 – ANOVA para higroscopicidade, solubilidade e fluidez de AB liofilizado.....	73
Tabela 4.11 – ANOVA para higroscopicidade, solubilidade e fluidez de AB em pó obtido em leite de jorro.....	74
Tabela 4.12 – Teste de Tukey para valores médios de higroscopicidade, solubilidade e fluidez do pó de AB obtido na liofilização.....	74
Tabela 4.13 – Teste de Tukey para valores médios de higroscopicidade, solubilidade e fluidez do pó de AB obtido em leite de jorro.....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAT	Atividade Antioxidante
AB	Açaí Branco
AB10	Açaí Branco com 10% de Agente Carreador
AB20	Açaí Branco com 20% de Agente Carreador
AB30	Açaí Branco com 30% de Agente Carreador
AM	Amido Modificado
ANOVA	Análise de Variância
CH	Colágeno Hidrolisado
DBC	Delineamento em Bloco Casualizado
DE	Dextrose Equivalente
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DPPH	2,2-Difenil-1-Picrilhidrazil
DQL	Delineamento Quadrado Latino
EAG	Equivalente em Ácido Gálico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET	Equivalente Trolox
F	Teste F de Fisher
FDA	Food and Drug Administration
FEA	Faculdade de Engenharia de Alimentos
FEQ	Faculdade de Engenharia Química
FT	Fenólicos Totais
GA	Goma Arábica
GL	Graus de Liberdade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Carr
IG	Instituto de Geociência
LABCOR	Laboratório de Corantes
LEPRON	Laboratório de Engenharia dos Produtos Naturais da Amazônia
MA	Maltodextrina
MM	Massa Molecular
MQ	Média dos Quadrados
p	Probabilidade de significância
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PP	Polipropileno

PPGF	Programa de Pós-graduação em Física
PS	Poliestireno
R%	Rendimento em Porcentagem
SQ	Soma dos Quadrados
Tg	Temperatura de Transição Vítrea
UFPA	Universidade Federal do Pará
V <sub>jm</sub>	Velocidade de Jorro Mínimo
$\Delta P_m$	Queda de Pressão Máxima
$\Delta P_s$	Queda de Pressão Estável

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.2	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>16</b>
1.1.3	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1	O AÇAÍ.....	17
2.1.1	<b>Classificação e descrição botânica.....</b>	<b>18</b>
2.1.2	<b>Etnovariedades e variedades.....</b>	<b>19</b>
2.1.3	<b>O açaí tipo branco.....</b>	<b>22</b>
2.1.4	<b>Importância econômica e regionalismo.....</b>	<b>24</b>
2.2	SECAGEM.....	26
2.2.1	<b>Aspectos conceituais.....</b>	<b>26</b>
2.2.2	<b>Secagem por liofilização.....</b>	<b>27</b>
2.2.2.1	<i>Secagem de polpas de frutas por liofilização.....</i>	<i>32</i>
2.2.3	<b>Secagem em leito de jorro.....</b>	<b>29</b>
2.2.3.1	<i>Secagem de polpas de frutas em leito de jorro.....</i>	<i>33</i>
2.3	AGENTES CARREADORES.....	34
2.3.1	<b>Goma arábica.....</b>	<b>35</b>
2.3.2	<b>Maltodextrina.....</b>	<b>37</b>
2.3.3	<b>Amido modificado.....</b>	<b>38</b>
2.3.4	<b>Colágeno hidrolisado.....</b>	<b>39</b>
2.4	CARACTERÍSTICAS DOS ALIMENTOS EM PÓ.....	41
2.5	DELINEAMENTO EM BLOCOS CASUALIZADOS.....	43
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>47</b>
3.1	MATERIAIS.....	47
3.1.1	<b>Matéria-prima.....</b>	<b>47</b>
3.1.2	<b>Agentes carreadores.....</b>	<b>48</b>
3.1.3	<b>Material inerte.....</b>	<b>48</b>
3.1.4	<b>Reagentes.....</b>	<b>49</b>
3.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE SECAGEM.....	51
3.3.1	<b>Preparação das amostras.....</b>	<b>51</b>
3.3.2	<b>Liofilização.....</b>	<b>51</b>
3.3.3	<b>Secagem em leito de jorro.....</b>	<b>52</b>

3.3.3.1	<i>O estudo fluidodinâmico</i> .....	52
3.3.3.2	<i>Ensaio de secagem em leite de jorro</i> .....	53
3.4	<b>CARACTERIZAÇÃO DA POLPA E DO PÓ DE AÇAÍ BRANCO</b> .....	54
3.4.1	<b>Composição centesimal da polpa de açaí branco</b> .....	54
3.4.2	<b>Caracterização do pó de açaí branco</b> .....	55
3.4.2.1	<i>Fenólicos totais e atividade antioxidante</i> .....	55
3.4.2.2	<i>Higroscopicidade</i> .....	56
3.4.2.3	<i>Solubilidade</i> .....	56
3.4.2.4	<i>Fluidez</i> .....	57
3.4.2.5	<i>Cor</i> .....	58
3.4.2.6	<i>Espectroscopia de absorção</i> .....	58
3.4.2.7	<i>Morfologia e espectroscopia de energia dispersiva de raios-x</i> .....	58
3.5	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA</b> .....	59
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	60
4.1	<b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE AÇAÍ BRANCO</b> .....	60
4.2	<b>ANÁLISE FLUIDODINÂMICA</b> .....	61
4.3	<b>EFICIÊNCIA DA LIOFILIZAÇÃO E DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO</b> .....	62
4.3.1	<b>Rendimento</b> .....	62
4.3.2	<b>Umidade</b> .....	65
4.4	<b>CARACTERIZAÇÃO DO AÇAÍ BRANCO EM PÓ</b> .....	68
4.4.1	<b>Fenólicos totais e atividade antioxidante</b> .....	68
4.4.2	<b>Higroscopicidade, solubilidade e fluidez</b> .....	73
4.4.3	<b>Cor</b> .....	77
4.4.4	<b>Espectroscopia de absorção no infravermelho</b> .....	82
4.4.5	<b>Morfologia e Espectroscopia de Energia Dispersiva de raios-X</b> .....	82
4.5	<b>VALIDAÇÃO DA ANOVA</b> .....	87
4.5.1	<b>Independência dos Resíduos</b> .....	87
4.5.2	<b>Homogeneidade das variâncias</b> .....	90
4.5.3	<b>Normalidade dos resíduos</b> .....	97
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	101
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	103
	<b>APÊNDICES</b> .....	113

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O açai (*Euterpe Oleracea* Mart.) é uma das palmeiras mais conhecidas do estuário amazônico e seu fruto possui grande aceitação no mercado nacional e internacional devido ao sabor agradável da polpa e seus potenciais benefícios a saúde humana (ROGEZ, 2002). Considerado um superalimento, devido a sua eficiência nutritiva e bioativa, o açai tem despertado grande interesse econômico ao redor do mundo, o que impulsiona pesquisas e estudos técnicos para melhorar o cultivo, processamento e beneficiamento do fruto.

A coloração roxo-escuro do fruto é a mais difundida, entretanto, diversas variedades de ocorrência natural já foram reportadas na literatura (MARTINS *et al.*, 2021). O açai branco (AB) é uma dessas variedades amplamente consumidas na região amazônica e sua coloração esverdeada, quando maduro, confere a polpa um aspecto peculiar com coloração creme-esverdeado e sabor característicos.

Embora pesquisas iniciais indiquem que o açai branco pode se equiparar ao açai roxo em termos de fornecimento de compostos fenólicos não antociânicos (SILVEIRA *et al.*, 2017), poucos são os estudos reportados na literatura relacionados ao processamento e secagem da polpa de AB. Apesar de elevado potencial para a indústria, a polpa de açai branco, assim como outras polpas de fruta, apresenta múltiplos problemas de conservação, transporte e armazenamento (MARQUES *et al.*, 2007), o que ocasiona uma demanda crescente de estudos de transformação da polpa de AB em pó para facilitar a expansão comercial e incorporação em diversos produtos alimentares.

A liofilização, assim como o leito de jorro são técnicas de secagem utilizadas para o processamento de materiais pulverizados. Enquanto a liofilização tem como vantagem a não utilização de temperaturas elevadas, o que facilita a conservação de compostos bioativos presentes na matéria-prima (uma vez que esses compostos são termossensíveis). O leito de jorro se diferencia pelo menor custo e temperaturas mais baixas em relação a outros secadores que operam a ar quente, como o *spraydryer* (MUJUMDAR, 2020).

Os materiais em pó produzidos por essas técnicas podem apresentar alguns problemas em suas propriedades, como alta higroscopicidade, baixa solubilidade e elevada aglomeração (FUJITA *et al.*, 2013; JAKUBOSWKA e LULEK, 2021). Alguns desses problemas podem ser resolvidos pela adição de agentes carreadores na matéria-prima, como polímeros e gomas, antes da secagem. Tais agentes, além de aumentar a temperatura de transição vítrea, o que impacta em melhores rendimentos, e posteriormente, facilidade no transporte e armazenamento, são

muito úteis para fins de microencapsulação, visando proteger alimentos ou ingredientes sensíveis contra condições do processo (YAMAMOTO *et al.*, 2021).

Segundo Tonon *et al.* (2009) o uso de diferentes agentes carreadores para auxiliar na produção de produtos pulverizados pode resultar em diferentes propriedades físico-químicas em função das características de cada agente.

Portanto, o entendimento das propriedades dos alimentos é fundamental para melhorar processos e reduzir custos, principalmente no caso de pós-produzidos ou utilizados nas indústrias farmacêutica e alimentícia.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.2 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo principal estudar a influência de diferentes agentes carreadores e diferentes concentrações no processo de obtenção do açaí branco em pó, por meio de dois processos de secagem: liofilização e leito de jorro.

### 1.1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar física e quimicamente a polpa de açaí branco;
- Determinar os parâmetros fluidodinâmicos do material inerte utilizado como suporte na secagem em leito de jorro;
- Realizar experimentos de secagem da polpa de açaí branco de acordo com o delineamento em blocos casualizados, tendo como respostas: rendimento, umidade, fenólicos totais, atividade antioxidante, higroscopicidade, solubilidade, fluidez e cor para cada um dos dois processos de secagem utilizados neste trabalho;
- Identificar através das análises de variâncias os efeitos dos tratamentos e blocos sobre as propriedades físicas, químicas e bioativas dos produtos em pó obtidos;
- Analisar a estrutura química do pó de açaí branco obtido com diferentes agentes carreadores através de espectroscopia no infravermelho;
- Realizar a análise morfológica e identificar os principais elementos químicos presente nos pós de açaí branco, por meio de espectroscopia dispersiva de raio-X.
- Realizar a análise de resíduos para validar as interpretações da análise de variância.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é exposto inicialmente uma pesquisa bibliográfica sobre o açaí, abordando generalidades sobre a planta, origem, ocorrência, características botânicas, frutos, tipose aspectos econômicos. Em seguida, é disposto uma breve conceituação teórica dos processos de secagem por liofilização e em leito de jorro, bem como, justificativas para utilização dessas técnicas nas secagens de polpas de frutas. Além disso, são apresentados os principais agentes carreadores utilizados como adjuvantes de secagem e suas características principais que impactam no produto final. Por fim, a teoria estatística que norteia este trabalho é apresentada.

#### 2.1 O AÇAÍ

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é nativo da Amazônia brasileira e o Estado do Pará é o principal centro de dispersão natural dessa palmácea. Populações espontâneas também são encontradas nos Estados do Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins; e em países da América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana) e da América Central (SILVA *et al.*, 2016). No entanto, é na região do estuário do Rio Amazonas que se encontram as maiores e mais densas populações naturais dessa palmeira, adaptada às condições elevadas de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar.

O açaizeiro se destaca, entre os diversos recursos vegetais, pela sua abundância e por produzir, importante alimento para as populações locais, além de ser a principal fonte de matéria-prima para a agroindústria de palmito no Brasil. As maiores concentrações ocorrem em solos de várzeas e igapós, compondo ecossistemas de floresta natural ou em forma de maciços conhecidos como açaizais, com área estimada em 1 milhão de hectares. (NOGUEIRA *et al.*, 2006).

O açaí roxo é hoje largamente conhecido e comercializado no Brasil e no mundo. Entretanto, há alguns anos o açaí branco vem ganhando destaque na comercialização nos centros urbanos da Amazônia. Apesar de elevada concentração de compostos fenólicos (SILVEIRA *et al.*, 2017) e de alto valor energético (MATTIETO *et al.*, 2016), poucos são os estudos relacionados ao processamento de secagem da polpa e a avaliação das características físicas, químicas e bioativas do produto obtido.

O Açaí-branco, apresenta coloração verde opaca dos frutos, em decorrência da camada esbranquiçada que os envolve, quando maduros (NOGUEIRA *et al.*, 2006). Esse açaí, quando despulpado, gera uma polpa de cor creme/esverdeada. Oliveira *et al.* (2015) citam que apesar de serem denominadas variedades, não são variedades botânicas, mas sim tipos populares.

Embora bem menos comum que o açaí roxo, o tipo branco é encontrado em populações do Estuário Amazônico de forma espontânea, sendo consumido por ribeirinhos. Porém cada vez mais sua polpa é comercializada nos grandes centros urbanos da Amazônia, como na cidade de Belém-Pará (MATTA *et al.*, 2020). Poucos são os estudos referentes à composição química e nutricional da polpa de açaí branco, tendo a Embrapa Amazônia Oriental começado estudos nessa área em 2011, através da caracterização de progênies do Banco Ativo de Germoplasma da Instituição (SOUSA *et al.*, 2015).

### 2.1.1 Classificação e Descrição Botânica

No sistema de Classificação de Cronquist e Takhtadzhian (1981) e segundo Oliveira *et al.* (2022) o açaizeiro está ordenado na seguinte sequência hierárquica:

Divisão: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Subclasse: Arecidae

Ordem: Arecales

Família: Arecaceae

Subfamília: Arecoideae

Gênero: *Euterpe*

Espécie: *Euterpe oleracea* Mart. e *Euterpe precatoria* Mart.

Na Amazônia Ocidental (composta pelos Estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima) há a ocorrência natural do açaí precatória (*Euterpe precatoria* Mart.) em terras altas e terras baixas (áreas inundáveis e igapós). Na Amazônia Oriental (Pará, Amapá, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso) prevalece a ocorrência do açaí de touceira (*Euterpe oleracea* Mart.), principalmente nos estuários dos rios Amazonas, Tocantins e tributários.

O açaizeiro da variedade precatória é comumente denominado de açaí solteiro, açaí precatória, açaí-do-amazonas, açaí-da-mata, açaí-da-terra. Enquanto o açaí de touceira, regionalmente, é conhecido por açaí-do-pará, açaí-de-estuário, açaí-comum entre outras denominações (SOUZA *et al.*, 2018).

Segundo Oliveira *et al.* (2022) o açazeiro da Espécie *Euterpe oleracea* Mart., é uma palmeira cespitosa, cujas plantas adultas têm estipes de 3 a 20 m de altura e 7 a 18 cm de diâmetro. As folhas são compostas, pinadas com arranjo espiralado de 40 a 80 pares de folíolos. A inflorescência do tipo cacho possui flores estaminadas epistiladas. A disposição das flores é ordenada em tríades, de tal forma que cada flor feminina fica ladeada por duas flores masculinas.

O fruto do açazeiro (Figura 2.1) é uma drupa globosa, de 1 a 2 cm de diâmetro e peso médio de 1,5 gramas. O epicarpo, dependendo do tipo, é roxo ou verde na maturação. O mesocarpo polposo (aproximadamente 1 mm de espessura) envolve o endocarpo volumoso e duro que acompanha a forma do fruto e contém a semente no seu interior. Popularmente o que chamam de semente é opirênio, pois a semente é ainda envolvida pelo endocarpo.

Figura 2.1 – Frutos do açai



Fonte: Souza *et al.* (2018)

A semente apresenta na maturação um endosperma sólido do tipo ruminado e um embrião pequeno, mas desenvolvido. As plântulas apresentam dois a três primórdios foliares antes de apresentarem uma folha completa que é bífida. O sistema radicular é do tipo fasciculado, com raízes emergindo do estipe da planta adulta até 40 cm acima da superfície do solo.

### 2.1.2 Etnovariedades e variedades do açai (*Euterpe oleracea* Mart.)

O açazeiro possui algumas etnovariedades ou ecotipos, que ocorrem em condições naturais, e que diferem em algumas características morfológicas, seja pelo tamanho e peso dos frutos e cachos, coloração ou número de perfilho na touceira (ASSUNÇÃO *et al.*, 2022), podendo-se mencionar: o açai branco (açai tinga), açai-espada, açai-roxo ou comum, açai-sangue-de-boi, açai-açu e o açai-chumbinho.

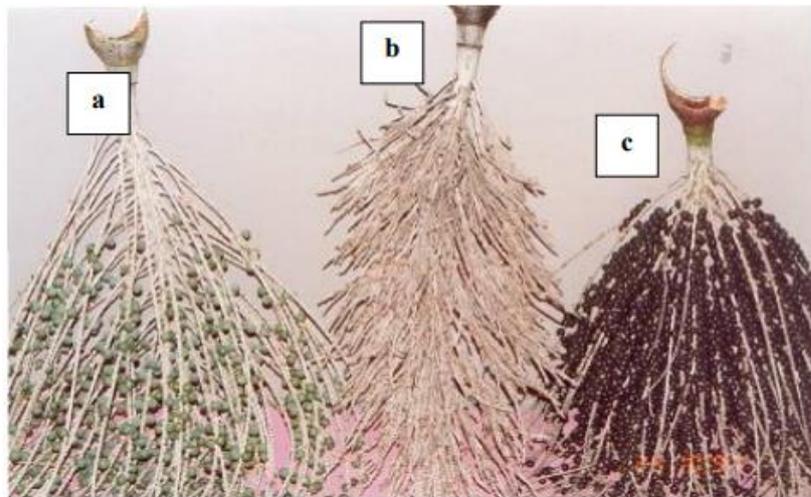
As principais características dos ecotipos de açazeiro, de acordo com Oliveira *et al.* (2007) são mencionadas a seguir:

– *Açaí branco*: Depois do açáí roxo é o mais consumido na região. Difere dos demais por apresentar coloração verde dos frutos quando maduros e opaca em decorrência da camada esbranquiçada que os envolve podendo a planta perfilhar ou não (Figura 2.2a). Pode ser chamado também de Açáí tinga, pois Tinga na linguagem indígena (tupi-guarani) significa desprovido de cor.

– *Açaí-espada*: presente em populações da Ilha do Combu (município de Belém) e no município de Acará, ambos do estado do Pará. Difere dos demais tipos no formato do cacho, que apresenta nas ráquulas várias ramificações: primárias, secundárias e terciárias, permitindo maior rendimento de frutos por cacho (Figura 2.2b).

– *Açaí roxo ou comum*: predominante na maioria das populações amazônicas diferenciando-se dos demais pela coloração de violácea a roxa dos frutos quando maduros, podendo perfilhar ou não (Figura 2.2c).

Figura 2.2 – Etnovariiedades do açáí: açáí-branco (a), açáí-espada (b) e açáí-roxo (c)



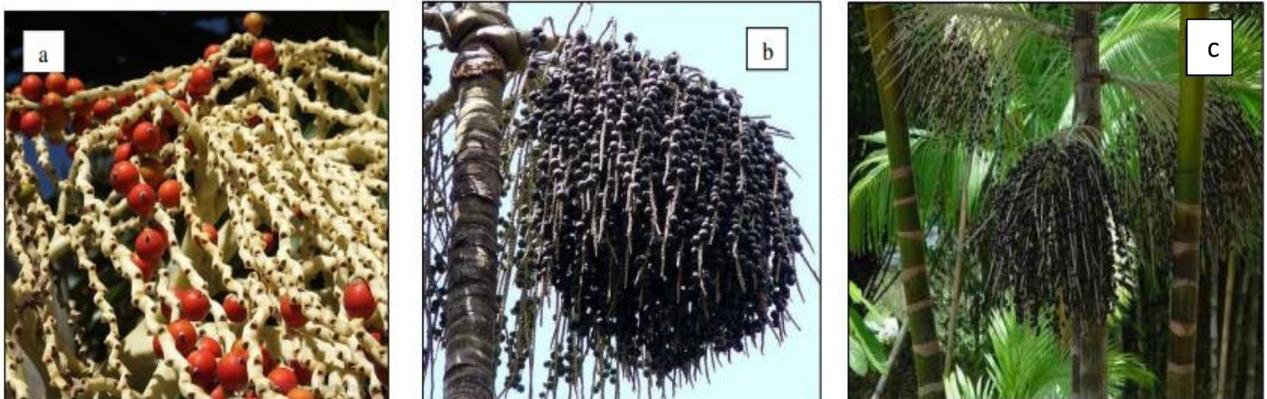
Fonte: Oliveira *et al.* (2007).

– *Açaí sangue-de-boi*: tipo presente em algumas populações nativas do baixo Amazonas, (Figura 2.3a) mais precisamente do município de Santarém, PA e no Estado do Maranhão. Caracteriza-se pela coloração vermelho-escura dos frutos maduros semelhante ao sangue de boi, além de possuir polpa com consistência bem menos pastosa que os demais tipos. A polpa de seus frutos tem pouca aceitação no mercado, seja pela consistência fina e pelo sabor que é bastante diferente dos tipos com frutos de cor roxa.

– *Açaí-açu*: tem ocorrência rara em populações nativas, sendo registrado basicamente em uma população do Município de Igarapé-Miri, PA. Seus frutos possuem coloração roxa e a planta difere dos demais tipos por apresentar perfilhamento reduzido (3 a 5 estipes/planta), estipe mais grosso que o do tipo comum, cachos grandes (Figura 2.3b) e bem pesados (acima de 10 kg) e com maior número de frutos por ráquulas. Vale ressaltar que o açaí-açu registrado no município de Castanhal/PA, apesar de possuir cachos grandes, produz poucos cachos por ano e tem como agravante, a ausência de perfilhos, sendo suas características mais próximas do palmitero (*Euterpe edulis* Mart.), espécie típica da Mata Atlântica, conhecido como açaí da mata atlântica.

– *Açaí chumbinho*: Possui ocorrência predominante em algumas populações do Norte da Ilha de Marajó, PA e em populações do Estado do Amapá. Difere dos demais por apresentar frutos pequenos (Figura 2.3 c) quando maduros (menos de 1g), podendo ser roxo ou branco.

Figura 2.3 – Etnovariiedades do açaí: açaí-sangue-de-boi (a), açaí-açu (b) e açaí-chumbinho



Fonte: Ferreira (2017)

Do ponto de vista técnico, o termo variedade ou cultivar deveria ser utilizado somente quando uma espécie é submetida a um melhoramento genético. Nesse contexto, a BRS-Parálançada em 2004 consistiu em uma variedade de açaí que passou por processo de melhoramento genético na Embrapa Amazônia Oriental. Ela foi utilizada em plantios comerciais no intuito de selecionar o problema de baixo potencial produtivo dos cultivos, tendo como características o bom perfilhamento dos frutos, precocidade de produção em quase todos os meses do ano, frutos de coloração violácea e com bom rendimento da parte comestível (15% a 25%) (OLIVEIRA e FARIAS NETO, 2004).

O aprimoramento e o avanço do conhecimento em torno dessa palmeira fizeram com que a pesquisa desse mais um passo no processo de domesticação e em 2019 foi lançada a BRS Pai d'Égua, cultivar de açaí irrigado para terra firme. Uma das principais características é a

distribuição bem equilibrada da produção anual. Com irrigação e manejo adequado, a cultivar produz 40% no período da entressafra (de janeiro a junho) e 60% na safra (de julho a dezembro). Além disso, a cultivar apresenta frutos ainda menores que a antecessora com maior rendimento de polpa, em torno de 30%, em relação aos frutos atualmente utilizados na agroindústria (FARIAS NETO, 2019).

### 2.1.3 O açaí tipo branco

O açaí branco é uma das variedades da espécie *Euterpe oleracea* Mart. amplamente consumida na região amazônica. O AB difere do violáceo por possuir coloração verde opaca do epicarpo dos frutos e produzir bebida de coloração creme-esverdeada, quando maduro (Figura 2.4), conferindo a polpa um aspecto peculiar viscoso e sabor característicos (WYCOFF *et al.*, 2015). Segundo Rogez (2000) o AB pode-se tratar de albinismo, visto que o cultivo sistemático da variedade não foi possível de forma natural pelos produtores e a produção de AB ocorria de forma espontânea. No entanto, segundo a EMBRAPA, foram constatadas variabilidade genética em progênies de açaí branco, assim, o mecanismo genético do AB ainda não foi elucidado (MATOS *et al.*, 2020).

Essa etnoveriedade é caracterizada pela ausência de antocianina em seu epicarpo e, embora menos comum que o açaí roxo, a polpa de AB é comercializada nos grandes centros urbanos da Amazônia e utilizada na fabricação de doces, sorvetes e geléias (COUTO *et al.*, 2007; SILVEIRA *et al.*, 2017; MATOS *et al.*, 2020).

Figura 2.4 – Polpa de açaí branco



Fotografia: Hellen Barros

O AB apresenta material genético que está sob forte pressão antrópica, podendo gerar erosão genética. Há uma carência de estudos em relação às características morfoagronômicas, principalmente as relacionadas com sua produtividade, que possam estimular seu cultivo e

manutenção (MATOS *et al.*, 2020). Ressalta-se, ainda que o cruzamento recíproco entre o açaí roxo e o açaí branco, ocorre com grande frequência. Assim sendo, plantas muitas vezes consideradas como da variedade roxo podem na verdade ser híbridos intertipos.

Poucos são os estudos relacionados ao beneficiamento e processamento do AB. Em grande parte, as pesquisas se concentram na análise de composição físico-química e bioativa da polpa de açaí branco, correlacionando com o açaí roxo, como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Comparação físico-química entre Açaí Branco e Roxo

Análises	Açaí Branco	Açaí Roxo
pH	4,74 ± 0,04	5,18 ± 0,01
Sólidos Solúveis (°Brix)	1,37 ± 0,06	3,4 ± 0,59
Lipídios Totais (%)	52,28 ± 0,25	30,74 ± 0,55
Proteínas Totais (%)	9,84 ± 0,09	8,85 ± 0,09
Fibras Totais (%)	14,05 ± 0,08	20,07 ± 0,26
Cinzas (%)	3,31 ± 0,13	4,68 ± 0,02
Carboidratos (%)	32,63 ± 0,28	54,02 ± 0,54
Valor Energético (kcal/100g)	611,84 ± 1,15	518,57 ± 2,16
Compostos Fenólicos (mg EAG/100g)	594,08 ± 10,97	1646,90 ± 12,19
Antocianinas Totais (mg/100g)	Nd	434,85 ± 3,20

EAG: equivalente em ácido gálico; Nd: não detectado.

Fonte: Adaptada de Mattietto *et al.* (2016).

Os resultados de Mattietto *et al.*, (2016) mostraram que a variabilidade genética afeta a composição do açaí branco em relação ao roxo. Lipídios são os principais constituintes das polpas e o açaí branco apresentou os genótipos com os maiores teores. O açaí branco também se destacou em proteínas e valor energético, já o açaí roxo em termos de compostos bioativos. Além da diferença entre os tipos de açaí, observaram-se variações significativas entre genótipos de um mesmo tipo em praticamente todas as determinações, porém em compostos bioativos essas diferenças mostraram-se ainda maiores.

#### 2.1.4 A importância econômica e regionalismo

O crescimento do mercado de polpa de açaí a partir da década da 1990, facilitado pelo processo de beneficiamento e congelamento, quadruplicou o consumo paraense da fruta, antes

restrito ao período da safra e da incorporação do mercado nacional e externo (HOMMA *et al.*, 2006a; COSTA *et al.*, 2017).

A cadeia produtiva do açaí envolve extrativistas, produtores, intermediários, indústrias de beneficiamento e batedores artesanais, sendo de importância crucial para a formação de renda de expressivo grupo de famílias de pequenos produtores. Com o início das importações de polpa de açaí pelos Estados Unidos e alguns países europeus, outros países como Colômbia, Venezuela, Equador, Guiana Francesa, Suriname e algumas ilhas do Caribe também despertaram interesse pelo plantio de açaizeiros.

O estado do Pará, onde densa e diversas populações naturais de açaí são estabelecidas em terras baixas, é o maior produtor e principal consumidor de açaí. A produção brasileira de açaí tradicionalmente baseada no extrativismo, como na região Norte do Brasil sendo o estado do Pará responsável por 95% da produção nacional da fruta (CONAB, 2021).

Nos últimos dez anos, o crescimento da exportação do produto paraense teve um salto vertiginoso: cresceu mais de 14.000% (quatorze mil por cento). Avançou de 41 toneladas exportadas em 2011 para aproximadamente 5.900 (cinco mil e novecentas) toneladas em 2020. Em 2018, a exportação rompeu, pela primeira vez, a casa das 2 mil toneladas. Em 2019, foram 3,9 mil. E, em 2020, um novo salto para 5,9 mil toneladas (ABRAFRUTAS, 2021).

Todo esse crescimento mercadológico abriu novas perspectivas aos ribeirinhos, que estão na base da cadeia produtiva do açaí. Há cerca de quinze anos o produtor local muitas vezes optava por cortar a árvore de açaí para extrair o palmito, com valor de mercado na época maior – e com menos esforço – que a colheita e venda do açaí. Hoje, no entanto, é mais rentável ter a árvore em pé, colher e vender o fruto.

Além disso, o desenvolvimento de pesquisas visando o melhoramento genético e produtivo do açaí também avançaram e proporcionaram impacto na melhoria da cadeia extrativista do açaí. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Amazônia Oriental desenvolve há mais de 30 anos, pesquisas de aprimoramento genético. A primeira cultivar (variedade) produzida foi a “BRS Pará” em 2004, cujas características intrínsecas são: produção de frutos precoce, com a primeira frutificação aos três anos após o plantio; produtividade estimada em torno de 10 t/ha/ano, a partir do 8º ano de plantio; e rendimento de polpa variando de 15 a 25% (OLIVEIRA, 2004).

Produtores agrícolas, agroindústrias e consumidores estimam que o benefício econômico gerado pela adoção dessa nova tecnologia de melhoramento genético é de aproximadamente R\$36,14 milhões. Estima-se que foram acrescentados 3.875 postos de trabalho com a adoção da BRS Pará ao longo da cadeia produtiva, gerando efeito positivo na renda e proporcionando

maior segurança e estabilidade ao produtor, além de segurança alimentar. Comparada com o material nativo, a cultivar BRS Pará possui como principais vantagens a maior produtividade; maior facilidade para a obtenção de créditos; e aumento da oferta na entressafra, quando manejado.

Em 2019, uma nova variedade produzida pela Embrapa Amazônia Oriental foi obtida, a “BRS Pai d’Égua”, cultivar de açaí para terra firme com suplementação hídrica, que apresenta duas características principais: produção na entressafra e frutos menores.

Um dos maiores diferenciais da nova cultivar é a distribuição bem equilibrada da produção anual. A BRS Pai d’Égua produz 46% no período da entressafra (de janeiro a junho) e 54% na safra (de julho a dezembro). Além disso, maior rendimento de polpa é observado e a produção dos frutos é precoce: os frutos menores rendem 30% mais polpa que os frutos de açaí tradicionais e a primeira colheita dos frutos ocorre aos três anos e meio em contraponto os materiais tradicionais que iniciam no quinto ano (FARIAS NETO, 2019).

Esses diferenciais permitem maior variabilidade de ganhos para produtores rurais, associações, cooperativas, mercado varejista e exportador, impactando na geração de empregos e renda dos cidadãos brasileiros. Ademais, o mercado consumidor também é beneficiado, uma vez que a disponibilidade do produto é aumentada, mesmo nos períodos da entressafra.

Todo esse desenvolvimento permitiu a expansão e beneficiamento do açaí para além do consumo natural paraense. No Sul e Sudeste do Brasil, é comum a presença de lojas especializadas na venda da polpa de açaí, sendo possível customizá-lo com outros produtos, como por exemplo, granola, grãos, guaraná, amendoim, entre outros.

Especificamente para o açaí branco, poucos são os dados relativos à produção e beneficiamento do fruto. De acordo com os dados mais atualizados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o açaí branco, também conhecido como açaí tinga, registrou alta de produção de 6%, no Pará. Em 2020, foram produzidas 140 mil toneladas do fruto, enquanto em 2019 o patamar alcançado foi de 132 mil toneladas (IBGE, 2020).

De acordo com a EMBRAPA, do volume total de açaí produzido no Pará, o açaí branco é responsável por 10% nos pontos de venda da Região Metropolitana de Belém (RMB). Um dado considerável, haja vista que o açaí, de uma forma geral, é presença constante na mesa dos paraenses. O crescimento da produção de açaí branco, portanto, é calculado a partir do aumento total da produção de açaí no Estado. Em 2020, também segundo o IBGE, foram produzidas 1,4 milhão de toneladas de açaí, contra 1,3 milhão contabilizadas em 2019.

## 2.2 SECAGEM

### 2.2.1 Aspectos conceituais

Para Mujumdar (1995) a secagem é geralmente descrita como um processo térmico de remoção de substâncias voláteis (umidade) visando a obtenção de um produto sólido. Quando um sólido úmido ou suspensão é submetido à secagem térmica, dois processos ocorrem simultaneamente:

- 1- Transferência de energia (principalmente na forma de calor) do ambiente circundante para evaporar a umidade da superfície.
- 2- Transferência de umidade interna para a superfície do sólido e sua subsequente evaporação devido ao processo 1.

Strumillo e Kudra (1986) ressaltam que para a escolha de um método de secagem é preciso ter em conta, os estados físicos das substâncias ou seja, sólido, pastoso ou líquido e para se determinar as condições de secagem apropriadas deve-se conhecer os princípios físicos que regem os fenômenos.

A preservação de alimentos por secagem é ainda de crescente interesse para a manufatura de produtos e intermediários. Numa economia que está se tornando cada vez mais globalizada, a distribuição de produtos agrícolas e de outros produtos biológicos está crescendo, e normalmente processos de secagem são necessários para assegurar estabilidade durante o armazenamento e o transporte, uma vez que o teor de umidade é reduzido e, conseqüentemente, a disponibilidade de água.

O congelamento da polpa é muito utilizado para manutenção das propriedades nutricionais, além disso, a obtenção do produto em pó é uma alternativa ideal para transporte e armazenamento em condições ambientais. Os processos mais conhecidos para produção de pó são aqueles relacionados com métodos de secagem com uso de calor ou a liofilização (SOUZA, 2015).

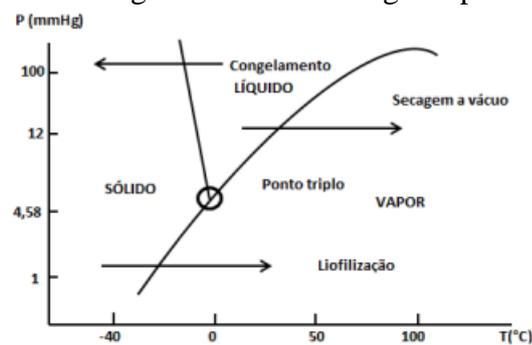
A secagem de alimentos é realizada por meio de processos como secagem por atomização ou pulverização (*spraydrying*), liofilização, em secador de tambor (*drumdrying*), secagem em leito de jorro (*spouted bed*), entre outros. Estes processos são amplamente utilizados para melhorar a estabilidade dos alimentos através da redução da água a níveis suficientes para reduzir sua atividade microbológica e minimizar algumas alterações físicas e químicas durante o armazenamento, permitindo ainda que a indústria reduza custos com armazenagem, estocagem e distribuição (CELESTINO, 2010).

Dos métodos de secagem utilizados na secagem de polpas de frutas alimentícias destacam-se: a liofilização, método que opera a baixas pressões e que melhor conserva as propriedades originais da matéria-prima; a secagem por pulverização, o método que utiliza calor mais amplamente utilizado; e a secagem em leito de jorro, um método alternativo de secagem por atomização, que em comparação ao spray drying, melhor preserva os compostos termossensíveis presentes na matéria-prima (SINHA *et al.*, 2012).

### 2.2.2 Secagem por Liofilização

A secagem por liofilização consiste na remoção da água de um material por sublimação, ou seja, a água previamente congelada passa diretamente do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido (Figura 2.5). Para que isso ocorra, são necessárias condições específicas de depressão e temperatura. A sublimação da água ocorre em condições de pressão e temperatura abaixo do seu ponto triplo ( $T=0,01\text{ °C}$  e  $P=4,58\text{ mmHg}$ ), já que sua fase líquida não ocorre nessa região (LIAPIS e BRUTIINI, 2006).

Figura 2.5 – Diagrama de fases da água e ponto triplo



Fonte: Adaptado de Oetterer (2006)

A liofilização, também conhecida como criodesidratação ou criosecagem, é um processo que ocorre em condições de pressão e temperatura controladas, onde a água congelada do produto sofre sublimação (FELLOWS, 2019). Os produtos liofilizados apresentam facilidade de armazenamento, capacidade de se conservar em temperatura ambiente (em embalagem adequada), facilidade de reconstituição (hidratação) e longo período de vida de prateleira, mantendo as propriedades originais, além de inibir a contaminação microbológica (MARTINS *et al.*, 2011).

Na liofilização é possível uma retenção de 80 a 100% do aroma, pois estes ficam presos na matriz do alimento e não são arrastados pelo vapor de água produzido pela sublimação

(FELLOWS, 2019). Isso ocorre devido à difusão seletiva da água através da matriz liofilizada uma vez que o coeficiente de difusão da água é maior que o das moléculas voláteis na condição de liofilização. Em escala macromolecular, a retenção dos voláteis ocorre pelo aprisionamento das moléculas de voláteis em microrregiões da matriz liofilizada durante o congelamento, antes da sublimação do gelo.

Os alimentos solidificam-se num estado amorfo e, em consequência da existência de volume livre nesses sólidos, é possível a retenção de outras moléculas. O estado cristalino é incapaz de reter substâncias devido seu limitado volume livre (BARUFFALDI e OLIVEIRA, 1998). A liofilização é o mais nobre processo de conservação de produtos, pois envolve os dois métodos existentes mais confiáveis: congelamento e desidratação. Para ser liofilizado, o produto deve ser primeiramente congelado, para depois ser submetido a uma pressão negativa (vácuo).

#### *2.2.2.1 Secagem de polpas de frutas por liofilização*

A liofilização de polpas de frutas está associada, em geral, a produção de um pó de alto valor agregado, pois se trata de um processo oneroso que pode ser entre quatro a oito vezes mais caro que outros métodos de secagem (LIAPIS e BRUTIINI, 2006). Apesar disso, a liofilização continua sendo a melhor opção para manter a qualidade original de algumas frutas. De qualquer maneira, estudos técnicos vêm sendo realizados para melhorar a relação custo/benefício de materiais liofilizados.

Marques (2008) ao estudar o processo de liofilização de quatro polpas de frutas tropicais (abacaxi, mamão, manga e acerola) concluiu que os produtos obtidos exibiram alta porosidade e capacidade de reidratação, além de boa retenção de aroma, cor e nutrientes. Araújo (2014) em seu estudo sobre a liofilização de polpa de jambolão, reportou que o pó obtido apresentou baixo teor de umidade e atividade de água, conferindo maior estabilidade microbológica ao produto. Os pós também foram classificados como pouco higroscópicos e apresentaram alta solubilidade em água.

Costa (2017) na secagem de polpa de manga pelo processo de liofilização, identificou que era necessário a adição de 20% de maltodextrina para se obter um bom rendimento e pós menos higroscópicos e com baixo teor de umidade. A secagem de polpa de laranja, também por liofilização, foi avaliada por Silva-Espinoza (2021). A necessidade de agente carreador no processo também foi observada a fim de se obter um produto com boa solubilidade, fluidez e pouco higroscópico.

A Tabela 2.2 sumariza diversas polpas de frutas que já foram submetidas ao processo de secagem por liofilização. A utilização de alguns agentes carreadores também é observada, sob a justificativa de melhoramento de aspectos físicos (como higroscopicidade e solubilidade) e bioativos (maior retenção de fenólicos e antioxidantes).

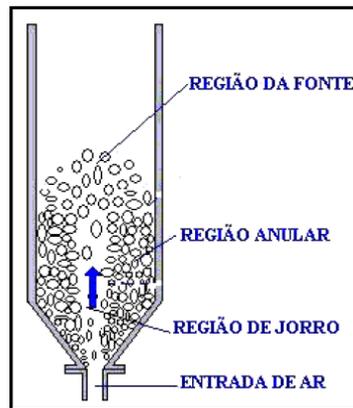
Tabela 2.2 – Polpas de frutas submetidas a secagem por liofilização

<b>Matéria-prima</b>	<b>Agente carreador</b>	<b>Autor</b>
Polpa de Frutas topicais (manga, mamão, abacaxi, goiaba)	–	Marques Silveira e Freire (2007)
Polpa de camu-camu	Maltodextrina DE20	Silva, Sobral e Kieckbusch (2006)
Polpa de manga	Maltodextrina DE17-21	Fongin et al. (2019)
Polpa de amora preta	Capsul®	Braga et al. (2019)
Polpa de açaí	–	Oliveira et al. (2020)
Polpa de araçá-vermelho	Goma arábica	Rosário et al. (2020)
Polpa de Amora brasileira cultivar Cherokee	Maltodextrina DE10, Goma arábica e Pectina	Oro et al. (2021)
Polpa de jabuticaba	Amido modificado	Moura et al. (2022)
Polpa de tucumã	Maltodextrina, Goma arábica, Capsul e Amido Modificado	Silva et al. (2018)

### 2.2.3 Secagem em leito de jorro

A secagem em leito de jorro foi desenvolvida inicialmente para a secagem de grãos de trigo (MATHUR e GISHUR, 1955). Atualmente esta técnica é aplicada nas mais variadas matrizes como grãos, suspensões, pastas, soluções, entre outros (HUANG *et al.*, 2023). O sistema de leito de jorro consiste basicamente em uma coluna cilíndrica de base cônica, contendo partículas sólidas de um tamanho considerável, maiores que 1 mm, e de um orifício de entrada do fluido localizado na parte inferior central da base cônica (Figura 2.6). Esta base cônica é utilizada para aumentar o movimento de sólidos e eliminar espaços mortos no fundo do leito (PASSOS *et al.*, 1997).

Figura 2.6–Leito de jorro com suas regiões características



Fonte: Duarte (2006)

O ar em alta velocidade é adicionado a este conjunto pela base inferior do tronco de cone, permeando entre as partículas. A intensa circulação destas partículas começa quando a vazão do ar é suficiente para promover o transporte pneumático delas na região central do leito. Ao atingirem a fonte as partículas perdem totalmente a sua energia cinética, caindo posteriormente na região anular e aí fazem um movimento descendente até regiões inferiores do leito. Sendo que região anular é caracterizada por possuir baixa porosidade.

A Figura 2.7 ilustra um diagrama geral dos regimes de escoamento, onde é possível visualizar a transição de um leito estático (A) ao leito de jorro (D), seguido de um leito de jorro borbulhante (E) e em *slugging* (F), a medida que a velocidade superficial do gás (vazão volumétrica do gás/ área da seção transversal da coluna) aumenta.

Figura 2.7 – Diagrama geral dos regimes de escoamento em leito de jorro

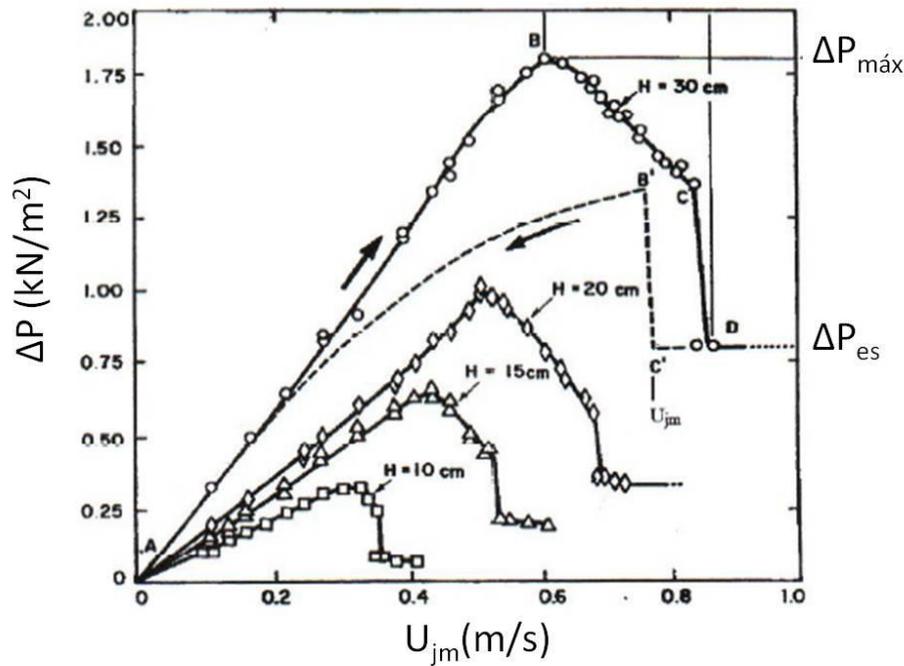


(A) Leito fixo; (B) Formação de uma pequena cavidade; (C) desenvolvimento do jorro interno; (D) jorro externo; (E) jorro borbulhante e (F) *slugging*.

Fonte: Adaptado de Nascimento (2014).

O mecanismo de transição de um leito fixo para um leito de jorro é mais bem descrito com referência ao gráfico de queda de pressão no leito *versus* velocidade superficial do gás à entrada do leito conforme a Figura 2.8.

Figura 2.8 – Curvas típicas de queda de pressão em função da velocidade do fluido em leito de jorro



Fonte: Mathur e Epstein (1974)

O gráfico formado pela linha sólida é obtido pelo aumento da velocidade do ar em relação à queda de pressão. Enquanto a linha tracejada é obtida quando se realiza a operação inversa, ou seja, a diminuição da velocidade do ar e seu respectivo comportamento com a queda de pressão. Observa-se que há uma mudança de característica na curva, e isso ocorre porque na operação inversa (linha pontilhada), que é justamente o processo de redução da velocidade do ar no leito, não se necessita de uma energia mecânica suficientemente alta para romper a pressão estática imposta pela camada de sólidos, haja vista que esse rompimento é característico do processo direto (linha sólida), não do inverso (NASCIMENTO, 2018).

Analisando a Figura 2.8 é possível observar que na região A-B há um aumento na velocidade do gás resultando em um aumento constante na queda de pressão, caracterizando a região de leito fixo, onde a pressão fornecida pela passagem do gás é inferior a pressão estática gerada pelas partículas, não sendo capaz de suspender o leito, portanto o gás apenas percola através do leito sem movimentar as partículas.

A medida em que a velocidade do ar aumenta, as partículas próximas à entrada do gás se deslocam, promovendo a formação de uma cavidade na região central, com maior resistência à passagem do ar, resultando numa maior queda de pressão no leito. Conforme a vazão de gás aumenta, a cavidade vai se alongando e surge o jorro interno e a queda de pressão aumenta até atingir o valor máximo ( $\Delta P_{\text{máx}}$ ) representada pelo ponto B. Neste ponto, o efeito do jorro interno é maior do que a camada sólida que limita a cavidade e conseqüentemente a queda de pressão diminui (B-C)(MATHUR e EPSTEIN, 1974).

Qualquer aumento na velocidade do fluido a partir deste ponto C, denominando jorro incipiente, causa o afloramento do jorro no leito. Quando isso ocorre, a concentração de sólidos na região diretamente acima do jorro interno diminui subitamente, ocasionando uma redução da queda de pressão até o ponto D, queda de pressão do jorro estável, onde o leito entra em regime e o jorro estável se instala. A partir desse momento, qualquer acréscimo da vazão ocasiona o aumento da fonte sem qualquer efeito significativo na queda de pressão total, que a partir desse ponto, permanece constante.

A ação de ruptura do leito através do jato de fluido, gera uma instabilidade, fazendo com que a velocidade de jorro incipiente (C) e o princípio de jorro estável (D) não sejam exatamente reproduzíveis, dessa maneira, realiza-se o procedimento inverso. Diminuindo a velocidade do gás o ponto C' é alcançado, e neste ponto, a velocidade de jorro mínima é obtida. Uma ligeira redução na velocidade do gás, nestas condições, causa o colapso do jorro e a queda de pressão aumenta subitamente para o ponto B. Decrescendo ainda mais a vazão, ocorre uma diminuição na queda de pressão ao longo de B'-A.

#### 2.2.3.1 Secagem de polpas de frutas em leito de jorro

Na secagem em leito de jorro de pastas e suspensões, como a polpa de fruta, utiliza-se de um leito constituído de partículas inertes. Esta tecnologia apresenta custos bastante favoráveis em relação a secagem por atomização, e pode ser utilizada em qualquer tipo de pasta(ALMEIDA, 2009). Além disso, os pós finos e homogêneos produzidos, podem competir com os pós obtidos em *spray dryer* (ROCHA e TARANTO, 2008).

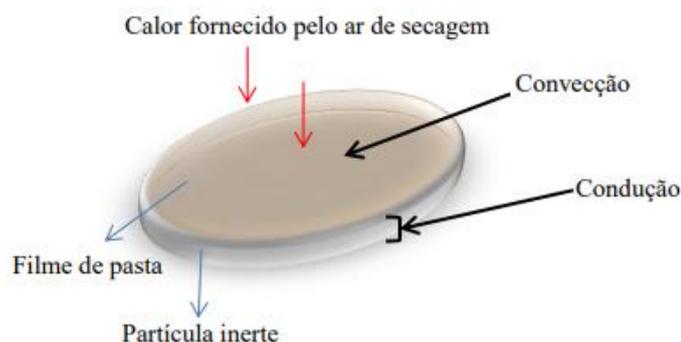
Na secagem de pastas o leito de jorro tem se mostrado bastante adequado a partir da utilização de partículas inertes, onde diversos trabalhos têm testado este sistema para a secagem de uma ampla variedade de pastas orgânicas e inorgânicas como indica a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Polpas de frutas submetidas a secagem em leito de jorro

<b>Matéria-prima</b>	<b>Agente Carreador</b>	<b>Autor</b>
Polpa de bacaba	Maltodextrina DE 10	Nascimento et al. (2019)
Polpa de açaí	Maltodextrina DE10	Costa et al. (2015)
Polpa de graviola	Albumina	Dantas (2018)
Polpa de acerola	Proteína de soro de leite (whey protein)	Dantas et al. (2019)
Polpa de Uva	Colágeno Hidrolisado	Butzge, Godoi e Rocha (2014)
Polpa de graviola com leite	–	Medeiros et al., (2021)
Polpa de camu-camu	Maltodextrina DE10	Fujita et al., 2013
Polpa de caju	Maltodextrina DE14	Santos et al. (2015)
Polpa de coco verde	Maltodextrina DE10 e Amido modificado	Lavoyer (2012)

O processo consiste na inserção da pasta dentro do leito de jorro de forma contínua ou descontínua, para provocar o recobrimento das partículas inertes sob a forma de um filme. As partículas recobertas e úmidas são secas diretamente pela corrente de ar quente, por convecção, ou indiretamente, devido ao próprio contato com as partículas inertes aquecidas, por condução, conforme ilustra a Figura 2.9.

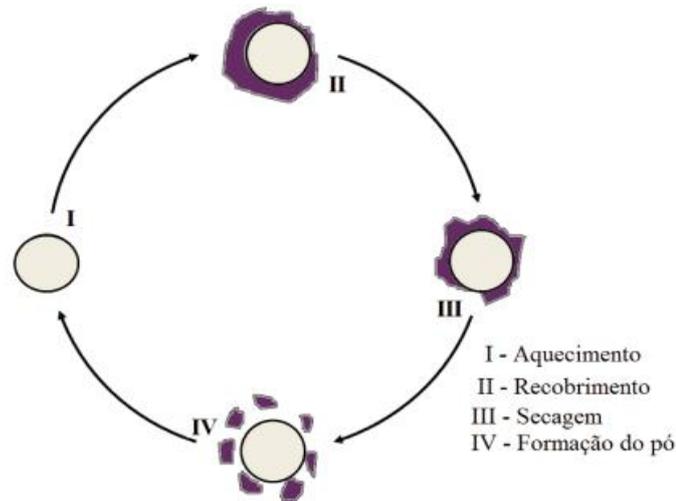
Figura 2.9 – Mecanismo da secagem em leito de jorro com inertes



Fonte: Nascimento (2018)

O processo consiste na inserção da pasta dentro do leito de jorro de forma contínua ou descontínua, para provocar o recobrimento das partículas inertes sob a forma de um filme. As partículas recobertas e úmidas são secas diretamente pela corrente de ar quente, por convecção, ou indiretamente, devido ao próprio contato com as partículas inertes aquecidas, por condução. A Figura 2.10 ilustra o esquema do mecanismo idealizado por esse processo.

Figura 2.10 – Mecanismo de recobrimento, secagem e formação de pó em leito de jorro



Fonte: Adaptada de Costa (2015)

Os principais tipos de inertes utilizados na secagem de pasta em leito de jorro são: polietileno de alta densidade (PEAD), de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), Sangel®, Teflon, vidro, e sílica, sendo importante destacar que as partículas devem estar dentro da região de jorro (sólido do tipo D) indicada por Geldart (1986) e que o efeito do desgaste (devido ao movimento intenso das partículas) e da aplicação de calor (altas temperaturas de secagem) durante o processo de secagem pode ocasionar a contaminação do pó produzido, o que é indesejável, principalmente se o inerte for tóxico.

### 2.3 AGENTES CARREADORES

Durante o processo de elaboração de polpa de frutas em pó, ocorre geralmente a adição de adjuvantes de secagem, cuja função é realizar um revestimento das partículas evitando a caramelização dos açúcares presentes (FREITAS, 2012). O processo de secagem de matérias-primas que apresentam grandes quantidades de sólidos e açúcares resulta em produtos com alta capacidade de adsorver umidade, ou seja, higroscópicos. Portanto, é fundamental a utilização desses adjuvantes, antes do processo de secagem, visando facilitar a desidratação e as operações de transporte e armazenamento (TANAKA, 2007; TONON e BRABET, 2009).

Diversos materiais são utilizados como agentes carreadores, entre eles: goma arábica, carboidratos, amido, fécula, alginato, maltodextrinas, carboximetilcelulose, parafina, caseína, albumina, proteínas do glúten, entre outros. A escolha do agente carreador depende da natureza e estabilidade do material a ser seco, bem como das propriedades que se deseja alcançar do produto pulverizado (BARBOSA, 2010).

Os agentes carreadores também proporcionam uma barreira física de proteção contra o oxigênio, luz e umidade, evitando reações químicas e reações de escurecimento enzimático do material, além de facilitar o manuseio, e a retenção de compostos voláteis responsáveis por caracterizar o sabor e aroma (TANAKA, 2007; TONON; BRABET; HUNBINGER, 2009). Existe uma variedade desses agentes, no entanto a maltodextrina é o mais utilizado, principalmente em produtos com sabor e pigmentos sensíveis (CAI e CORKE, 2000).

Os agentes carreadores, em geral, possuem alto peso molecular e são úteis para aumentar a temperatura de transição vítrea da pasta a ser seca, evitando problemas, tais como formação de aglomerados e cristalização durante o processamento e estocagem do produto, o que é importante, especialmente, no caso de produtos ricos em açúcares.

A escolha do agente carreador se faz importante, uma vez que influencia nas propriedades da pasta antes da secagem, na retenção de compostos bioativos durante o processo, e na vida útil do pó obtido após a secagem (JAFARI *et al.*, 2008).

A seleção dos agentes carreadores representa um passo muito importante durante o processo de secagem de pastas, e cada vez mais estudos reportam o seu impacto nos produtos pulverizados obtidos. Em geral, a sua escolha está correlacionada ao processo de secagem a ser utilizado, custo e possíveis interações com a matéria-prima. A Tabela 2.4 apresenta os principais agentes carreadores utilizados na secagem de polpa de frutas, bem como suas respectivas classes.

Tabela 2.4 – Principais agentes carreadores utilizados em alimentos

<b>Classe</b>	<b>Agentes carreadores</b>
Carboidratos	Amido, amido modificado, maltodextrina, xarope de milho, dextrana, sacarose e ciclodextrina
Celulose	Carboximetilcelulose, metil e etil cellulose, nitrocelulose.
Gomas	Goma arábica, ágar, alginato de sódio e carragena.
Lipídeos	Cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, mono e diglicerídeos, óleos e Gorduras.
Proteínas	Glúten, colágeno, caseína, gelatina, albumina, hemoglobina e peptídeos.

Fonte: Tonon (2009).

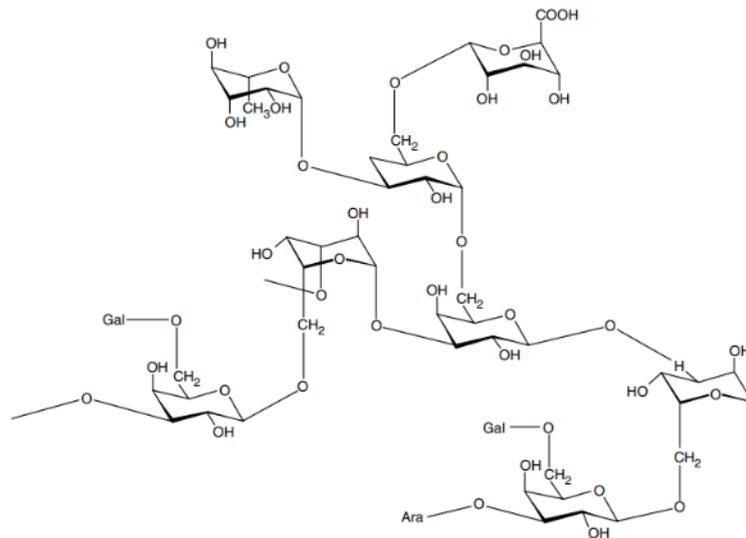
### 2.3.1 Goma Arábica

A goma arábica (ou goma acácia) é um exsudado da seiva da árvore do gênero Acácia, com várias espécies distribuídas nas regiões de clima tropical e subtropical. Existem muitas

espécies (mais de 700), porém poucas são capazes para prover a quantidade de goma requerida para a necessidade industrial (25.000 a 30.000 tons/ano) (Anandharamakrishnan e Ishwarya, 2015).

A goma arábica (GA) é um polímero altamente ramificado e complexo, formado principalmente por unidades de D-galactose, L-arabinose e proporções menores de 4-O-metil-D-glucuronato e L-ramnose (Figura 2.11) em proporções de 4:2:2:1 (RAY *et al.*, 1995; ROMAN-GUERRERO *et al.*, 2009).

Figura 2.11 – Estrutura da Goma Arábica



Fonte: Anandharamakrishnan e Ishwarya (2015)

De acordo com Picton, Bataille e Muller (2000), a goma arábica possui uma “heteropolimolecularidade” que acarreta uma dificuldade de padronização dos diferentes monômeros presentes em sua composição, bem como o tipo de ligação entre as cadeias e a massa molecular. Dessa forma, a estrutura molecular da goma arábica está longe de ser elucidada, apesar das muitas informações a respeito da composição e das propriedades físico-químicas disponíveis na literatura. Além disso, sua padronização torna-se difícil devido às diferenças entre espécies, localização geográfica, processamento pós-colheita e época da colheita (BUFFO, REINECCIUS e OEHLERT, 2001).

Em geral, trata-se de um material praticamente inodoro, insípido, solúvel em água, fracamente ácido e atóxico. Além disso, a GA é estável em uma ampla faixa de pH e sua capacidade de formar filme ao redor das gotas de óleo está bem estabelecido, tornando-o um material de parede efetivo para o encapsulamento de lipídeos.

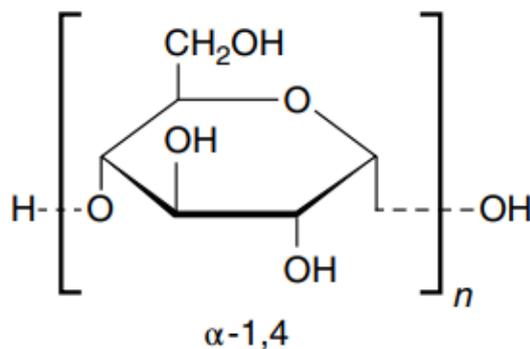
A GA também pode conter 1-2% de proteína. A presença desta pequena quantidade de proteína na goma arábica faz com que esta apresente uma excelente capacidade emulsificante, que é uma característica importante que a diferencia de outros polissacarídeos, como por exemplo, as maltodextrinas. Além disso, a goma arábica é a única entre as gomas alimentícias que apresenta alta solubilidade e baixa viscosidade em solução, o que facilita o processo de atomização (ROSENBERG, KOPELMAN e TALMON, 1990).

Apesar de todos os seus méritos, a goma arábica, sendo derivada de fonte natural, é propensa a variabilidade em oferta e qualidade, e é caro, impactando assim nos custos do processo. Todas essas razões levam à necessidade de procurar materiais de suporte alternativos que também possam oferecer as características desejáveis que a GA oferece.

### 2.3.2 Maltodextrina

A maltodextrina (MA) é obtida a partir da hidrólise parcial do amido por ação enzimática ou por reações ácido catalisadas (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007). Sua estrutura é composta por múltiplas unidades de  $\alpha$ -D-glicose ligadas por 1 $\rightarrow$ 4 ligações glicosídicas. O número de unidades de glicose ( $n$ , conforme mostrado na Figura 2.12) é uma variável que decide sua dextrose equivalente (DE), que é uma medida do grau de hidrólise de um polímero ao seu monômero de unidade constituinte, peso molecular (MW) e temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ).

Figura 2.12 – Estrutura da Maltodextrina



$$2 < n < 20$$

Fonte: Tonon (2009)

Um valor mais alto de DE, significa um valor menor de  $n$  e peso molecular e, portanto, uma  $T_g$  mais baixa (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Relação entre DE,MM e Tg da Maltodextrina

Dextrose equivalente (DE)	Massa Molecular (MM)	Tg (° C)
36	500	100
25	720	121
20	900	141
10	1800	160
5	3600	188

Fonte: Anandharamakrishnan eIshwarya (2015)

As maltodextrinas sendo produtos hidrolisados de amido, consistem em uma mistura de sacarídeos,principalmente D-glicose, maltose e uma série de oligossacarídeos e polissacarídeos(CHRONAKIS, 1998). Dessa forma, as maltodextrinas apresentam uma ampla distribuição de massa molecular entre polissacarídeos e oligossacarídeos e estão disponíveis comercialmente, na forma de um pó branco ou de soluções concentradas. Ao contrário de amidos naturais, são solúveis em água fria.

A MA é o agente carreador mais utilizado em processos de secagem para a obtenção de produtos pulverizados. Além de custo menos elevado que a goma arábica (GA)(SINGH e DIXIT, 2014), é sabor neutro e baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos(FERNANDES; BORGES; BOTREL,2014), mesmo se utilizada em conjunto, ou não, o produto gerado apresenta baixa higroscopicidade(TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

Na indústria de alimentos, as maltodextrinas são utilizadas nas mais variadas formas: para atribuir consistência e textura sem mascarar sabores; para controlar doçura, higroscopicidade, osmolaridade e ponto de congelamento; para prevenir cristalização e escurecimento não enzimático; para compor o material de suporte na secagem por atomização e para formar substituintes de gordura e filmes comestíveis(TONON, 2009).

### 2.3.3 Amido modificado

O amido é a principal substância de reserva nas plantas superiores, presentes em sementes, raízes, tubérculos, cereais e frutas, e fornece de 70 a 80 % das calorias consumidas pelo homem. A matéria-prima é disponível em quantidades suficientes, e os processos industriais permitem que o amido seja extraído com elevada pureza, sendo também uma matéria-prima renovável e não tóxica (VLIEGENTHART *et al.*, 2000). Em razão das suas propriedades físico-químicas e funcionais exclusivas, este carboidrato tem grande importância nos mais diversos setores industriais (FRANCO *et al.*, 2001).

A composição do amido é apenas de carboidratos. No entanto, o produto apresenta outras substâncias, tais como lipídeos, proteínas e cinzas, que são originárias da própria planta. A composição do amido influencia diretamente suas propriedades funcionais. Devido as diferenças estruturais dos diversos tipos de amidos, não se pode generalizar nada sobre as propriedades e o comportamento dos amidos de diferentes fontes botânicas.

O amido processado, industrialmente, pode ser modificado por via química, enzimática e física ou combinações entre elas. A produção de amido modificado (AM) é uma alternativa que vem sendo utilizada com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos e, assim, promover o aumento da utilidade deste polímero em aplicações industriais (APLEVICZ e DEMIATE, 2007; LACERDA, *et al.*, 2008), podendo com isso aumentar sua valorização. Os amidos modificados têm ampla aplicação em diversos setores, como indústria têxtil, papel e alimentícia.

As modificações químicas têm sido muito aplicadas na indústria. Existem diversos tipos de modificação química de amido, tais como modificação por ligações cruzadas, hidrólise ácida, hidrólise ácida em álcool, oxidação, substituição e acetilação (ZHU, 2015). A modificação física do amido tem sido relacionada com o emergente conceito de “tecnologia verde” para aplicações ambientalmente amigáveis. Estas modificações não empregam reagentes químicos ou enzimas, além de apresentarem menores custos, quando comparados aos métodos químicos e enzimáticos. Portanto, torna-se mais atraente, especialmente no contexto de que registrar qualquer novo amido modificado química ou geneticamente para aplicações alimentos é muito difícil (HOOVER, 2010).

#### **2.3.4 Colágeno Hidrolisado**

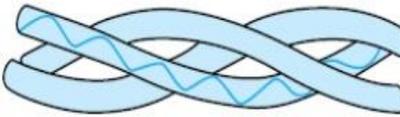
Proteínas são as macromoléculas mais abundantes nas células humanas, constituindo mais de 50 % de sua massa seca. Proteína mais abundante dos mamíferos, o colágeno é encontrado em quase todos os órgãos do corpo humano, constituindo mais de um quarto de sua massa proteica, tendo função relacionada com a flexibilidade e a resistência do tecido conjuntivo e epitelial, bem como no fortalecimento do tecido ósseo (LEHNINGER, 1973).

O Colágeno hidrolisado (CH) é um importante suplemento alimentar normalmente consumido na forma de cápsulas ou pós com o intuito de estimular a síntese de colágeno corpórea, promover a saúde e auxiliar na estética. Sua estrutura terciária mantém uma hélice tripla (estrutura semelhante a utilizada em cabos de aço de pontes suspensas) que lhe confere tamanha resistência (MURRAY e KEELEY, 2003), conforme apresenta a Figura 2.13.

Figura 2.13 Estrutura primária, secundária e terciária do colágeno.

Estrutura primária – Gly – X – Y – Gly – X – Y – Gly – X – Y –

Estrutura secundária 

Estrutura terciária 

Fonte: Rodwell e Kennelly (2003).

A hidrólise do colágeno pode ser feita utilizando métodos químicos (CABRA, 2007) ou enzimáticos (DEXTER, 2008). O método químico é empregado na produção de gelatina, enquanto o enzimático dá origem a produtos com propriedades bem definidas como o CH, livre de solventes orgânicos residuais ou produtos químicos tóxicos (CHI *et al.*, 2014) sendo empregado de forma crescente nas indústrias farmacêuticas e de alimentos (KEZWON *et al.*, 2015).

O consumo de colágeno torna-se atrativo quando na forma hidrolisada (CH), devido à maior absorção. O colágeno hidrolisado, produto da hidrólise enzimática do colágeno, consiste em um conjunto de aminoácidos e peptídeos bioativos de fácil absorção e distribuição para a corrente sanguínea e os demais tecidos do corpo (WALRAND *et al.*, 2008).

No Brasil, o colágeno hidrolisado é comercializado como suplemento alimentar, normalmente em forma de cápsulas ou pós, com o intuito de estimular a síntese das fibras da matriz de colágeno corpórea e promover a elasticidade da pele (PROKSCH *et al.*, 2014). O CH pode ser consumido em longo prazo, visto o elevado nível de segurança, fácil absorção e distribuição para a corrente sanguínea e os demais tecidos do corpo (MOSKOWITZ, 2000; WALRAND *et al.*, 2008). A sua inocuidade à saúde humana é atestada pelo status de GRAS (generally recognized as safe), concedido pela U. S. *Food and Drug Administration* (FDA) (MOSKOWITZ, 2000).

Apesar de diferentes proteínas já serem utilizadas como agentes carreadores nos processos de secagem de polpa de frutas (caseína, albumina, proteína do leite, entre outros), a utilização de colágeno hidrolisado pode ser considerada recente, quando comparado com outros agentes carreadores já pré-estabelecidos como bons adjuvantes de secagem.

Butzger (2016) utilizou colágeno hidrolisado como coadjuvante na secagem de uva e manga em leito de jorro e em *spray dryer*, obtendo bons resultados de rendimento e boa preservação de compostos bioativos. Vargas-Muñoz e Kurozawa (2020) na secagem de polpa de cocona em *spray dryer* avaliaram a utilização de colágeno hidrolisado e maltodextrina. Os resultados mostraram que a utilização do colágeno foi mais eficiente do que a maltodextrina, com recuperação de sólidos de aproximadamente 96%.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DOS ALIMENTOS EM PÓ

Produtos desidratados em pó apresentam uma extensa aplicação em diversas formulações alimentícias. Os pós alimentícios possuem vantagens de serem mais facilmente armazenados e transportados, estão sujeitos a menos danos térmicos, e têm maior vida de prateleira do que os materiais úmidos (XU; PEGG; KERR, 2015). Quando se trata de produtos pulverizados utilizados na indústria alimentícia, as principais propriedades físicas avaliadas são: forma da partícula, densidade, solubilidade, porosidade, características superficiais, dureza, pegajosidade, fluidez, morfologia, cor e diâmetro médio das partículas, já para propriedades químicas leva-se em consideração a composição do alimento e suas interações com outras substâncias, como solventes (água) ou outros componentes do meio (BARBOSA-CÁNOVAS e JULIANO, 2005).

A solubilidade em água é uma das principais características físicas dos produtos pulverizados em pó. A capacidade de dissolução dos pós alimentícios em água é determinante para a reconstituição do material, bem como na formulação de produtos instantâneos (TONON, 2009). Por sua vez, a fluidez é uma das propriedades que impacta o transporte e escoamento dos produtos pulverizados. Pós com baixa fluidez, ou muito coesos, dificultam a escoabilidade do material e o armazenamento (ZAFAR *et al.*, 2017). A morfologia dos alimentos em pó permite avaliar aspectos texturais e de desenvolvimento da partícula. Além disso, determinados processos de secagem apresentam características morfológicas peculiares, facilitando assim a sua identificação.

A cor é uma propriedade que deve ser preservada nos alimentos pulverizados. A manutenção da coloração original do alimento antes da secagem é um dos indícios sensoriais de qualidade e de processamento (QUEK *et al.*, 2007). Como a cor envolve percepção e subjetividade de interpretação, as propriedades de cor dos alimentos em pó geralmente são avaliadas por meio do espaço de cor CIELAB. Por meio desse sistema, a cor é expressa de

forma objetiva através de números, evitando problemas de subjetividade e garantindo que o produto esteja de acordo com as especificações.

Com relação a higroscopicidade e umidade, produtos alimentares em pó com baixa higroscopicidade e umidade são desejáveis pela indústria de alimentos. Alta higroscopicidade significa maior tendência em adsorver água e causar pegajosidade. Umidade e higroscopicidade estão intimamente ligadas a estabilidade química e microbiológica do produto e são parâmetros importantes de qualidade no armazenamento (TONON, 2009).

As propriedades bioativas também são importantes características que os alimentos em pó devem possuir. Não é suficiente obter somente boas propriedades físicas dos pós produzidos. É necessário avaliar e acompanhar os aspectos nutracêuticos, bem como quantificar os compostos presentes nos alimentos que podem proporcionar potenciais benefícios para a saúde. Em geral, como esses constituintes são termosensíveis, é ainda mais importante o seu acompanhamento nos processos de secagem (FERREYRA et al., 2023).

A elucidação da estrutura química é um importante parâmetro que os alimentos em pó devem ter bem definidos. A identificação pode ser realizada por meio de espectroscopia na região do infravermelho, o que permite identificar as principais classes químicas através das bandas de absorção. Além disso, a presença de contaminantes em alimentos também pode ser observada através da aplicação dessa técnica (SAMYOR *et al.*, 2018).

Uma combinação de parâmetros físicos e químicos definem as características ideais que produtos alimentares em pó devem possuir. De acordo com o método de obtenção dessas partículas, a concentração e os tipos de agentes carreadores utilizados, uma ou outra característica pode ser utilizada como norteadora do processo produtivo, e outros parâmetros podem ser tornar subsidiários, ou até mesmo ter valores minorados. A Tabela 2.6 apresenta as principais características avaliadas em produtos alimentares em pó.

Tabela 2.6 – Propriedades avaliadas em produtos alimentares em pó

<b>Produto em pó</b>	<b>Propriedades avaliadas</b>	<b>Autor</b>
Açaí roxo	Umidade, atividade de água, higroscopicidade, distribuição de partículas, morfologia da partícula, fenólicos totais e atividade antioxidante	Tonon <i>et al.</i> (2009)
Mistura amora-leite	Umidade, atividade de água, densidade bulk, solubilidade, higroscopicidade, granulometria, morfologia da partícula, antocianinas	Braga, Rocha e Hubinger (2018)
Bacaba	Umidade, solubilidade, fluidez, morfologia da partícula, composição centesimal, antocianinas e fenólicos totais	Nascimento <i>et al.</i> (2019)

Melão	Umidade, atividade de água, higroscopicidade, cor, carotenoides totais, fenólicos totais, flavonoides totais	Tan <i>et al.</i> (2020)
Batata doce	Solubilidade, higroscopicidade, $\beta$ -caroteno, morfologia da partícula e cristalinidade	Arebo <i>et al.</i> (2023)
Laranja	Higroscopicidade, atividade de água, temperatura de transição vítrea, cor, fenólicos totais, atividade antioxidante, vitamina C, morfologia da partícula e propriedades mecânicas	Pacheco <i>et al.</i> (2020)
Manga	Umidade, atividade de água, higroscopicidade, carotenoides totais, granulometria, densidade, porosidade, cor e temperatura de transição vítrea	Zotarelli <i>et al.</i> (2017)
Mistura acerola-seriguela	Umidade, atividade de água, ácido ascórbico, carotenoides totais, fenólicos totais, atividade antioxidante, estabilidade térmica e morfologia das partículas,	Nascimento Filho <i>et al.</i> (2022)
Leite de camelo	Cor, densidade, solubilidade, estabilidade, índice de emulsificação, proteína, estrutura química, granulometria,	Deshwal <i>et al.</i> (2020)

## 2.5 – DELINEAMENTO EM BLOCOS CASUALIZADOS

A estatística adquiriu um status de ciência, com aplicações em diversas áreas, tendo por objetivo: planejar experimentos, descrever e analisar suas respostas, extraindo o máximo possível de informações. Um experimento é um procedimento planejado com base em uma hipótese, que tem por objetivo provocar fenômenos (tratamentos) de forma controlada, analisando e interpretando os resultados obtidos. O tratamento é o método, elemento ou material cujo efeito dele desejamos avaliar em um experimento. Por exemplo: temperatura, concentração, diferentes materiais, vazão, entre outros (MONTGOMERY, RUNGER, HUBELE, 2009).

Os princípios básicos da experimentação são: Repetição, Casualização e Controle Local. O princípio da repetição refere-se à aplicação do mesmo tratamento sobre duas ou mais unidades experimentais, e o princípio da casualização é a alocação dos tratamentos aleatoriamente sobre as unidades experimentais, isto é, sorteando qual a unidade experimental receberá cada tratamento e cada repetição (FERREIRA, 2018).

A maneira de se proceder a casualização resulta no terceiro princípio, denominado controle local ou restrição à casualização. As repetições são necessárias para estimar o erro experimental e para avaliar, de forma mais precisa, o efeito de cada tratamento, ou seja, para

estimar a variabilidade e conferir precisão ao valor estimado. Erro experimental é a variância entre os valores observados nas unidades experimentais que receberam o mesmo tratamento (FERREIRA, 2018).

A casualização é usada para obter a independência dos erros, que é uma exigência desejável nos modelos matemáticos usados pela estatística na interpretação dos resultados obtidos nos experimentos, e deve ser satisfeita para se fazer certas inferências estatísticas sobre o comportamento dos tratamentos com base nos dados obtidos. A casualização no geral leva à obtenção de estimativas imparciais das médias dos tratamentos e à independência do erro experimental (MONTGOMERY, 2017).

Quando tiver heterogeneidade no material experimental: temperaturas diferentes, concentrações diferentes, diferentes materiais, deve-se separar o material em grupos homogêneos e aplicar o tratamento uma vez dentro de cada grupo (blocos). A homogeneidade ou não do material dá origem aos tipos de delineamentos:

- Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC): material experimental homogêneo;
- Delineamento Blocos Casualizados (DBC): material experimental com uma fonte de heterogeneidade;
- Delineamento Quadrado Latino (DQL): material experimental com duas fontes de heterogeneidade.

Nesse contexto, o delineamento em blocos casualizados (DBC) pode ser utilizado quando as condições locais não são homogêneas e podem ter efeito significativo sobre os tratamentos (MONTGOMERY, RUNGER, HUBELE, 2009). O modelo estatístico deste delineamento está apresentando na Equação 2.1, em que:  $Y_{ij}$  é o valor observado da característica estudada, no tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) e no bloco  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ );  $m$  é a média geral (de todas as observações) do experimento;  $b_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo bloco;  $t_i$  corresponde ao efeito do  $i$ -ésimo tratamento e  $e_{ij}$  é o erro associado à observação  $Y_{ij}$  ou efeito dos fatores sobre ela.

$$Y_{ij} = m + b_j + t_i + e_{ij} \quad (2.1)$$

Com o seguinte banco de dados é possível realizar a análise de variância (ANOVA) e testar hipóteses sobre os tratamentos e blocos, se eles têm efeito estatisticamente significativo sobre as médias das respostas analisadas, ou seja, se promovem médias iguais ou diferentes, quando comparadas duas a duas. A Hipótese nula ( $H_0$ ) e Hipótese alternativa ( $H_a$ ) para os tratamentos, são:

- $H_0$ : Os tratamentos não afetam as médias, têm os mesmos efeitos, ou seja,  $t_1 = t_2 = \dots = t_i$ .
- $H_a$ : Pelo menos uma das médias é diferente das demais.

A Hipótese nula ( $H_0$ ) e Hipótese alternativa ( $H_a$ ) para os blocos, são:

- $H_0$ : Os blocos não afetam as médias, têm os mesmos efeitos, ou seja,  $b_1 = b_2 = \dots = b_j$ .
- $H_a$ : Pelo menos uma das médias é diferente das demais.

A representação literal da Análise de Variância, ou ANOVA, para o DBC é apresentada na Tabela 2.7

Tabela 2.7 – ANOVA para o DBC

Causas de Variação	GL	SQ	MQ	F	p
Tratamentos	k-1	SQTr	MQTr	MQTr/MQR	p1
Blocos	r-1	SQB	MQB	MQB/MQR	p2
Resíduo	(k-1)(r-1)	SQR	MQR		
Total	kr-1	SQT			

GL: Graus de liberdade, SQ:Soma dos quadrados, MQ: Média dos quadrados, F: Estatística F (Fisher-Snedecor); p: probabilidade de significância; kr (número de observações = k x r); k: número de tratamentos utilizados; r: número de blocos utilizados.

Os pressupostos básicos que devemos admitir para tornar válida a aplicação da ANOVA são: independência dos resíduos, homogeneidade de variâncias (homoscedasticidade) e normalidade dos resíduos (MONTGOMERY, 2017). Assim, uma ANOVA só deve ser aplicada a um conjunto de observações se estiverem satisfeitas tais pressuposições. Na prática dificilmente todas essas suposições são satisfeitas. Dessa forma torna-se importante saber que:

- a) Independência: os erros ou desvios  $e_{ij}$ , provenientes dos efeitos dos fatores, devem ser independentes. A não-independência, isto é, a correlação entre as observações é o problema mais grave. Pode comprometer as inferências sobre as médias, ou seja, as conclusões obtidas da análise de variância e dos testes de comparação de médias.
- b) Homocedasticidade ou Homogeneidade de Variâncias: os erros ou desvios  $e_{ij}$ , provenientes dos efeitos dos fatores, devem possuir uma variância praticamente comum  $\sigma^2$ . A não obediência a esse pressuposto tem usualmente efeito apenas moderado nas inferências sobre as médias, desde que o número de repetições seja constante.

- c) Normalidade: os erros ou desvios  $e_{ij}$ , provenientes dos efeitos dos fatores, devem possuir distribuição de probabilidades normal ou aproximadamente normal. A não-normalidade tem usualmente pouco efeito nas inferências sobre as médias.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesse capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados na realização dos experimentos desenvolvidos neste trabalho. A liofilização da polpa de açaí branco e a secagem em leito de jorro foram realizadas, respectivamente, no Laboratório de Secagem da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) e no Laboratório de Engenharia de Produtos Naturais (LEPRON) da Faculdade de Engenharia Química (FEQ), ambas na Universidade Federal do Pará (UFPA).

As caracterizações físicas, químicas e de compostos bioativos realizadas no açaí branco em pó foram efetuadas no Laboratório de Corantes (LABCOR) da FEQ/UFPA. As análises morfológicas e de estrutura química foram realizadas, respectivamente, no Laboratório de Física Experimental e Computacional do Programa de Pós-graduação em Física (PPGF/UFPA) e no Laboratório de Caracterização Mineral do Instituto de Geociência (IG/UFPA).

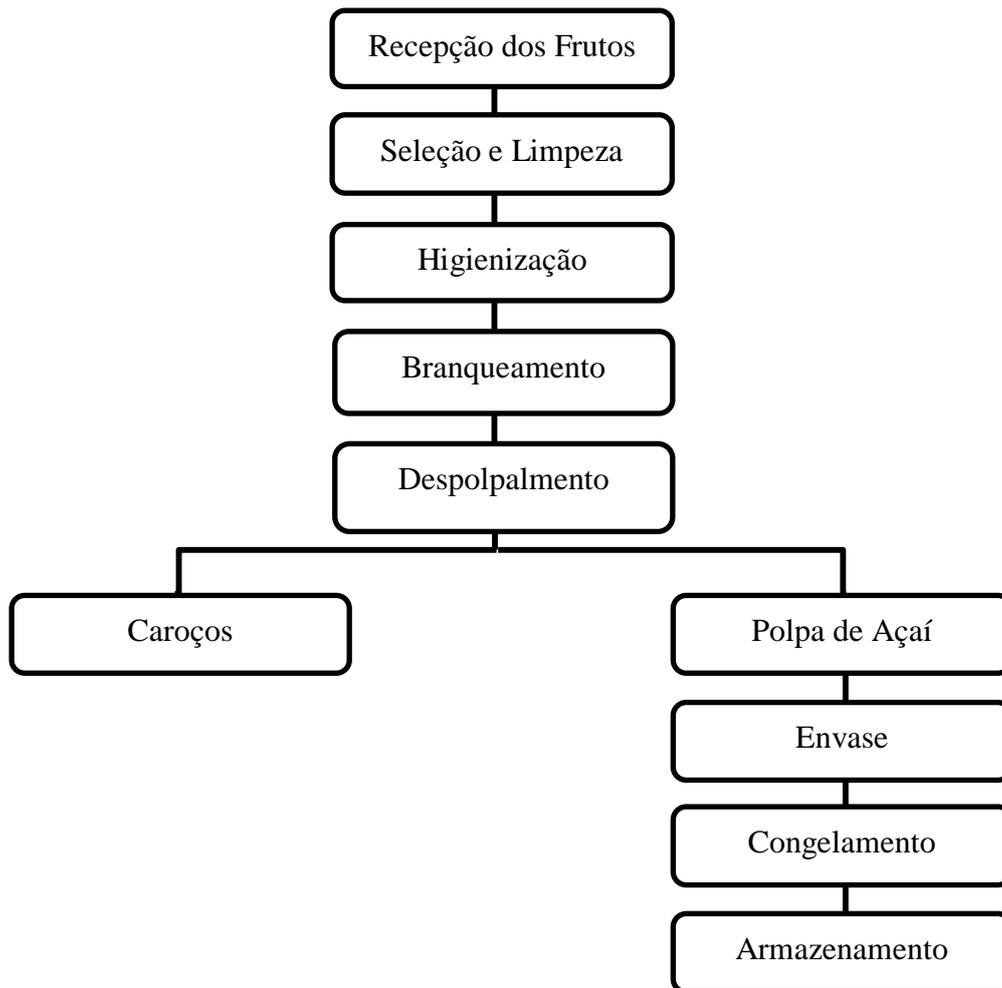
#### **3.1 MATERIAL**

##### **3.1.1 Matéria-prima**

A polpa de açaí branco foi obtida comercialmente em uma empresa denominada “Açaí Iaçá”, localizada em Belém-PA. Os frutos de açaí utilizados são provenientes do município do Acará, localizado no estado do Pará. Todo processamento da polpa deu-se de acordo com as normas higiênico-sanitárias previstas em decreto estadual nº 326 (PARÁ, 2012) e da portaria nº 58 do ministério da agricultura (BRASIL, 2016), para obtenção de polpa de açaí com teor de sólidos acima de 17% (classificação tipo grosso ou especial)

Após o envase, efetuou-se o transporte das polpas em caixas de isopor para o Laboratório de Corantes (LABCOR) presente na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará (FEQ/UFPA). O tempo médio de transporte foi de aproximadamente 20 min. No laboratório, as polpas de açaí branco foram acondicionadas em freezer a uma temperatura de -18 °C, sendo posteriormente descongeladas de acordo com os eventuais procedimentos. O fluxograma de todo esse processo pode ser observado na Figura 3.1

Figura 3.1 – Fluxograma de produção do açaí branco



### 3.1.2 Agentes carreadores

Os agentes carreadores utilizados neste estudo foram o Amido fisicamente modificado Pangel (AM) (Horizontes Amidos, Paraná, Brasil), Goma Arábica (GA) (Êxodo Científica, São Paulo, Brazil), Maltodextrina DE10(MA) (Ingredion Brasil Ingredientes Industriais Ltda., São Paulo, Brazil) e Colágeno Hidrolisado Colflex® (CH) (Mantercorp Farmasa, São Paulo, Brasil). Todos esses adjuvantes foram utilizados nos processos de secagem por liofilização e em leito de jorro.

### 3.1.3 Material Inerte

Na secagem em leito de jorro, Polietileno de Alta Densidade (PEAD – Distribuidor Polibalbino Termoplástico, São Paulo, Brasil) foi utilizado como material de suporte para a realização da secagem. Diversos estudos na literatura reportam a sua utilização na secagem em

leito de jorro, principalmente na secagem de polpa de frutas com alto teor de lipídeos, como o açaí (COSTA *et al.*, 2015) e a bacaba (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

### 3.1.4 Reagentes

O radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), o reagente Folin-Ciocalteu e os padrões de Ácido gálico (3,4,5-Ácido Trihidroxibenzoico) e Trolox [Ácido(±)-6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchromano-2-carboxílico] foram adquiridos junto a empresa Sigma Aldrich (Missouri, Estados Unidos). Etanol(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O), Carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Cloreto de sódio (NaCl) e Ácido clorídrico (HCl), todos em grau P.A foram adquiridos junto a empresa Dinâmica® (São Paulo, Brasil).

## 3.2 EQUIPAMENTOS

### 3.2.1 Liofilizador

O equipamento utilizado no estudo da secagem da polpa de açaí branco foi o Liofilizador de bancada LS6000 (TERRONI EC, São Paulo, Brasil), confeccionado 100% em aço inox AISI 304 (American Iron and Steel Institute), com polimento sanitário espelhado conforme apresenta a Figura 3.2. O liofilizador é composto por uma câmara de secagem e uma estante porta-bandeja de aço inoxidável com interespaço ajustável. Acoplado ao liofilizador opera uma bomba de vácuo de duplo estágio tipo direct-drive, permitindo o alcance de até 10µmHg.

Figura 3.2 – Liofilizador de bancada LS6000

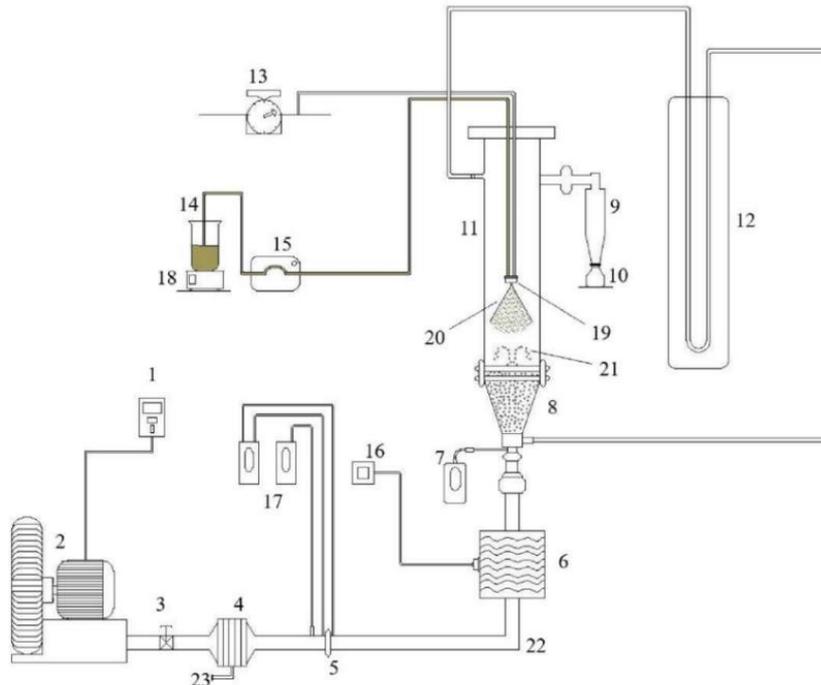


Fonte: Monteiro (2011)

### 3.2.2 Leito de Jorro Convencional

O equipamento consiste em um leito de jorro convencional com geometria cônico-cilíndrica, cujo esquema experimental é apresentado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Esquema experimental do leito de jorro convencional.



Fonte: Nascimento *et al.* (2019)

Um soprador centrífugo (2), com rotação controlada por um inversor de frequência (1), fornece o fluxo de ar necessário para a movimentação das partículas no leito de jorro. O ar é aquecido através de um aquecedor elétrico (6) que contém resistências em série, e o arrefecimento é feito por meio de um trocador de calor (4), tendo como líquido refrigerante água de abastecimento (23) à temperatura ambiente.

A temperatura do ar é regulada por um controlador PID (16) e constantemente verificada com um termômetro digital (7) antes que o ar, em regime ascendente, adentre a base cônica do leito (8) e inicie o processo de jorro. A medida de pressão estática e a diferença de pressão na placa de orifício (5) são obtidas por meio de manômetros digitais (17). Por sua vez, a medida de pressão no leito é realizada através de manômetro diferencial de tubo, em forma de U (12), utilizando-se água como fluido manométrico.

A base cônica do leito é de 0,15 m de altura, ângulo de 60° e diâmetro de entrada do ar de 0,0254 m. A coluna cilíndrica (11), confeccionada em acrílico, possui 0,8 m de altura e

diâmetro interno de 0,16 m permitindo a visualização do movimento das partículas (21) durante o processo.

A alimentação da suspensão (15) é realizada por uma bomba peristáltica (14) e a atomização é feita através de um bico atomizador de duplo fluido (19), com um compressor(13) fornecendo o ar comprimido. Acoplado ao corpo cilíndrico, apresenta-se um ciclone, do tipo Lapple (9), construído de resina acrílica com 5 mm de espessura que promove a separação e o recolhimento do produto sólido (10).

### 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE SECAGEM

#### 3.3.1 Preparação das amostras

Antes de cada experimento, a polpa de açaí branco foi descongelada e diluída com água destilada na proporção de 2:1 (v/v). O teor de sólidos caiu de 17% para 10,30%, após a diluição. Após essa etapa, os diferentes agentes carreadores foram adicionados na sua vez, na proporção de 10, 20 e 30% (v/v) em relação aos sólidos totais da polpa diluída.(COSTA et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2019). A Tabela 3.1 apresenta as quantidades utilizadas em cada formulação

Tabela 3.1 – Formulação das pastas de AB com agentes carreadores

<b>Quantidades presentes</b>	<b>Pastas</b>		
	<b>AB10</b>	<b>AB20</b>	<b>AB30</b>
Quantidade de polpa diluída (g)	100 g	100 g	100 g
Massa de sólidos da polpa diluída (g)	10,3 g	10,3 g	10,3 g
Quantidade de agente carreador adicionado (g)	1,03 g	2,06 g	3,09 g
Massa total da pasta (g)	101,03 g	102,06 g	103,09g

As pastas formadas foram misturadas em agitador magnético (Fisaton, São Paulo, Brasil) durante 5 min a fim de uniformizar as pastas, evitar a decantação dos sólidos, evitar entupimento do bico atomizador do leito de jorro e facilitar o processo de liofilização. As pastas de AB foram nomeadas como AB-AM10, AB-AM20, AB-AM30, AB-GA10, AB-GA20, AB-GA30, AB-MA10, AB-MA20, AB-MA30, AB-CH10, AB-CH20 e AB-CH30 de acordo com proporção dos agentes carreadores (AM10, AM20 e AM30 – 10, 20 e 30% de Amido modificado; GA10, GA20 e GA30 – 10, 20 e 30% de Goma arábica; MA10, MA20 e MA30 – 10, 20 e 30% de Maltodextrina; e CH10, CH20 e CH30 – 10, 20 e 30% de Colágeno Hidrolisado) utilizadas de acordo com a necessidade de cada experimento.

### 3.3.2 Liofilização

Antes do processo de liofilização, as amostras foram congeladas a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 48h em freezer convencional, a fim de que toda água presente na polpa estivesse na fase sólida. As pastas foram dispostas em recipiente de polietileno, com altura total preenchida de aproximadamente 3 cm após o congelamento. Em seguida, as pastas foram transferidas para o liofilizador de bancada e submetidas ao processo de secagem a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e pressão de aproximadamente  $-13,3\text{ N/m}^2$ , durante 48h. Após o processo de secagem as amostras foram acondicionadas em dessecador de vidro com sílica gel e utilizadas posteriormente nos ensaios de caracterização.

### 3.3.3 Secagem em leito de Jorro

Para o melhor entendimento do procedimento experimental, a secagem em leito de jorro, pode ser dividida em duas etapas: o estudo fluidodinâmico das partículas inertes e a descrição dos ensaios de secagem.

#### 3.3.3.1 O Estudo fluidodinâmico

O estudo fluidodinâmico é uma etapa essencial na secagem de pastas e suspensões em leito de jorro, principalmente porque o desempenho do processo depende da estabilidade do leito que será garantida com a obtenção dos parâmetros operacionais como velocidade de jorro mínimo ( $V_{jm}$ ), queda de pressão estável ( $\Delta P_s$ ), e queda de pressão máxima ( $\Delta P_m$ ).

Considerando que no trabalho desenvolvido por Nascimento *et al.* (2019), para a secagem de polpa de bacaba, o mesmo secador de leito de jorro foi utilizado e que boas condições fluidodinâmicas foram apresentadas, optou-se por manter a quantidade de PEAD utilizado em cada ensaio (1,0 kg) e a temperatura ideal de operação em  $\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Para a determinação da  $V_{jm}$  foi necessário obter a curva fluidodinâmica característica do leito de jorro, segundo a metodologia descrita por Mathur e Epstein (1974), conforme procedimento apresentado:

- 1) As partículas de PEAD são introduzidas no leito de jorro e é medido a altura do leito fixo de partículas
- 2) O sistema é ligado para acionar o soprador de ar e para controlar a temperatura do ar utilizada na secagem.

3) A vazão de ar é aumentada gradativamente, passando pelas regiões fluidodinâmicas de jorro até uma condição totalmente instável, e em cada aumento de vazão, é medidoas variações de pressões correspondentes.

4) A vazão de ar é reduzida gradativamente até o zero e as respectivas variações de pressão são obtidas.

A vazão mássica de ar foi determinada a partir da expressão desenvolvida por Ower e Pankhrust(1977) segundo a Equação 3.1.

$$W_{ar} = 2,0196 \left[ \frac{\Delta P_{PO}}{273 + T_{ar}} \right] - 0,6388 \left[ \frac{\Delta P_{PO}^{3/2}}{(P_{est} + 760)(273 + T_{ar})^{1/2}} \right] \quad (3.1)$$

Onde:

$W_{ar}$ : Vazão mássica (kg/min)

$T_{ar}$ : temperatura do ar na entrada do orifício (°C)

$\Delta P_{PO}$ : Queda de pressão na placa de orifício (cmH<sub>2</sub>O)

$P_{est}$  : Pressão estática a montante da placa de orifício (cmH<sub>2</sub>O)

De posse dos valores de vazão mássica foi calculada a velocidade do ar de secagem, e os gráficos de queda de pressão *versus* velocidade do ar de secagem foram obtidos para vazões crescentes e decrescentes. A determinação da  $V_{jm}$  foi realizada através da curva decrescente Pressão (Pa) *versus* Velocidade do ar (m/s).

Uma vez que a aspersão da polpa de açaí branco durante o processo de secagem exerce uma pressão natural sobre as partículas que estão em regime de jorro, a  $V_{jm}$  obtida foi multiplicada por 1,3, a fim de se obter um processo de leito de jorro estável, onde o leito não entre em colapso e o regime de jorro não desapareça durante os ensaios de secagem das pastas.

### 3.3.3.2 Ensaios de secagem em leito de jorro

Os ensaios de secagem seguiram o seguinte procedimento: 1) o leito de jorro foi preenchido com a carga de partícula inerte pré-fixada anteriormente; 2) ligou-se o sistema para acionar o soprador e o controle da temperatura, ajustando a vazão do ar de entrada ao valor determinado na análise fluidodinâmica, e a temperatura do ar ao valor pré-fixado; 3) aguardou-se o sistema ar-inerte entrar em equilíbrio; 4) O transporte da pasta até o bico atomizador foi realizado com o auxílio de uma bomba peristáltica; 5) procedeu-se na vazão determinada, a

atomização da pasta; 5) concluída a alimentação da pasta, coletou-se o material seco na forma de pó na saída no ciclone.

A massa total de pasta utilizada em cada ensaio está descrita na Tabela 3.1, a uma vazão de 5,5 mL/min. A atomização foi realizada a uma pressão de 10 psi através de um bico atomizador de duplo fluido, localizado a aproximadamente 16 cm do leito fixo. Durante os experimentos de secagem a pasta foi mantida em agitação utilizando um agitador magnético e sua alimentação no leito foi feita de forma intermitente. Após o término da alimentação mantinha-se o sistema experimental ligado por aproximadamente 15 min. para um máximo recolhimento de pó obtido. Todas essas condições experimentais foram baseadas em trabalhos da literatura e nas características próprias do leito de jorro (NASCIMENTO, 2018; ANDRADE, 2016; SILVA, 2016; NASCIMENTO, 2014).

### 3.3.5 Eficiência da liofilização e da secagem em leito de jorro

Os processos de liofilização e secagem em leito de jorro foram avaliados quanto ao rendimento do pó produzido (R%) e teor de umidade final do produto ( $U_{pó}$ ), obtido logo após os processos de secagem.

O R%, definido na Equação 3.2, relaciona a massa de pó em base seca recolhida no ciclone do leito de jorro ou após o processo de liofilização [ $m_{pó}(1 - U_{pó})$ ] e a massa de sólido alimentada na liofilização e na secagem em leito de jorro [ $m_{pasta}(1 - U_{pasta})$ ].

$$R\% = 100 \times \frac{m_{pó}(1 - U_{pó})}{m_{pasta}(1 - U_{pasta})} \quad (3.2)$$

A determinação da umidade do ( $U_{pó}$ ) e das pastas ( $U_{pasta}$ ) foi realizada pelo método gravimétrico com o auxílio de uma estufa com circulação de ar forçada Quimis modelo Q314M222 (São Paulo, Brasil) e o teor de sólido seco foi obtido a 105 °C por 24h.

## 3.4 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA E DO PÓ DE AÇAÍ BRANCO

### 3.4.1 Composição centesimal da polpa de açaí branco

A composição centesimal da polpa de açaí branco foi realizada no Laboratório de Engenharia dos Produtos Naturais da Amazônia (LEPRON/FEQ). As análises realizadas foram: pH, umidade, cinzas, proteínas, fibra alimentar total (método enzimático-gravimétrico), lipídios totais e proteínas totais (utilizando-se de 6,25 como fator de conversão nitrogênio-proteína) segundo a AOAC (1997). O conteúdo de carboidratos totais foi obtido pela diferença de cem e a soma do conteúdo de umidade, cinzas, lipídeos totais e proteínas, conforme a Equação 3.3:

$$\text{Carb. (\%)} = 100 - (\% \text{Umidade} + \% \text{Proteínas} + \% \text{Lipídeos} + \% \text{Cinzas}) \quad (3.3)$$

O valor energético foi calculado segundo a FAO (2002), multiplicando os valores de proteínas, carboidratos, lipídios por 4, 4 e 9, respectivamente, e em seguida somando-os., segundo apresenta a Equação 3.4:

$$V. \text{ en(kcal/100g)} = (4 \times \text{Carboidratos}) + (4 \times \text{Proteínas}) + (9 \times \text{Lipídeos}) \quad (3.4)$$

### 3.4.2 Caracterização do pó de açaí branco

As pastas AB-AM, AB-GA, AB-MA e AB-CH obtidas em pó, tanto por liofilização quanto em leite de jorro, foram avaliadas quanto aos compostos bioativos (atividade antioxidante e compostos fenólicos totais), Atividade de água, propriedades físicas (higroscopicidade, fluidez, solubilidade e cor), estrutura química (espectroscopia de absorção no infravermelho) e morfologia (microscopia eletrônica de varredura).

#### 3.4.2.1 Fenólicos totais e Atividade antioxidante

Os extratos das amostras em pó foram obtidos segundo a metodologia adaptada de Murillo-Franco, Galvis-Nieto e Orrego (2023). Amostras de AB-AM, AB-GA, AB-MA e AB-CH em pó ( $1.5 \pm 0.05$  g) foram misturadas com 10 mL de uma solução de etanol:HCl:água (93:1:6 v/v/v) e submetidas por 2 h a um banho convencional ultrasonico (Solidsteel, São Paulo, Brasil) com temperatura controlada ( $\sim 20$  °C). Depois da extração, as amostras foram centrifugadas a rotação de 3000 rpm (aproximadamente 2000 força g) em centrífuga Centribio 80-2B (Equipar, Curitiba, Brasil). Os sobrenadantes foram coletados em frascos de vidro, estocados ao abrigo da luz e utilizados na análise de fenólicos totais e atividade antioxidante.

O conteúdo de fenólicos totais (FT) foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu de acordo com a metodologia de Murillo-Franco, Galvis-Nieto e Orrego (2023). Inicialmente 150  $\mu\text{L}$  das amostras, ou do branco (etanol), foram misturados com 2,4 mL de água destilada, 150  $\mu\text{L}$  da solução de Folin-Ciocalteu (1 N) e 300  $\mu\text{L}$  da solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (20%, m/v). As amostras foram submetidas ao abrigo da luz por 2h. O teor de compostos fenólicos totais foi determinado por espectrofotometria UV-vis (UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japão) no comprimento de onda de 765 nm. Uma curva analítica foi construída usando a curva padrão do ácido gálico (0 – 75  $\mu\text{g/mL}$ ) para quantificar o teor de compostos fenólicos totais. Os resultados foram expressos em miligramas equivalentes de ácido gálico por grama de extrato e recalculada em função da amostra em pó (mg EAG/100 g de amostra em pó).

A atividade antioxidante (AAT) das amostras em pó foi avaliada usando o método da inibição do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) conforme metodologia descrita por Alvarez et al. (2019). A mistura reacional foi formada por 150 µL da solução dos extratos, adicionada de 3 mL da solução estoque de DPPH (60 mM preparada em etanol 96%). Na amostra controle os extratos foram substituídos por 150 µL de etanol e para a construção da curva analítica, os extratos foram substituídos por 150 µL de Trolox (160 a 1000 µM). As soluções reagiram por 1 hora no escuro e em seguida, a absorbância foi medida a 517 nm em espectrofotometro UV-vis (UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japão).

A inibição do radical DPPH, tanto para as amostras quanto para o Trolox foi calculada utilizando a Equação 3.5, em que:  $A_s$  é a absorbância da amostra ou do Trolox e  $A_0$  é a absorbância do controle.

$$\text{Inibição (\%)} = \left(1 - \frac{A_s}{A_0}\right) \times 100 \quad (3.5)$$

O equivalente Trolox foi calculado utilizando-se a curva de calibração Trolox ( $Y = -0.0004X + 0.5382$ ). Ao substituir no eixo Y os valores de inibição da amostra, tem-se no eixo X a concentração equivalente Trolox, expressa em µmol ET/g de amostra.

#### 3.4.2.2 Higroscopicidade

Um grama de amostra em pó foi acondicionado em dessecadores hermeticamente fechados a 25 °C, contendo solução saturada de cloreto de sódio (75% de Umidade Relativa). Após 1 semana, a amostra foi pesada e a higroscopicidade foi expressa em gramas de umidade adsorvida por 100 g de sólidos secos (g/100 g) (SUHAG e NANDA, 2015), utilizando a Equação 3.6. Onde,  $M_1$  é a massa da amostra após uma semana,  $U$  é a umidade do pó em base seca (g/100 g),  $M_{amostra}$  é a massa inicial da amostra.

$$\text{Higros(\%)} = \frac{M_{1\text{ semana}} - M_{\text{sólido seco}}}{M_{\text{amostra}} - M_{\text{sólido seco}}} \times U(b.s) \quad (3.6)$$

#### 3.4.2.3 Solubilidade

A solubilidade do açaí branco em pó foi analisada baseando-se no método padrão adaptado para medir a dissolução de alimentos em pó, descrito por Cano-Chauca et al. (2005). O método é baseado na determinação do percentual de material não solubilizado. O experimento consiste na adição de 1 g da amostra em um béquer contendo 100 mL de água destilada, que está sob agitação magnética (Fisaton, São Paulo, Brasil). Após esse período a solução foi

transferida para tubos e centrifugada a 3000 rpm (aproximadamente 2000 força g) durante 5 minutos em centrífuga Centribio 80-2B (Equipar, Curitiba, Brasil).

Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para placas de Petri previamente pesadas e em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada (Quimis, São Paulo, Brasil) a 105 °C por 5h. Ao término do processo a placa foi pesada em balança analítica e a solubilidade (S) foi obtida conforme a Equação 3.7, onde: MSS é a massa de sólidos em 25 mL de sobrenadante; 4 é o fator de correção e MA a massa da amostra em base seca.

$$S (\%) = \frac{MSS \times 4}{MA} \times 100 \quad (3.7)$$

#### 3.4.2.4 Fluidez

A fluidez foi determinada usando o índice de Carr (IC – Tabela 3.2), calculado segundo Turchiuli *et al.* (2005), que relaciona os valores das massas específicas bulk ( $\rho_b$ ) e compactada ( $\rho_c$ ) do açaí branco, conforme apresenta a Equação 3.8.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_b}{\rho_c} \times 100 \quad (3.8)$$

Tabela 3.2 – Classificação da Fluidez, baseado no Índice de Carr

Índice de Carr (%)	Fluidez
$\leq 10$	Excelente
11 – 15	Muito boa
16 – 20	Boa
21 – 25	Regular
26 – 31	Fraca

Os valores de massa específica foram determinados segundo Chever *et al.* (2017). A massa específica bulk foi obtida através da pesagem de açaí branco em pó referente ao volume de 10 mL em proveta, e a massa específica compactada, batendo levemente 180 vezes na proveta utilizada para a determinação da massa específica bulk.

#### 3.4.2.5 Cor

A cor dos produtos em pó foi medida utilizando um colorímetro CR-10 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) com ângulo de observação de 10° (componente especular incluído) e iluminante

padrão D65. Os valores obtidos no sistema CIELAB das coordenadas L\* (luminosidade/escurecimento) a\* (vermelho/verde) e b\* (amarelo/azul) foram utilizados para obter os valores de croma ( $C_{ab}^*$ ) e ângulo hue ( $h^\circ$ ), calculados segundo a Equação 3.8 e 3.9, respectivamente. Todas as medidas foram calculadas em triplicata.

$$C_{ab}^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (3.8)$$

$$h_{ab}^\circ = 180 + \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \quad \text{quando } [-a^* \text{ e } +b^*] \text{ (quadrante II)} \quad (3.9)$$

#### 3.4.2.6 Espectroscopia de Absorção

Os espectros de infravermelho, foram obtidos utilizando um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier modelo Nicolet iS50 FT-IR (Thermo Scientific, Massachusetts, EUA). A região espectral analisada foi de 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  (infravermelho médio - MIR), com média de 64 varreduras e resolução de 6  $\text{cm}^{-1}$ . A análise foi efetuada por refletância total atenuada (ATR), empregando o módulo ATR iS50 com cristal de diamante e a aquisição dos dados foi obtida através do software OMNIC.

#### 3.4.2.7 Morfologia e Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X

A morfologia dos pós de AB foi realizada no Laboratório de Nanomanipulação (PPGF/UFPA) por meio de um microscópio eletrônico de varredura, TESCAN, modelo VEGA 3 com corrente de feixe de elétrons de 85-90  $\mu\text{A}$  e voltagem de aceleração de 15kV. A amostra foi metalizada com Au/Pd para permitir condutividade elétrica necessária no processo de formação das imagens, em metalizadora QUORUM TECHNOLOGIES SC7620. A metalização foi realizada com uma corrente de 5 mA em 120 segundos, duas vezes recoberta.

A análise semi-quantitativa da composição elementar foi realizada por um sistema de microanálise química de energia dispersiva de raios-X - EDS (X-Max-80, Oxford Instruments; acoplado ao MEV) com área de detecção de 80  $\text{mm}^2$  e taxa de contagem de 500.000 cps (contagens por segundo).

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As respostas foram submetidas a análise de variância (ANOVA) em blocos casualizados com repetição. O objetivo é estudar a interação entre os blocos e os tratamentos: blocos (porcentagem de agente carreador - 10%, 20%, 30%), tratamentos (agente carreador -

maltodextrina, amido modificado, goma arábica e colágeno hidrolizado), para cada um dos processos de secagem.

A Tabela 3.3 retrata uma representação da matriz de planejamento experimental, aplicada a cada um dos tipos de secagem. Onde Y é representação das respostas e os subíndices simbolizam o bloco utilizado e a repetição. Por exemplo,  $Y_{AM1-1}$ , é a resposta Y obtida com amido modificado, no primeiro bloco (10% de carreador – bloco 1), referente a primeira repetição (1).

Tabela 3.3 – Matriz de Planejamento de blocos ao acaso com repetições

Blocos	Tratamento			
	Amido modificado (AM)	Goma arábica (GA)	Maltodextrina (MA)	Colágeno Hidrolisado(CH)
10% (1)	$Y_{AM1-1}, Y_{AM1-2}, Y_{AM1-3}$	$Y_{GA1-1}, Y_{GA1-2}, Y_{GA1-3}$	$Y_{MA1-1}, Y_{MA1-2}, Y_{MA1-3}$	$Y_{CH1-1}, Y_{CH1-2}, Y_{CH1-3}$
20% (2)	$Y_{AM2-1}, Y_{AM2-2}, Y_{AM2-3}$	$Y_{GA2-1}, Y_{GA2-2}, Y_{GA2-3}$	$Y_{MA2-1}, Y_{MA2-2}, Y_{MA2-3}$	$Y_{CH2-1}, Y_{CH2-2}, Y_{CH2-3}$
30% (3)	$Y_{AM3-1}, Y_{AM3-2}, Y_{AM3-3}$	$Y_{GA3-1}, Y_{GA3-2}, Y_{GA3-3}$	$Y_{MA3-1}, Y_{MA3-2}, Y_{MA3-3}$	$Y_{CH3-1}, Y_{CH3-2}, Y_{CH3-3}$

As respostas Y analisadas foram: rendimento, umidade, fenólicos totais, atividade antioxidante, higroscopicidade, solubilidade, fluidez e cor. As médias foram submetidas a análise de variância (ANOVA) considerando o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Quando significativo (teste F e índice descritivo p), foram comparados por meio do teste de Tukey no mesmo nível de significância, com o auxílio do *software Statistica*, versão 14 (TIBCO, USA). A validação das tomadas de decisão com base na ANOVA, foram baseadas na análise de resíduos: independência, homogeneidade das variâncias (homocedasticidade) e normalidade.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da caracterização físico-química da polpa de açaí branco, a análise fluidodinâmica do material inerte (PEAD) utilizado como suporte no processo de secagem em leito de jorro, bem como a influência dos diferentes agentes carreadores e concentração nas propriedades (rendimento, umidade, FT, AAT, higroscopicidade, solubilidade, fluidez e cor) do AB em pó, obtido tanto na liofilização, quanto em leito de jorro.

Além disso, são também apresentados e discutidos os resultados de espectroscopia de absorção no infravermelho, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia dispersiva de raios-x dos pós de AB produzidos com os diferentes agentes carreadores. As análises de variância obtidas para cada uma das propriedades do pó de AB são também validadas com base na análise de resíduos (independência, homogeneidade e normalidade).

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE AÇAÍ BRANCO

Os resultados da caracterização físico-química da polpa de AB diluída (10,30% de sólidos) e utilizada na formulação das pastas estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Composição físico-química da polpa de AB diluída

<b>Propriedades</b>	<b>Resultados (média ± desvio-padrão)</b>
pH	4,86 ± 0,04
Umidade (g/100 g b.u)	89,70 ± 1,23
Lipídios (g/100 g b.s.)	49,91 ± 1,09
Proteínas (g/100 g b.s)	8,85 ± 0,92
Carboidratos (g/100 g b.s.)	37,43 ± 1,05
Fibra total (g/100 g b.s)	16,04 ± 0,98
Cinzas (g/100 g b.s.)	3,81 ± 0,12
Valor energético (kcal/100 g <sup>1</sup> )	634,31 ± 2,24

A polpa de AB obtida na região amazônica é ácida, com alto teor de lipídios, carboidratos e fibras o que impacta diretamente no elevado valor energético. Esses resultados foram similares aos reportados por Mattietto *et al.* (2016) para a polpa de AB também colhida na região amazônica, cujos valores de lipídeos, proteínas, carboidratos, fibras, cinzas e valor

energético foram, respectivamente, 52,28 g/100g, 9,84 g/100 g, 32,63 g/100 g, 14,04 g/100 g, 3,31 g/100 g e 611,84 kcal/100 g. Todos expressos em base seca.

Assim como para o açaí roxo reportado por Barbosa *et al.* (2016) o teor de lipídios é o principal componente da polpa de AB. Além disso, AB apresentou valores superiores de proteínas, carboidratos e fibras quando em comparação com a polpa de açaí roxo reportados por Costa *et al.*, (2019) e Menezes *et al.*, (2008), indicando que esta matéria-prima é uma rica fonte desses constituintes e pode ser incorporado a dieta alimentares. Os resultados encontrados, foram superiores à de outras polpas de frutas como amora e cajá (BRAGA e ROCHA, 2013; TIBURSKI *et al.*, 2011).

O teor de lipídeos da polpa de AB (49,91 g/100g b.s.  $\approx$  5,14g/100 g b.u) corresponde a aproximadamente 9,3% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) de gorduras totais (55 g), segundo a RDC nº360 (Brasil, 2003). Para uma quantidade consumida de 500 g de polpa de AB, o teor de lipídeos é  $>$  que 50% da IDR. Dessa maneira, a polpa pode ser caracterizada como fonte deste constituinte. Essa constatação é ratificada por Minighin *et al.* (2020) que indicam potencial do fruto para a extração de óleo inclusive para utilização na indústria alimentícia.

O teor de proteínas quantificado ( $8,85 \pm 0,92$  g/100g) e de pH ( $4,86 \pm 0,04$ ) está dentro das especificações descritas pela Instrução Normativa nº 37 para a polpa de açaí, cujos valores recomendados são de  $\geq 7$ g/100 g (b.s) para proteínas e 4,0 a 6,2 para pH. A polpa apresentou um teor de sólidos de 10,30%, sendo classificada de acordo com os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ), como açaí popular (BRASIL, 2016).

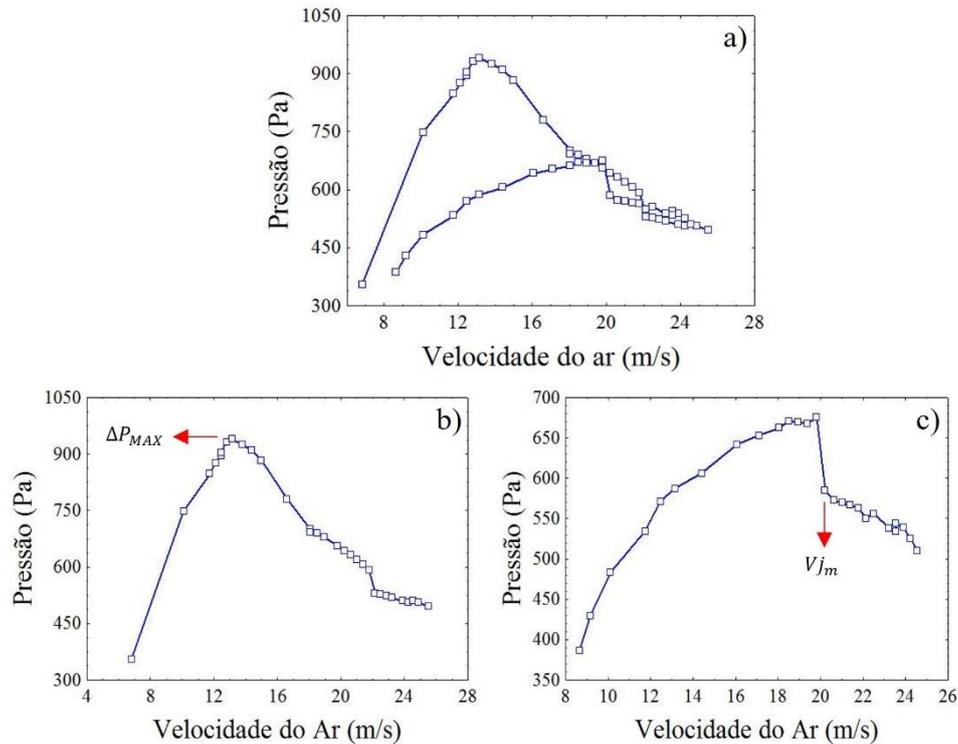
#### 4.2 ANÁLISE FLUIDODINÂMICA DA SECAGEM EM LEITO DE JORRO

A análise fluidodinâmica foi realizada com a carga de PEAD pré-fixada em 1000g, altura do bico atomizador em 16 cm e pressão de atomização em 10 psi. Todas essas condições operacionais foram determinadas na literatura, baseando-se em pesquisas anteriores realizadas no mesmo equipamento de secagem em leito de jorro (ANDRADE, 2016; NASCIMENTO *et al.*, 2019).

Os gráficos com os comportamentos fluidodinâmicos foram obtidos através da relação da variação de pressão do leito (Pa), em função da velocidade do ar de secagem (m/s). Os ensaios fluidodinâmicos foram realizados na temperatura de 75°C, visando um regime fluidodinâmico estável durante todo o processo de secagem.

A curva fluidodinâmica obtida em velocidade de ar crescente e decrescente podem ser visualizadas sobrepostas na Figura 4.1a e separadamente nas Figuras 4.1b e 4.1c.

Figura 4.1 – Comportamento fluidodinâmico das partículas inertes de PEAD



A partir da curva de velocidade crescente (ida) e decrescente (volta), obtêm-se os parâmetros: ( $\Delta P_{MAX}$ ) queda de pressão máxima e ( $V_{jm}$ ) velocidade mínima de jorro, respectivamente. Os valores de  $\Delta P_{MAX}$  e  $V_{jm}$  obtido foram de 938 Pa e 20,10 m/s, respectivamente. Esses valores são próximos aos encontrados por Nascimento *et al.* (2019) na secagem de polpa de bacaba utilizando partículas inertes, que utilizou essa mesma faixa de temperatura.

Com o intuito de se trabalhar com condições fluidodinâmicas estáveis durante o processo de secagem de polpa de açaí branco e evitar o colapso do jorro com a atomização da pasta, a velocidade mínima de jorro utilizada durante a secagem foi de  $1,3 \times V_{jm}$ , isto é, 26,13 m/s. Estudos anteriores relacionados a secagem de polpa de frutas também utilizaram desse artifício a fim de obter uma maior estabilidade durante o processo de secagem (COSTA *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2019).

#### 4.3 EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE LIOFILIZAÇÃO E LEITO DE JORRO.

##### 4.3.1 Rendimento

Para a secagem de pastas o R (%) é uma das principais respostas norteadoras do processo produtivo. Todos os valores de rendimento, obtidos experimentalmente, com as modificações propostas pelo tratamento (agentes carreadores) e blocos (concentração), tanto na secagem por

liofilização quanto na secagem em leito de jorro da polpa de AB, estão apresentados no Apêndice A.

Para a liofilização, com base na ANOVA apresentada na Tabela 4.2, pelo menos um dos AB em pó apresentou rendimento, em média, diferente dos demais, devido aos blocos (concentração), uma vez que o seu valor de  $p$  foi menor ou igual a 0,05 ( $p \leq 0,05$ ). Enquanto para os tratamentos (diferentes agentes carreadores), o rendimento de AB em pó, em média, não foi diferente dos demais ( $p > 0,05$ ). Isto é, modificando os valores de concentração de agentes carreadores utilizados na secagem de liofilização da polpa de AB (10%, 20%, 30%), pelo menos um valor médio de rendimento difere dos demais. Entretanto, modificando os diferentes agentes carreadores, a saber AM, GA, MA e CH, os valores de rendimento não apresentaram diferença significativa entre si.

Tabela 4.2 – ANOVA para Rendimento de AB obtido em ambos os processos de secagem

Efeito	GL	Liofilização				Leito de jorro			
		SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	0,3	0,1	0,1	0,967	277,2	92,4	124,8	<0,001*
Concentração	2	1317,9	658,9	535,7	<0,001*	664,3	332,1	448,4	<0,001*
Erro	30	31,9	1,06			54,2	1,81		

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; MQ: média dos quadrados; F: teste F de Fisher/Snedecor p: probabilidade de significância; \* significativos se  $p \leq 0,05$

Na secagem em leito de jorro, com base na ANOVA (Tabela 4.2), o rendimento do AB em pó, em média, foi diferente dos demais, tanto para a concentração (blocos), quanto para os agentes carreadores (tratamentos) utilizados no processo ( $p \leq 0,05$ ), ou seja, as modificações propositais dos blocos e dos tratamentos, exerceram efeitos no rendimento do processo, os quais apresentaram, pelo menos um valor médio de rendimento diferente entre si.

Com o teste de Tukey apresentado na Tabela 4.3, é possível identificar quais valores médios de rendimento, diferenciaram-se estatisticamente entre si, tanto para os diferentes agentes carreadores, quanto para as concentrações utilizadas em ambos os processos de secagem.

Tabela 4.3 – Teste de Tukey para valores médios de rendimento

	<b>Liofilização</b>	<b>Leito de Jorro</b>
<b>Carreador</b>	<b>Rendimento médio (%)</b>	<b>Rendimento médio (%)</b>
AM	68,74 <sup>a</sup>	40,04 <sup>d</sup>
GA	68,75 <sup>a</sup>	34,75 <sup>b</sup>
MA	68,62 <sup>a</sup>	32,69 <sup>a</sup>
CH	68,52 <sup>a</sup>	37,47 <sup>c</sup>
<b>Concentração</b>	<b>Rendimento médio (%)</b>	<b>Rendimento médio (%)</b>
10%	60,89 <sup>a</sup>	32,48 <sup>a</sup>
20%	69,43 <sup>b</sup>	33,98 <sup>b</sup>
30%	75,65 <sup>c</sup>	42,25 <sup>c</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

A mudança dos agentes carreadores no processo de liofilização da polpa de AB, segundo o teste de Tukey, não proporcionou diferenças estatisticamente significativas ( $\alpha = 0,05$ ) nos valores de rendimento obtido, indicando que independentemente do agente carreador escolhido, a produção de AB em pó permanece em um mesmo nível de eficiência. Tais valores variaram de 68,52% a 68,75%. Já para o processo de secagem em leito de jorro, a utilização de diferentes agentes careadores, impactou o rendimento do processo, proporcionando mudanças significativas nas respostas, que variaram de 32,69% a 40,04%.

Segundo Adetoro *et al.* (2020) as baixas condições operacionais envolvidas na liofilização podem promover produtos em pó com características mais homogêneas que os demais métodos de secagem. Além disso, devido a baixas temperaturas de operação requeridas no processo, este método reduz o dano térmico e preserva componentes tanto da matéria prima quanto dos agentes carreadores, sendo uma das justificativas plausíveis para valores similares de rendimento obtido, utilizando variados coadjuvantes de secagem.

Para o processo de secagem em leito de jorro, o ideal é que o rendimento seja o maior possível. Assim, analisando a Tabela 4.3, observa-se que o AM (40,04%) e CH (37,47%) foram os agentes carreadores que melhor auxiliaram no rendimento do processo, seguidos por GA (34,75%) e MA (32,69%). Este comportamento pode estar relacionado diretamente com a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) da mistura a ser seca e com a estrutura dos agentes carreadores.

A adição de agentes carreadores de alto peso molecular na suspensão a ser seca em leito de jorro, eleva a  $T_g$  da suspensão. Assim, quando a suspensão é exposta ao ar quente do leito de jorro, sofre uma transformação estrutural, passando do estado líquido para um estado semissólido amorfo (SOUZA e OLIVEIRA, 2012). O resultado dessa adição é a prevenção da

aglomeração na parede do secador e melhora do rendimento do processo, mesmo em suspensão com alto teor de lipídeos, como a polpa de AB. Como o AM tem maior peso molecular do que MA e AG (os outros polissacarídeos utilizados neste estudo), sua Tg também é maior (TONON *et al.*, 2009), o que explica o maior rendimento quando este agente carreador é utilizado na secagem de AB em leito de jorro.

Com relação ao CH, Fang *et al.* (2013) reporta que durante a secagem de pastas, as moléculas de proteína podem migrar para a interface líquido/ar das gotículas, gerando um filme proteico, que se converte em uma camada vítrea quando submetido a ar quente. Assim, as proteínas podem cobrir amplamente as superfícies de partículas, impedindo a aglomeração, diminuindo a aderência à câmara do secador e, portanto, melhorando a recuperação de sólidos, mesmo em pequenas quantidades. Além disso, a adição de proteína como o CH pode ter diminuído a viscosidade da mistura e, portanto, aumentado a recuperação de sólidos, o que já foi reportado por Vargas-Muñoz *et al.* (2020), Moser *et al.* (2017) e Muzafar e Kumar (2016) na secagem de polpa de coco, uva e tamarindo, respectivamente.

A modificação da concentração de 10, 20 e 30% proporcionaram mudanças significativas nos valores de rendimento, tanto na liofilização quanto na secagem em leito de jorro. Aqui, o princípio é o mesmo para ambos os processos de secagem. O aumento da concentração do agente carreador, está interligado com a contribuição deste aditivo alimentar para formação de pó e aumento da concentração de sólidos da pasta. Portanto, com a adição em maior quantidade de agente carreador na polpa de AB, a tendência é que ocorra maior produção de AB em pó no final do processo. Efeito similar já foi reportado na secagem de polpa de açaí roxo e bacaba em leito de jorro (COSTA *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2019).

#### **4.3.2 Umidade**

A umidade do AB em pó, obtido experimentalmente sob as modificações propostas pelo tratamento (agentes carreadores) e blocos (concentração), tanto na secagem por liofilização quanto na secagem em leito de jorro da polpa de AB, estão apresentados no Apêndice B.

Na liofilização, as mudanças propostas utilizando diferentes agentes carreadores e variadas concentrações, não promoveram diferenças significativas nos valores médios de umidade do açaí branco em pó, conforme a ANOVA (Tabela 4.4). Já no processo de secagem em leito de jorro, somente as mudanças de agentes carreadores, utilizados como coadjuvantes no processo de secagem, proporcionaram diferenças estatisticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) nos valores de umidade dos pós de AB.

Tabela 4.4 – ANOVA para Umidade de AB obtido em ambos os processos de secagem.

Efeito	GL	Liofilização				Leito de jorro			
		SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	1,0	0,33	2,965	0,052	20,185	6,728	118,19	<0,001*
Concentração	2	0,002	0,0008	0,007	0,993	0,017	0,009	0,15	0,860
Erro	30	2,722	0,09			1,388	0,046		

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; MQ: média dos quadrados; F: teste F de Fisher/Snedecor; p: probabilidade de significância; \* significativos se  $p \leq 0,05$

Os teores médios de umidade dos pós de AB obtidos estão apresentados na Tabela 4.5, com seus respectivos testes de Tukey. Conforme sinalizado na ANOVA e agora ratificado no teste de Tukey, as mudanças propositais dos tipos de agentes carreadores utilizados no processo de liofilização não proporcionaram diferenças significativas nos valores de umidade. Os valores médios obtidos experimentalmente variaram de 4,90 a 4,48 g/100g em função da utilização dos diferentes tipos de agentes carreadores.

Tabela 4.5 – Teste de Tukey para valores médios de umidade

Carreador	Liofilização	Leito de Jorro
	Umidade (g/100 g)	Umidade (g/100 g)
AM	4,67 <sup>a</sup>	4,31 <sup>a</sup>
GA	4,51 <sup>a</sup>	5,68 <sup>c</sup>
MA	4,48 <sup>a</sup>	5,06 <sup>b</sup>
CH	4,90 <sup>a</sup>	6,34 <sup>d</sup>
Concentração	Umidade (g/100 g)	Umidade (g/100 g)
10%	4,63 <sup>a</sup>	5,33 <sup>a</sup>
20%	4,64 <sup>a</sup>	5,34 <sup>a</sup>
30%	4,65 <sup>a</sup>	5,38 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Nas amostras de açaí em pó com CH e MA (obtidos na liofilização) e CH e AM (obtidos na secagem em leito de jorro), que apresentaram respectivamente maior e menor teor de umidade, os valores de atividades de água quantificados, foram de 0,396 e 0,386 (liofilização) e 0,543 e 0,355 (leito de jorro). Estes resultados estão bem abaixo do valor 0,60 que segundo Scott (1957) e Carmo et al. (2019) representa o limite recomendado para atividade de água de produtos desidratados.

Geralmente alimentos com atividade de água  $a_w < 0,6$  são considerados microbiologicamente estáveis e se ocorrer alguma deterioração, ela será induzida por reações químicas e não por microrganismo (QUEK et al., 2007). Portanto, há um indicativo de que

todas as amostras de açaí branco em pó, obtidas neste estudo, podem ser consideradas seguras do ponto de vista microbiológico.

Segundo Seerangurayar *et al.* (2017) o método de secagem é um dos principais parâmetros que afetam a umidade de produtos naturais pulverizados. Kuck e Norenã (2016) ao obterem extratos da casca de uva em pó por liofilização e utilizando goma arábica, polidextrose e goma guar como adjuvantes de secagem também não observaram mudanças significativas nos teores de umidade, concluindo que os agentes carreadores, de uma forma geral, auxiliam na produção de pós menos úmidos, mas a liofilização que opera a baixas pressões e temperaturas é o principal motivo para a obtenção de pós com características similares de umidade.

Analisando a variação dos parâmetros de umidade dos pós obtidos em leito de jorro em função dos tipos de agentes carreadores utilizados (Tabela 4.5), os pós de AB produzidos com CH apresentaram maiores teores de umidade. Como o CH apresenta uma molécula de água em sua estrutura, existe uma tendência biológica em se ligar com as moléculas de água presentes no ar de secagem, o que pode justificar o maior teor de umidade dos pós de AB produzidos com este agente carreador. Resultados similares foram observados por Vargas-Muñoz e Kurozawa (2020) e Zuanon *et al.* (2017), onde os produtos da secagem por atomização de polpa de cacaó e da liofilização de oleoresina de cúrcuma, apresentaram maiores teores de umidade quando CH foi utilizado como agente carreador.

Os pós de AB obtidos em leito de jorro e produzidos com AM, apresentaram menor teor de umidade (4,31 g/100 g) do que os produzidos com MA (5,06g/100 g) e GA (5,68g/100 g). Esta variação em teores de umidade pode ser atribuída a estrutura química da goma arábica e maltodextrina, que contêm um alto número de ramificações com grupos hidrofílicos e, portanto, podem se ligar facilmente a moléculas de água do ar ambiente durante o manuseio do pó após a secagem em leito de jorro. Tonon *et al.* (2009) na secagem por atomização de açaí, observaram este mesmo comportamento, indicando que a utilização de AM como agente carreador produz pós com menor teor de umidade.

As mudanças propostas alterando as concentrações de agente carreador para a adição na polpa de AB durante a secagem, não propiciaram variações significativas nos teores de umidade dos pós produzidos. Os teores variaram de 4,63 a 4,65 g/100 g e 5,33 a 5,38 g/100g para pós de AB produzidos por liofilização e na secagem em leito de jorro, respectivamente.

Há um consenso na literatura com relação à influência direta do aumento da concentração de agente carreador e a diminuição do teor de umidade do pó produzido. Bhusari *et al.* (2014) e Ferrari *et al.* (2012) na produção de tamarindo e amora preta em pó,

respectivamente, reportaram diminuição do teor de umidade com o conseqüente aumento da quantidade de agente carreador. Entretanto, o que se observa, é que em secagem de pastas, a proporção de agente carreador é utilizada de tal forma que não atrapalhe a eficiência do processo.

Em geral, existe um limite de adição de coadjuvante durante o processo de secagem. Extrapolando esse limite, aumenta-se a pegajosidade do produto e conseqüentemente, eleva-se a umidade do pó e o rendimento do processo é diminuído. Como os teores de umidade de AB em pó, obtidos neste estudo, apresentaram valores similares, há um indicativo de que as proporções de agente carreador (10, 20 e 30%) estão abaixo do limite de adição e, portanto, podem ser utilizados na secagem de AB, sem prejuízo nas propriedades físicas do pó produzido.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DO AÇAÍ BRANCO EM PÓ

##### 4.4.1 Fenólicos totais e Atividade Antioxidante

Os fenólicos totais (FT) e a atividade antioxidante (AAT) são algumas das principais propriedades bioativas que devem ser investigadas para uma futura utilização nutracêutica do AB em pó. A utilização dos diferentes agentes carreadores, bem como as variações das concentrações afetaram estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) os teores de FT e AAT dos pós de AB produzidos tanto na liofilização (ANOVA – Tabela 4.6), quanto em leite de jorro (ANOVA – Tabela 4.7).

Tabela 4.6 – ANOVA para FT e AAT de AB em pó obtido na Liofilização

Efeito	GL	Fenólicos Totais				Atividade Antioxidante			
		SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	54,01	18,0	227,89	<0,001*	204,64	68,21	93,40	<0,001*
Concentração	2	96,13	48,07	608,35	<0,001*	692,35	346,17	474,0	<0,001*
Erro	30	2,165	0,072			27,80	0,927		

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; MQ: média dos quadrados; F: teste F de Fisher/Snedecor; p: probabilidade de significância; \* significativos se  $p \leq 0,05$

Tabela 4.7 – ANOVA para FT e AAT de AB em pó obtido em Leite de Jorro

Efeito	GL	Fenólicos Totais				Atividade Antioxidante			
		SQ	MQ	F	P	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	43,78	14,59	94,64	<0,001*	194,13	64,71	62,53	<0,001*
Concentração	2	70,11	35,05	227,35	<0,001*	575,59	287,79	278,11	<0,001*
Erro	30	4,296	0,143			28,07	0,936		

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; MQ: média dos quadrados; F: teste F de Fisher/Snedecor; p: probabilidade de significância; \* significativos se  $p \leq 0,05$

Os teores médios de FT e AAT dos pós de AB, obtidos mediante a modificação dos agentes carreadores e da concentração, estão apresentados juntamente com seus respectivos testes de Tukey na Tabela 4.8 para o processo de liofilização, e na Tabela 4.9 para o processo de secagem em leito de jorro.

Tabela 4.8 – Teste de Tukey para valores médios de FT e AAT do pó de AB obtido na Liofilização

<b>Carreador</b>	<b>FT (mg EAG/g)</b>	<b>AAT (<math>\mu\text{mol ET/g}</math>)</b>
AM	6,58 <sup>a</sup>	45,27 <sup>a</sup>
GA	8,94 <sup>b</sup>	50,75 <sup>b</sup>
MA	9,08 <sup>b</sup>	49,74 <sup>b</sup>
CH	6,55 <sup>a</sup>	45,15 <sup>a</sup>
<b>Concentração</b>	<b>FT (mg EAG/g)</b>	<b>AAT (<math>\mu\text{mol ET/g}</math>)</b>
10%	5,94 <sup>a</sup>	42,10 <sup>a</sup>
20%	7,51 <sup>b</sup>	47,82 <sup>b</sup>
30%	9,92 <sup>c</sup>	52,84 <sup>c</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Tabela 4.9 – Teste de Tukey para valores médios de FT e AAT do pó de AB obtido em Leito de Jorro

<b>Carreador</b>	<b>FT (mg EAG/g)</b>	<b>AAT (<math>\mu\text{mol ET/g}</math>)</b>
AM	4,32 <sup>a</sup>	34,44 <sup>a</sup>
GA	6,80 <sup>c</sup>	40,04 <sup>c</sup>
MA	5,00 <sup>b</sup>	37,94 <sup>b</sup>
CH	3,92 <sup>a</sup>	34,75 <sup>a</sup>
<b>Concentração</b>	<b>FT (mg EAG/g)</b>	<b>AAT (<math>\mu\text{mol ET/g}</math>)</b>
10%	3,30 <sup>a</sup>	31,87 <sup>a</sup>
20%	5,02 <sup>b</sup>	36,84 <sup>b</sup>
30%	6,72 <sup>c</sup>	41,67 <sup>c</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Inicialmente, observa-se uma certa sinergia comportamental entre os teores de FT e AAT. Na liofilização e segundo o teste de Tukey (Tabela 4.8), por exemplo, os pós de AB produzidos com MA e GA, apresentaram maior teor de fenólicos (9,08 e 8,54 mg EAG/g, respectivamente) do que os produzidos com AM e CH (6,58 e 6,55 mg EAG/g, respectivamente). Esse mesmo comportamento foi observado na AAT, ou seja, os teores de AAT decaíram.

Por sua vez, na secagem em leito de jorro e segundo o teste de Tukey, os teores de AAT quantificados nos pós de AB, também seguiram o mesmo comportamento do teor de FT. A

saber,  $GA > MA > AM = CH$ . Além disso, a utilização de diferentes concentrações de agente carreador (10, 20 e 30%) em ambos os processos de secagem, também promoveram diferenças significativas nos teores de FT, que foram acompanhadas no teor de ATT. Essa correlação comportamental entre FT e AAT, pode ser mais bem visualizada nas Figuras 4.2 e 4.3, onde os teores de AAT (em vermelho), acompanham o comportamento do teor de FT (em azul).

Figura 4.2 – Correlação entre FT e ATT do AB em pó liofilizado obtido em função dos agentes carreadores e da concentração

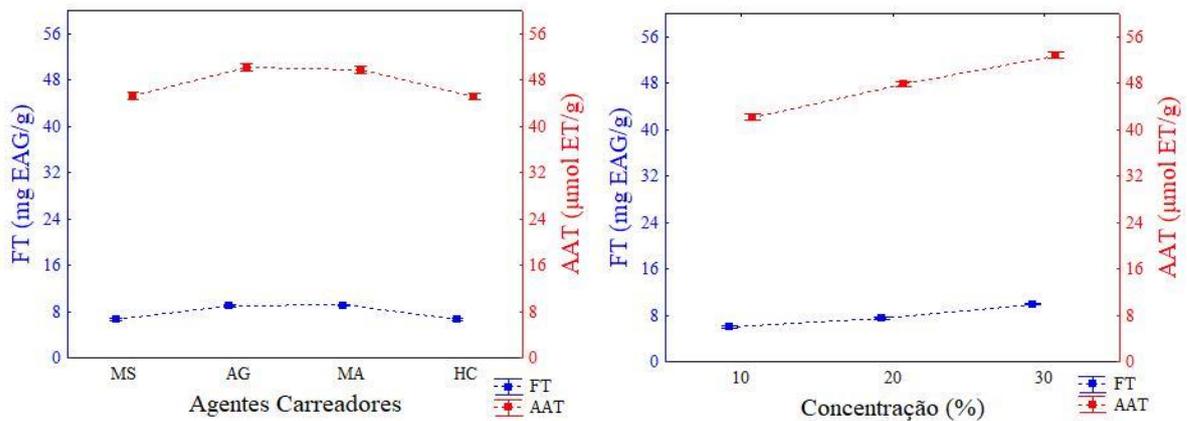
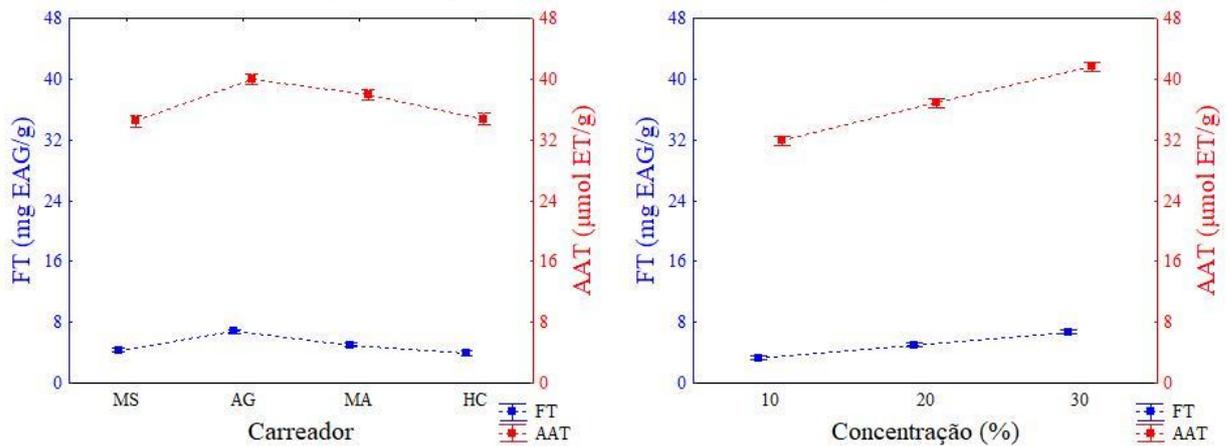


Figura 4.3 – Correlação entre FT e ATT do pó de AB produzido em leite de jorro e obtido em função dos agentes carreadores e da concentração



Embora não seja uma regra geral, essa sinergia comportamental entre FT e ATT já foi reportada anteriormente por Souza, Vieira e Putti (2018) na polpa de uva e por Ghafooret *al.* (2020) na secagem de gengibre. Em suma, essa possível correlação pode estar relacionada ao perfil de compostos fenólicos que possuem caráter antioxidante e que estão presentes na matéria-prima. Segundo Silveira *et al.* (2017), o AB possui majoritariamente em seu perfil de compostos fenólicos, grupos flavonoides não antociânicos e ácidos fenólicos. Todos fundamentados na literatura com relevantes propriedades antioxidantes (KUMAR e GOEL, 2019).

Os maiores teores de FT e AAT foram obtidos na liofilização. Este resultado já era esperado, uma vez que a secagem em leito de jorro opera com ar quente e muitos dos compostos fenólicos são termossensíveis (FERREYRA *et al.*, 2023). Os maiores valores encontrados de FTe AAT (11,58 mg EAG/ g e 56,87  $\mu\text{mol}/\text{ET g}$ , respectivamente – Apêndice C e D) foram superiores à de outras matérias-primas reconhecidamente ricas em compostos fénolicos e com alta atividade antioxidante como a maca peruana – *Lepidium meyenii* (9,51 mg EAG/g e 42,78  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) e o Limão siciliano – *Citrus Limon* (L.) Burm. f. (7,96 mg EAG/g e 13,76  $\mu\text{mol ET/g}$ ) (CAMPOS *et al.*, 2013; DONG *et al.*, 2019), indicando que o AB em pó é uma fonte promissora de bioativos e pode ser incorporado na indústria alimentar.

Como a polpa de AB possui em sua maioria grupos flavonóides não antociânicos e ácidos fenólicos (SILVEIRA *et al.*, 2017), tais grupos apresentam regiões moleculares hidrofílicas, e, portanto, agentes carreadores que possuam em sua estrutura, grupamentos químicos capazes de interagir com mais intensidade com esses componentes fenólicos, tendem a apresentar pós com maior concentração de FT e conseqüentemente, maior AAT.

Os pós de AB liofilizados, obtidos com GA e MA, apresentaram maiores teores de FT e AAT, com diferença significativa entre as médias para os pós obtidos com AM e CH, conforme indica o teste de Tukey (Tabela 4.8). Segundo Tonon *et al.* (2009) a GA e a MA possuem maior número de grupos polares do que o AM, o que explicaria os melhores resultados de FT e AAT dos pós de AB obtidos com estes agentes carreadores.

Em virtude da grande concentração de aminoácidos hidrofóbicos presentes no colágeno natural (quer seja no seu interior ou na superfície), em teoria, é dificultosa a interação eletrostática dos compostos fenólicos com esta proteína (DORNELES e NOREÑA, 2020; MOSER *et al.*, 2017). Entretanto, a presença de moléculas de água na estrutura do CH garante uma parcial afinidade deste agente carreador com grupos fenólicos polares presentes na polpa de AB, garantindo, por exemplo, um relativo teor de FT e AAT, conforme observado na Tabela 4.8.

Pós de AB produzidos em leito de jorro com GA apresentaram maiores teores de FT e AAT do que com os demais agentes carreadores, indicando que GA é mais indicada para a retenção de compostos bioativos fenólicos quando a secagem é realizada a quente. De fato, esses resultados corroboram com os achados por Sturm *et al.* (2019) e Lima *et al.* (2022) que indicaram que GA é mais eficiente que a maltodextrina na retenção de compostos fenólicos, devido a sua propriedade emulsificante que contribui para a redução de perdas dos constituintes voláteis da amostra.

Segundo Aliabbasi *et al.* (2022) a GA é um heteropolímero altamente ramificado de açúcares, contendo uma pequena quantidade de proteína ligada à cadeia de carboidratos que atua como um ótimo agente formador de filme, que por sua vez oferece uma excelente capacidade e estabilidade no aprisionamento de compostos fenólicos. Assim, mesmo quando submetido a exposições térmicas moderadas como na secagem em leito de jorro, as interações moleculares dos compostos bioativos com os grupos funcionais presentes da GA são mais bem preservadas.

O aumento da concentração de agente carreador também proporcionou variações de FT e AAT no AB em pó conforme a análise do teste de Tukey, tanto para produtos liofilizados (Tabela 4.8), quanto para produtos obtidos em leito de Jorro (Tabela 4.9). Os maiores teores de FT e AAT foram obtidos quando adicionados maior proporção de agente carreador, isto é, 30% em função do percentual de sólidos da polpa.

Muitos trabalhos na literatura reportam que com o aumento da concentração do agente carreador, ocorre a diminuição do teor de FT e ATT (GAONA *et al.*, 2020; CONSTANZA *et al.*, 2012), sob a justificativa do efeito da diluição. Nesses estudos, a quantidade de massa de pasta (polpa+agente carreador) a ser seca é fixa. Assim, com o aumento da concentração do agente carreador, diminui-se a quantidade de polpa na pasta e, portanto, menor é o teor de fenólicos e conseqüentemente de atividade antioxidante disponível na polpa.

No presente estudo da secagem da polpa de AB, a variação da concentração dos agentes carreadores (10, 20 e 30%) foi calculada em função do percentual de sólidos da polpa. Assim, a quantidade de polpa na formulação se manteve fixa, variando somente a quantidade de agente carreador a ser adicionada na pasta. Dessa maneira, maior teor de FT e AAT observados nos pós de AB formulado com 30% de agente carreador, pode ser justificado devido a maior disponibilidade de grupos funcionais químicos presentes nos coadjuvantes e que são capazes de realizar interações com grupos os fenólicos presentes na polpa.

Como os grupos fenólicos possuem regiões moleculares hidrofílicas, e com maior quantidade de agente carreador (na condição de 30%) adicionado, uma vez que eles possuem grupos polares em sua estrutura, existe maior probabilidade de ocorrer interações químicas efetivas, impactando assim em maiores teores de FT e AAT observados no AB em pó. Resultados similares foram observados por Pombo *et al.* (2020), onde maior teor de fenólicos totais foram observados em maiores condições de agente carreador.

#### **4.4.2 Higroscopicidade, solubilidade e fluidez**

Higroscopicidade, solubilidade e fluidez são algumas das principais propriedades avaliadas em frutas em pó. Esses atributos fornecem informações relevantes de estocagem,

instantaneidade e escoamento do material, sendo utilizados por diversos autores para fins de avaliação da qualidade do material obtido.

A utilização dos diferentes tipos de agentes carreadores influenciou ( $p \leq 0,05$ ) na higroscopicidade, solubilidade e fluidez do AB em pó, obtido tanto na liofilização (Tabela 4.10) quanto em leite de jorro (Tabela 4.11). Por sua vez, a adição de diferentes proporções dos agentes carreadores só não foi influente estatisticamente ( $p > 0,05$ ) na fluidez, conforme apresentado na Tabela 4.10 e 4.11.

Tabela 4.10 – ANOVA para higroscopicidade, solubilidade e fluidez de AB liofilizado

Efeito	GL	Higroscopicidade				Solubilidade				Fluidez			
		SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	P	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	192,98	64,33	2644,1	<0,001*	15001,6	5000,5	4796,4	<0,001*	87,91	29,302	249,25	<0,001*
Concentração	2	77,70	38,85	1596,8	<0,001*	674,8	337,4	323,6	<0,001*	0,242	0,121	1,03	0,372
Erro	30	5,63	0,188			52,20	1,74			3,312	0,11		

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; MQ: média dos quadrados; F: teste F de Fisher/Snedecor; p: probabilidade de significância; \* significativos se  $p \leq 0,05$

Tabela 4.11 – ANOVA para higroscopicidade, solubilidade e fluidez de AB em pó obtido em leite de jorro

Efeito	GL	Higroscopicidade				Solubilidade				Fluidez			
		SQ	MQ	F	P	SQ	MQ	F	P	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	56,02	18,67	161,76	<0,001*	12560,3	4186,8	3401,5	<0,001*	73,89	24,631	81,76	<0,001*
Concentração		61,15	30,58	264,88	<0,001*	1147,5	573,7	466,1	<0,001*	0,242	0,121	0,40	0,674
Erro	30	4,11	0,137			131,9	4,40			7,426	0,247		

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; MQ: média dos quadrados; F: teste F de Fisher/Snedecor; p: probabilidade de significância; \* significativos se  $p \leq 0,05$

Para ambos os processos de secagem, as amostras produzidas com AM apresentaram menor higroscopicidade (9,56 e 15,59 g/100 g) em relação aos demais agentes carreadores, diferenciando-os estatisticamente (Teste de Tukey – Tabela 4.12 e Tabela 4.13) dos pós produzidos com MA, GA e CH.

Tabela 4.12 – Teste de Tukey para valores médios de higroscopicidade, solubilidade e fluidez do pó de AB obtido na liofilização

Carreador	Higroscopicidade (g/100g)	Solubilidade (%)	Fluidez (IC, %)
AM	9,56 <sup>a</sup>	43,67 <sup>a</sup>	14,11 <sup>b</sup>
GA	14,07 <sup>c</sup>	90,96 <sup>b</sup>	11,42 <sup>a</sup>
MA	12,40 <sup>b</sup>	91,03 <sup>b</sup>	11,10 <sup>a</sup>
CH	15,84 <sup>d</sup>	90,44 <sup>b</sup>	14,61 <sup>c</sup>

<b>Concentração</b>	<b>Higroscopicidade (g/100g)</b>	<b>Solubilidade (%)</b>	<b>Fluidez (IC, %)</b>
10%	14,81 <sup>c</sup>	73,67 <sup>a</sup>	12,77 <sup>a</sup>
20%	12,88 <sup>b</sup>	79,14 <sup>b</sup>	12,74 <sup>a</sup>
30%	11,22 <sup>a</sup>	84,27 <sup>c</sup>	12,93 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Tabela 4.13 – Teste de Tukey para valores médios de higroscopicidade, solubilidade e fluidez do pó de AB obtido em leite de jorro

<b>Carreador</b>	<b>Higroscopicidade(g/100g)</b>	<b>Solubilidade (%)</b>	<b>Fluidez (IC, %)</b>
AM	15,39 <sup>a</sup>	44,82 <sup>a</sup>	15,50 <sup>b</sup>
GA	18,02 <sup>b</sup>	87,73 <sup>b</sup>	12,62 <sup>a</sup>
MA	18,29 <sup>b</sup>	88,03 <sup>b</sup>	12,82 <sup>a</sup>
CH	18,45 <sup>b</sup>	88,11 <sup>b</sup>	15,65 <sup>b</sup>

<b>Concentração</b>	<b>Higroscopicidade(g/100g)</b>	<b>Solubilidade (%)</b>	<b>Fluidez (IC, %)</b>
10%	19,21 <sup>c</sup>	70,37 <sup>a</sup>	14,20 <sup>a</sup>
20%	17,38 <sup>b</sup>	76,96 <sup>b</sup>	14,03 <sup>a</sup>
30%	16,03 <sup>a</sup>	84,19 <sup>c</sup>	14,21 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Segundo Tonon *et al.* (2009), o AM exibe menor grupos funcionais capazes de realizar adsorção de água, quando comparado aos demais agentes carreadores, o que impacta em baixos valores de higroscopicidade. Por sua vez, MA e GA possuem maior número de ramificações com grupos hidrofílicos disponíveis nos substratos, o que facilita as ligações entre o hidrogênio presente na molécula de água e os grupos hidroxila, e dessa maneira, é maior a sua capacidade de adsorver mais facilmente a água. Resultados similares foram reportados por Adetoro *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2018), onde pós de romã e de tucumã produzidos com AM, apresentaram menores valores de higroscopicidade do que os produzidos com MA e GA.

Pós de AB obtidos com MA, GA e CH não apresentaram valores de solubilidade diferentes significativamente entre si, tanto no processo de liofilização, quanto na secagem em leite de jorro (Teste de Tukey – Tabela 4.12 e Tabela 4.13). A solubilidade é uma propriedade de qualidade fundamental em produtos pulverizados, pois impacta diretamente na futura reconstituição desse material, assim como na incorporação e uso em produtos instantâneos nos quais é necessária uma dissolução rápida (DANTAS *et al.*, 2019). Segundo Fang *et al.* (2002) o AM pode apresentar parcial insolubilidade em água e portanto, os pós de AB produzidos com este agente carreador foram menos solúveis que os produzidos com MA, GA e CH.

Tonon *et al.* (2009) em seu estudo sobre secagem da polpa de açaí roxo, observou que as partículas produzidas com AM foram menos solúveis que as produzidas com MA e GA, que

foram completamente solúveis, sendo este um dos principais motivos pelo qual MA e GA são amplamente utilizados na secagem de produtos pulverizados.

Elevadas solubilidades também já foram relatadas para materiais em pó produzidos com CH (VARGAS-MUÑOZ *et al.*, 2020), uma vez que o processo de hidrólise desta proteína, além de promover uma conversão da sua estrutura nativa, modifica algumas propriedades do colágeno, tornando-o mais solúvel e biodisponível (LEÓN-LÓPEZ *et al.*, 2019).

A fluidez das partículas foi analisada com base no índice de carr (IC). Valores de índice  $\leq 10\%$ , 11 a 15%, 16 a 20%, 21 a 25% e 26 a 31% indicam, respectivamente, excelente, muito boa, boa, regular e fraca fluidez (LIMA *et al.*, 2022). Segundo Zafar *et al.* (2017) este parâmetro é importante para garantir pós não coesos e pode ter algum efeito na qualidade e confiabilidade da produção. Os pós de AB produzidos com MA e GA apresentaram muito boa fluidez, tanto para os pós liofilizados (11,10 a 11,42%), quando para os obtidos em leito de jorro (12,82 e 12,62%), diferenciando-se estaticamente dos obtidos com AM e CH (Teste de Tukey – Tabela 4.12 e 4.13).

Apesar de AM e CH apresentarem os menores valores de Índice de Carr (IC), as partículas de AB liofilizadas ou obtidas em leito de jorro com estes agentes carreadores, também foram classificadas com muito boa e boa fluidez. Segundo Qadri *et al.* (2022) várias forças como gravidade, fricção, coesão, adesão e forças de van der Waals impactam na fluidez das partículas. Entretanto, o formato e o tamanho das partículas é o que mais se correlaciona com este parâmetro de qualidade. Assim, um processo produtivo com bom desempenho tende a produzir partículas com fluidez semelhante e na mesma faixa do IC (KALEEM *et al.*, 2020). Dessa maneira, os resultados de fluidez obtidos na secagem de AB pode ser um indicativo de que o processo de produção foi bem controlado e que as partículas produzidas apresentaram formatos similares.

O aumento da concentração de agente carreador também proporcionou variações significativas de higroscopicidade e solubilidade no AB em pó conforme a análise do teste de Tukey, tanto para produtos liofilizados (Tabela 4.12), quanto para produtos obtidos em leito de Jorro (Tabela 4.13).

Menores parâmetros de higroscopicidade foram obtidos em pó de AB quando adicionado 30% de agente carreador na polpa a ser seca. O processo de secagem de pastas sem adição de agente carreador afeta as polpas de frutas, que devido a sua característica amorfa, sofre mudanças do estado vítreo para o estado emborrachado, em virtude de um aumento em sua mobilidade molecular, resultando em mudanças na viscosidade e higroscopicidade (NASCIMENTO, 2018).

A adição de maior quantidade de coadjuvante aumenta a temperatura de transição vítrea da mistura e, conseqüentemente, reduz a higroscopicidade dos pós produzidos (KUROZAWA *et al.*, 2009; PHISUT, 2012). Resultados semelhantes foram observados nos estudos de Fang e Bhandari (2012), onde o aumento da concentração de agente carreador, aumentou a Tg da mistura e promoveu pós com menor higroscopicidade.

Maior solubilidade foi observada em pós de AB com maior concentração de agente carreador (30%). Esse comportamento pode estar relacionado a maior disponibilidade de grupos químicos polares, presentes nos adjuvantes, e que são capazes de interagir com moléculas de água, facilitando assim a dissolução do material. As propriedades instantâneas de um produto em pó envolvem a capacidade de se dissolver em água. A maioria dos alimentos em pó são destinados à reidratação; portanto, o ideal é uma solubilidade alta e completa. A influência positiva da concentração do agente carreador na solubilidade também foi observada nos estudos de Šavikin *et al.* (2021) e Aragüez-Fortese *et al.* (2019).

A fluidez não foi influenciada estatisticamente pela modificação do agente carreador. De fato, os valores médios de fluidez não diferenciaram entre si em qualquer uma das concentrações utilizadas (Teste de Tukey – Tabela 4.12 e Tabela 4.13). Segundo Lima *et al.* (2022), baixa fluidez pode estar relacionada a possíveis aglomerações durante o processo de secagem que impactam em alta umidade e baixo rendimento. Como durante o processo de secagem com 10, 20 e 30% de agentes carreadores não foi observado incidência de aglomeração, presume-se que os pós de AB produzidos apresentaram formatos e características similares que refletiram em boa fluidez.

#### **4.4.2 Cor**

A cor é um dos principais indicadores sensoriais e de qualidade de frutas em pó (QUEK *et al.*, 2007), e nos processos de secagem de AB, a mudança de agentes carreadores e da concentração exerceram influência significativa ( $p \leq 0,05$ ) nos diferentes parâmetros colorimétricos, conforme apresenta a ANOVA (Tabela 4.14 e Tabela 4.15).

Tabela 4.14 – ANOVA para os parâmetros colorimétricos do AB em pó obtido na liofilização

Efeito	GL	L				a				b				h <sub>ab</sub> <sup>o</sup>				C <sub>ab</sub>			
		SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	P	SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	187,8	62,6	87,2	<0,001*	47,95	15,98	31,89	<0,001*	286,70	95,57	226,89	<0,001*	491,1	163,7	158,3	<0,001*	57,24	19,08	62,9	<0,001*
Concentração	2	160,3	80,1	111,7	<0,001*	116,29	58,15	116,03	<0,001*	134,10	67,05	159,19	<0,001*	429,2	214,6	207,5	<0,001*	3,70	1,85	6,1	0,007*
Erro	30	39,90	1,33			14,81	0,494			17,27	0,576			34,5	1,15			12,87	0,429		

Tabela 4.15 – ANOVA para os parâmetros colorimétricos do AB em pó obtido em leite de jorro

Efeito	GL	L				a				b				h <sub>ab</sub> <sup>o</sup>				C <sub>ab</sub>			
		SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	p	SQ	MQ	F	P	SQ	MQ	F	p
Carreador	3	88,5	29,5	50,4	<0,001*	301,07	100,36	403,62	<0,001*	256,07	85,36	418,2	<0,001*	1157,7	371,9	868,0	<0,001*	45,79	15,26	57,7	<0,001*
Concentração	2	131,9	66,0	112,7	<0,001*	1179,37	589,68	2371,62	<0,001*	164,08	82,04	402,0	<0,001*	2948,2	1474,1	34339	<0,001*	28,31	14,16	53,5	<0,001*
Erro	30	17,1	0,57			19,04	0,635			10,08	0,336			59,2	1,973			0,661			

Os parâmetros L (luminosidade), a (coordenada vermelho/verde; +a indica vermelho e -a indica verde), b (coordenada amarelo/azul; +b indica amarelo e -b indica azul);  $h_{ab}$  (ângulo hue) e  $C_{ab}$  (croma) foram estatisticamente influenciados ( $p \leq 0,05$ ) pelas mudanças propostas nos blocos e tratamentos.

Os respectivos valores médios de cada um dos parâmetros, obtidos com as modificações do carreador e concentração, bem como os respectivos testes de Tukey, estão apresentados na Tabela 4.16 e 4.17.

Tabela 4.16 – Teste de Tukey para os parâmetros colorimétricos do pó de AB obtido na liofilização

<b>Carreador</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>h_{ab}^{\circ}</math></b>	<b><math>C_{ab}</math></b>
AM	65,53 <sup>a</sup>	-28,44 <sup>a</sup>	33,98 <sup>b</sup>	129,96 <sup>a</sup>	44,42 <sup>b</sup>
GA	69,05 <sup>b</sup>	-30,79 <sup>b</sup>	27,83 <sup>a</sup>	137,86 <sup>b</sup>	41,56 <sup>a</sup>
MA	68,78 <sup>b</sup>	-30,94 <sup>b</sup>	28,60 <sup>a</sup>	137,29 <sup>b</sup>	42,23 <sup>a</sup>
CH	63,59 <sup>a</sup>	-28,70 <sup>a</sup>	33,67 <sup>b</sup>	130,46 <sup>a</sup>	44,32 <sup>b</sup>
<b>Concentração</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>h_{ab}^{\circ}</math></b>	<b><math>C_{ab}</math></b>
10%	64,06 <sup>a</sup>	-32,04 <sup>c</sup>	28,76 <sup>a</sup>	138,15 <sup>c</sup>	43,13 <sup>a,b</sup>
20%	66,94 <sup>b</sup>	-29,46 <sup>b</sup>	30,81 <sup>b</sup>	133,81 <sup>b</sup>	42,74 <sup>b</sup>
30%	69,22 <sup>c</sup>	-27,66 <sup>a</sup>	33,48 <sup>c</sup>	129,70 <sup>a</sup>	43,52 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Tabela 4.17 – Teste de Tukey para os parâmetros colorimétricos do pó de AB obtido em leite de jorro

<b>Carreador</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>h_{ab}^{\circ}</math></b>	<b><math>C_{ab}</math></b>
AM	62,26 <sup>a</sup>	-12,56 <sup>a</sup>	36,49 <sup>b</sup>	108,98 <sup>a</sup>	39,04 <sup>b</sup>
GA	65,33 <sup>b</sup>	-19,18 <sup>c</sup>	30,90 <sup>a</sup>	121,44 <sup>c</sup>	36,88 <sup>a</sup>
MA	65,30 <sup>b</sup>	-19,03 <sup>c</sup>	31,42 <sup>a</sup>	120,96 <sup>c</sup>	37,34 <sup>a</sup>
CH	62,11 <sup>a</sup>	-14,36 <sup>b</sup>	36,47 <sup>b</sup>	111,45 <sup>b</sup>	39,57 <sup>b</sup>
<b>Concentração</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>h_{ab}^{\circ}</math></b>	<b><math>C_{ab}</math></b>
10%	61,29 <sup>a</sup>	-23,51 <sup>c</sup>	31,36 <sup>a</sup>	126,94 <sup>c</sup>	39,41 <sup>c</sup>
20%	64,00 <sup>b</sup>	-15,82 <sup>b</sup>	33,53 <sup>b</sup>	115,41 <sup>b</sup>	37,31 <sup>b</sup>
30%	65,96 <sup>c</sup>	-9,51 <sup>a</sup>	36,57 <sup>c</sup>	104,78 <sup>a</sup>	37,89 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados obtidos, os parâmetros de cor dos pós de AB foram localizados no segundo quadrante do diagrama de cor CIELAB (-a\* e +b\*), correspondendo a região do verde e amarelo (Figura 4.4 e 4.5). A utilização dos diferentes tipos de agentes carreadores e de diferentes concentrações, em ambos os processos de secagem, aumentou a luminosidade (maiores valores L\*), conferiu uma tonalidade um pouco mais amarelada

(maiores valores de  $b^*$ ) e diminuiu o aspecto esverdeado (menores valores de  $a^*$ ) característico da polpa de AB (coordenadas  $L^* = 61,07$ ,  $a^* = -42,47$  e  $b^* = +22,33$ ).

Figura 4.4 – Representação da localização de AB em pó liofilizado no espaço de cor CIELAB

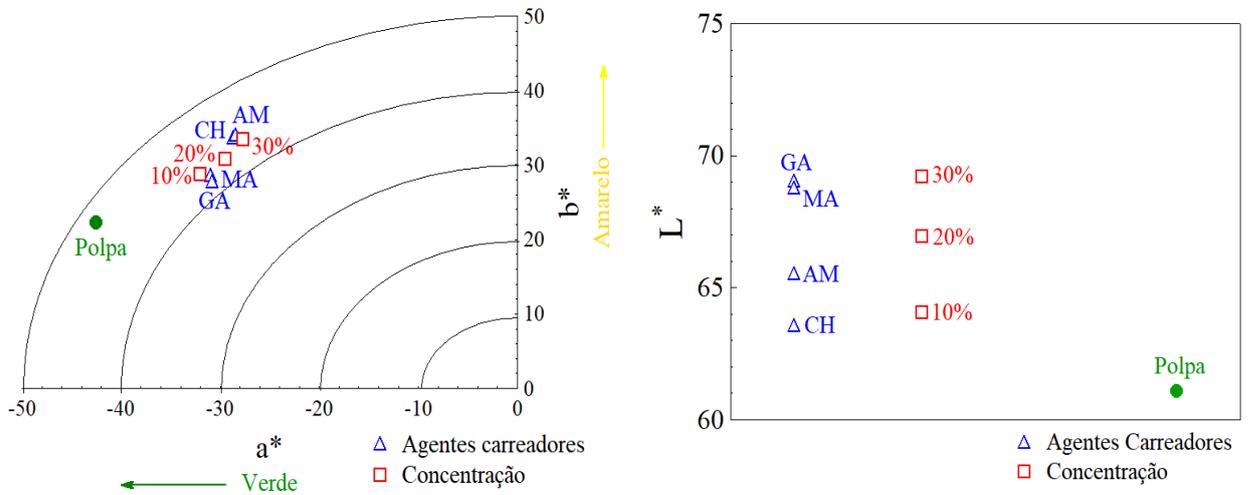
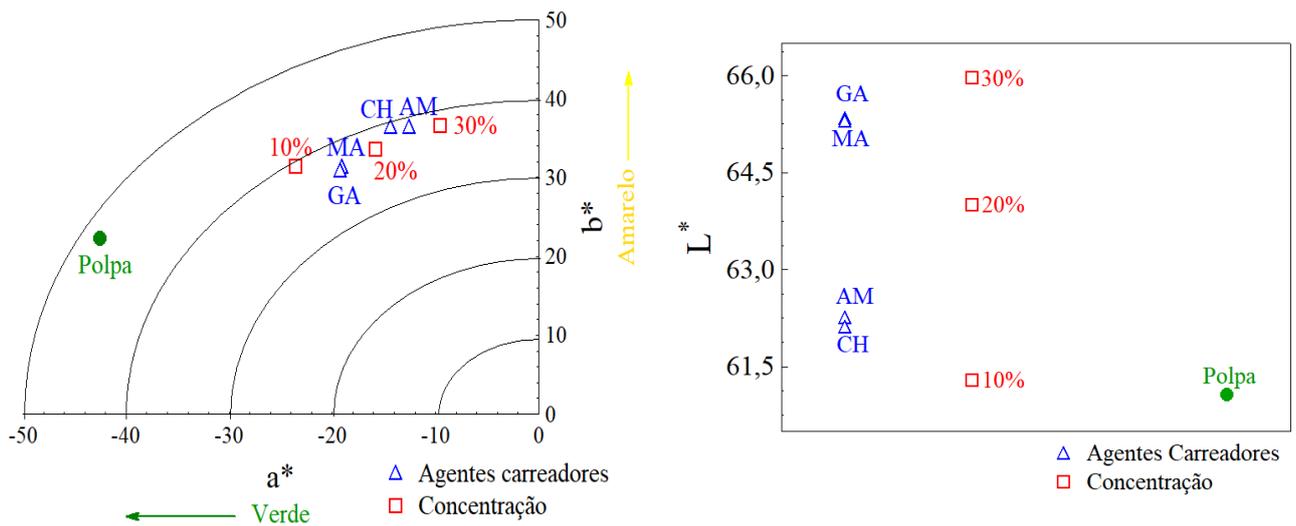


Figura 4.5 – Representação da localização de AB em pó obtido em leite de jorro no espaço de cor CIELAB



Segundo Adetoro *et al.* (2020) o aumento da luminosidade, devido a adição de agentes carreadores na polpa de fruta, já é um fenômeno característico ocasionado pelo efeito da diluição, naturalmente provocada pela cor branca do agente carreador.

Com relação aos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , as suas intensidades estão normalmente associadas a transformações química dos pigmentos e compostos bioativos presentes no alimento, ocasionadas pelo processo de secagem. Polat *et al.* (2022) e Fujita *et al.* (2013) ao avaliarem, respectivamente, mudanças colorimétricas nos pós de cenoura liofilizado e camu-camu obtido em leite de jorro, também observaram este mesmo comportamento.

Não houve diferença significativa entre os valores médios de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  dos pós de AB produzidos com MA e GA (Teste de Tukey – Tabela 4.16 e 4.17) e estes foram os agentes carreadores que melhor preservaram a identidade visual da polpa de AB, tanto na liofilização quanto na secagem em leite de jorro, conforme apresenta a Figura 4.4 e 4.5.

Este comportamento pode estar relacionado aos resultados de compostos Fenólicos, uma vez que os pós de AB produzidos com MA e GA apresentaram maior AAT (Tabela 4.8 e 4.9). Além disso, a coloração verde característica da polpa de AB também pode estar relacionada a presença de compostos fenólicos pigmentados e, a menor variação do parâmetro  $a^*$  dos pós de AB com a utilização de MA e GA, indicam boa preservação desses constituintes com esses agentes carreadores.

MA e GA já se mostraram mais suscetíveis na retenção de compostos pigmentados como antocianinas, carotenóides e clorofilas do que outros agentes carreadores conforme reportam Sendri *et al.* (2022), Álvarez-Hena *et al.* (2018) e Kang *et al.* (2019). Os pós de AB produzidos com MA e GA também apresentaram maiores valores de ângulo de tonalidade cromática (h) e menores valores de croma ( $C_{ab}$ ) indicando, respectivamente, pós mais perceptivelmente verde e menos saturado que os produzidos com CH e AM.

O aumento da concentração de agentes carreadores também modificou os parâmetros colorimétricos da polpa de AB. Com o aumento da quantidade de carreador, a luminosidade foi mais evidente nos pós produzidos (Figura 4.4 e 4.5), principalmente devido a influência da cor natural branca do agente carreador, em maior concentração. Esse comportamento também afetou as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , uma vez que os pós produzidos com 30% de agente carreador apresentaram tonalidades mais amareladas e menos esverdeada do que os pós de AB produzidos com 20 e 10%, fenômeno também devido ao efeito da diluição colorimétrica.

Assim, o AB em pó, obtido com 10% de agente carreador em ambos os processos de secagem, melhor se aproximou das características visuais da polpa de AB. Nesta condição, as amostras obtidas em leite de jorro, apresentaram luminosidade muito próximas as da polpa.

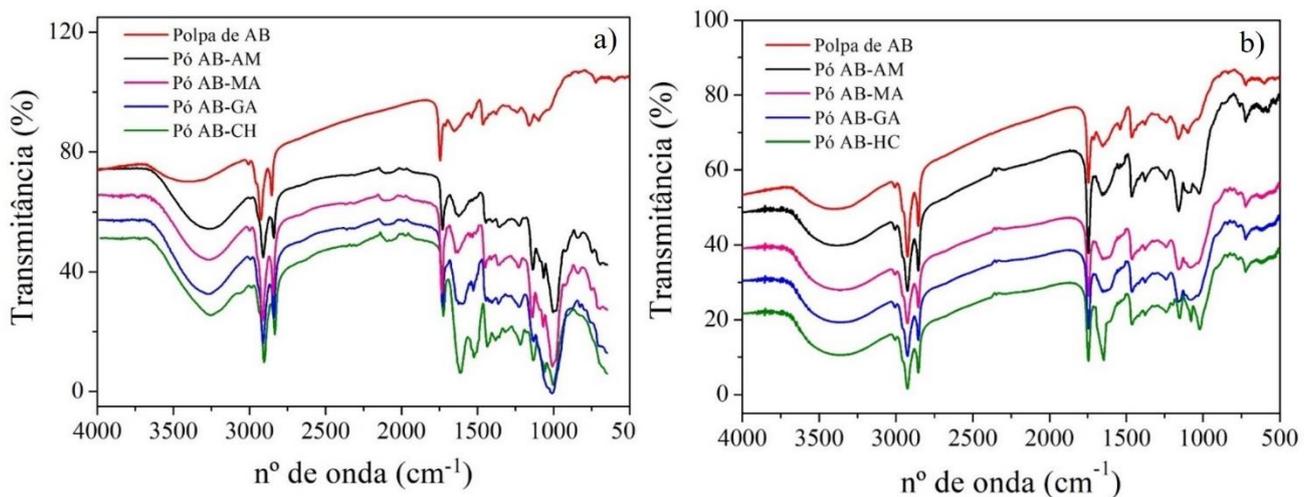
Essa característica pode ser devida a um possível escurecimento da pasta, durante o processo de secagem, uma vez que o leite de jorro opera a ar quente, e reações de escurecimento enzimático, podem ter sido responsáveis pela ocorrência da diminuição da luminosidade.

#### 4.4.3 Espectroscopia de absorção no infravermelho

A espectroscopia de absorção no infravermelho por transformada de Fourier é uma técnica que se baseia em frequências específicas de vibração, que variam de acordo com a estrutura, composição e o modo de vibração da amostra. Nesse sentido, as variações de concentração de um mesmo agente carreador, não promoveriam modificações substanciais na composição dos espectros de FTIR, ou seja, os grupos funcionais presentes nos pós de AB formulados com 10%, 20% e 30% de um mesmo agente carreador seriam identificados de igual modo.

Em contrapartida, devido a diferença na estrutura química, os diferentes tipos de agentes carreadores utilizados tanto na liofilização quanto na secagem em leite de jorro da polpa de AB, apresentaram diferenças nos espectros de absorção, conforme apresentado na Figura 4.6a e 4.6b.

Figura 4.6 – FTIR dos pós de AB produzidos na (a) Liofilização e em (b) Leite de Jorro.



Bandas intensas e largas com variação do número de onda entre 3450 a 3250  $\text{cm}^{-1}$ , presentes tanto na polpa quanto nos pós de AB, estão associadas à ligação OH, correspondente aos grupos C-OH e à água fisicamente adsorvida (SUBRAMANIAN *et al.*, 2005). Bandas de 2926 e 2985  $\text{cm}^{-1}$  estão relacionadas a grupos de hidrocarbonetos saturados, especificamente estiramentos de grupos metil ( $-\text{CH}_3$ ) e grupo metileno ( $-\text{CH}_2$ ). Segundo Favaro *et al.* (2018)

essas bandas são indicativas de presença de clorofila na amostra, importante pigmento que confere coloração verde a vegetais e frutas e excelente fonte de nutrientes antioxidantes.

Bandas de absorção em aproximadamente  $1746\text{ cm}^{-1}$ , identificadas em todas as amostras de AB, já foram atribuídas por Simão (2022), em polpa de açaí roxo, como pertencente a alongamentos vibracionais C=O originados da esterificação de grupos carboxila em lipídios. Em número de onda de aproximadamente  $1656\text{ cm}^{-1}$ , a banda de absorção é atribuída ao estiramento da carbonila, mais intensificada em AB-CH, devido a presença da amida I, presente no colágeno, conforme reportado Vargas-Muñoz e Kurozawa (2020). A banda de absorção em  $1520\text{ cm}^{-1}$ , também mais evidenciada em AB-CH é relacionada a amida II, devido as vibrações no plano da ligação N-H e ao estiramento C-N (TONHI e PLEPIS, 2002).

O pico de absorção em  $1462\text{ cm}^{-1}$  na polpa de AB foi atribuído às vibrações de alongamento C=C do anel aromático em flavonóides, bem como aovibrações de flexão (tesoura) dos grupos alifáticos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  em lipídios (SIMÃO, 2022). Esta banda esteve presente também em todas as amostras de AB em pó, indicando boa preservação destes constituintes, mesmo após o processo de liofilização e da secagem em leito de jorro.

As bandas de  $1160\text{ cm}^{-1}$  são ocasionadas pelo estiramento da ligação C-O e a  $1015\text{ cm}^{-1}$ , mais intensa nos pós de AB, relacionadas com deformações angulares de ligações de =CH e =CH<sub>2</sub>, todas de grupos encontrados nos carboidratos e proteínas, portanto, bantas típicas da maltodextrina, goma arábica, amido modificado e colágeno hidrolisado (KHALIFA *et al.*, 2019; VARGAS-MUÑOZ e KUROZAMS, 2020).

De uma forma geral os espectros dos pós de AB-AM, AB-MA, AB-GA e AB-CH se assemelham ao espectro obtido da polpa de AB in natura, indicando que os pós de AB apresentaram estruturas e grupos químicos similares aos da polpa mesmo após os processos de secagem utilizados.

#### **4.4.4 Morfologia e Espectroscopia de Energia Dispersiva de raios X**

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) exibiu pós de AB com diferentes aspectos, conforme podem ser observados na Figura 4.7 e 4.7 (1) bem com, nas figuras 4.8 e 4.8(1), para os pós produzidos na liofilização e em leito de jorro, respectivamente.

Figura 4.7-Amostras de Pós de AB obtidos por Liofilização

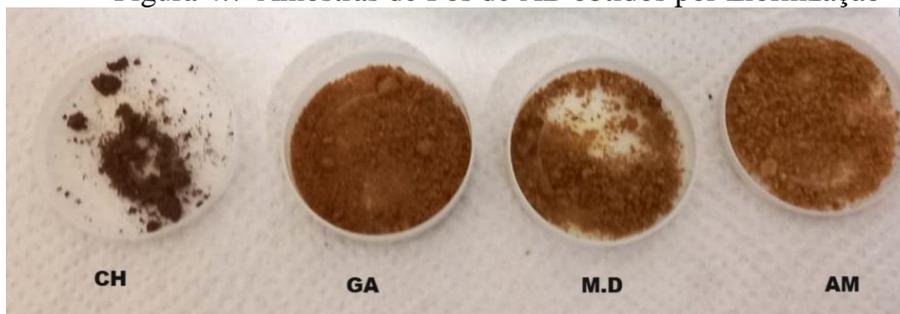


Figura 4.7(1) – Morfologia e EDS dos pós de AB Liofilizados

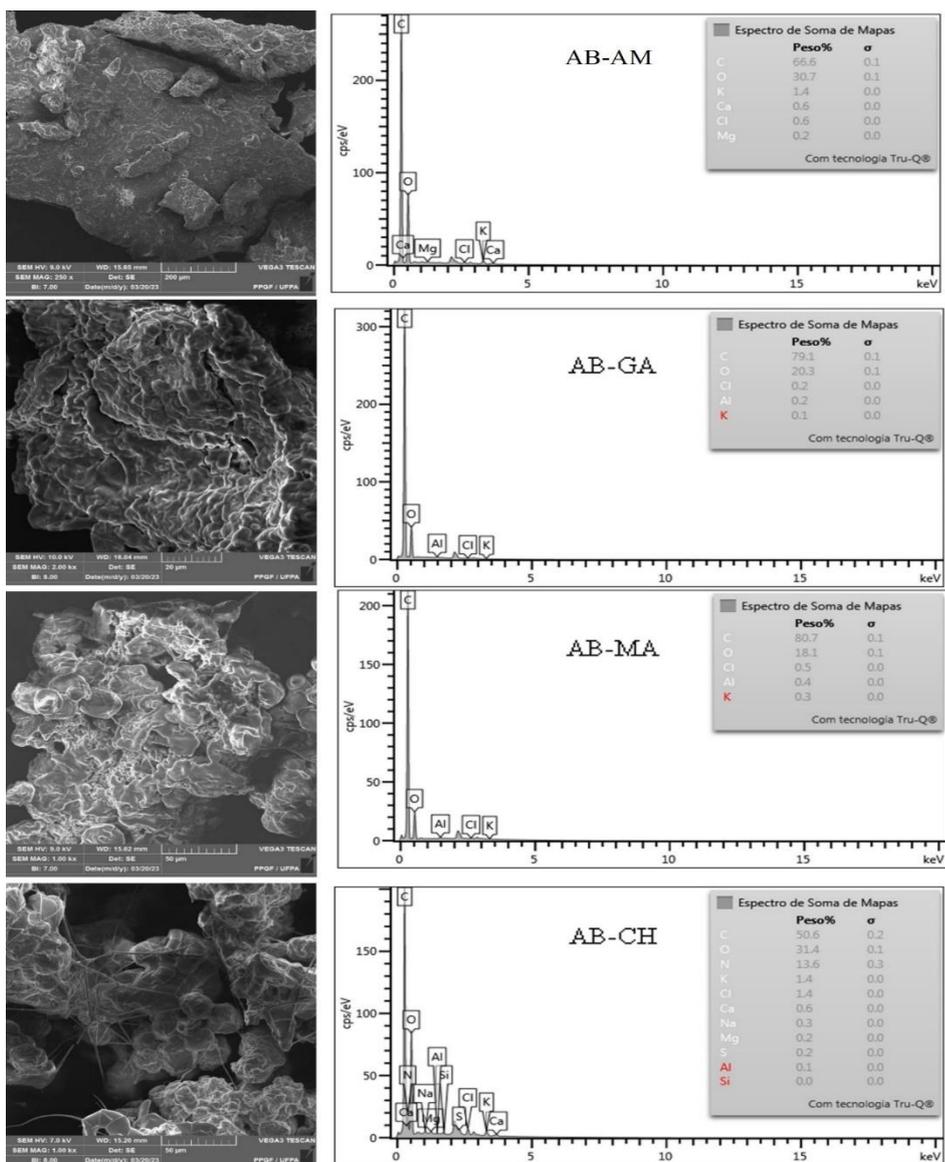


Figura 4.8 – Amostras de pós de AB obtidos em Leito de Jorro

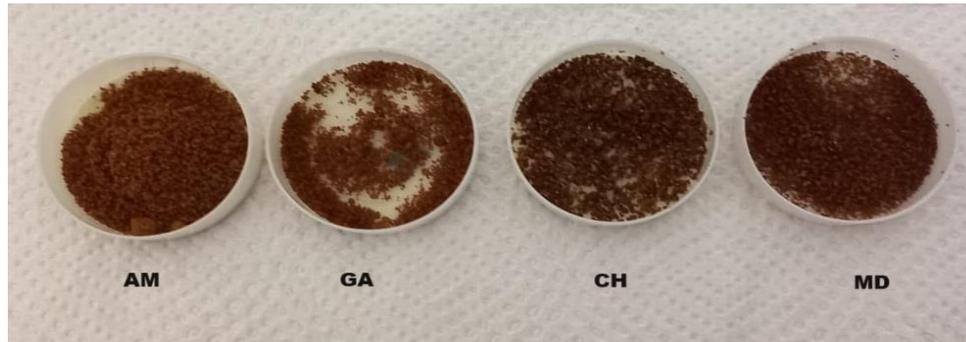
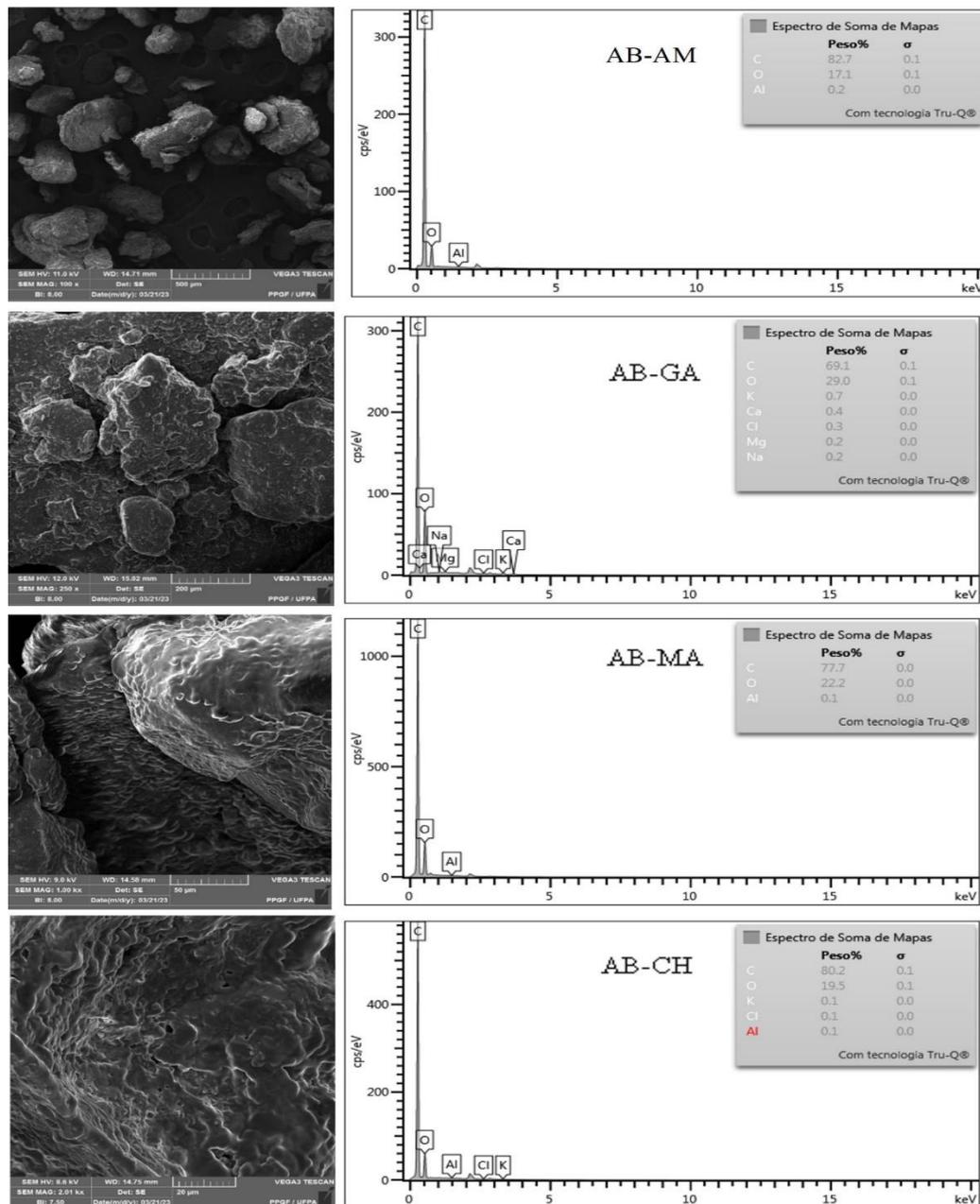


Figura 4.8(1) – Morfologia e EDS dos pós de AB obtidos em Leito de Jorro



Na liofilização, as amostras de AB-MA e AB-CH apresentaram formatos esféricos, que são formatos característicos do processo de liofilização (GUO *et al.*, 2022). No pó de AB-GA foi mais bem observado a presença de microesferas, possivelmente de gordura, aderidas sobre a superfície das partículas em pó. Como a goma rábica, dentre os agentes carreadores, é o coadjuvante que melhor possui propriedade emulsificante (ANANDHARAMAKRISHNAN e ISHWARYA, 2015), a sua interação com os lipídios (constituintes marcantes da polpa de AB) é mais acentuada.

Na secagem em leito de jorro, todos os pós obtidos apresentaram formas irregulares, além de algumas fundições e achatamentos. Essas características podem estar associadas à deformação mecânica que o material é submetido durante a secagem em leito de jorro (CUNHA, CRUZ, e MENEGALLI, 2006). Também foram observadas microesferas aderidas a superfície dos pós produzidos com GA, MA e CH. Este comportamento também foi observado na secagem de pasta de leite-amora preta em leito de jorro (BRAGA e ROCHA, 2013).

Analisando os espectros de energia dispersiva dos pós de AB, observa-se a presença majoritária de carbono e oxigênio nas amostras, devido ao caráter orgânico do produto. As amostras liofilizadas apresentaram maior variabilidade de constituintes identificados, quando comparadas com os pós obtidos em leito de jorro. Esse comportamento pode ser um indicativo de melhor preservação de constituintes da polpa durante o processo de liofilização, uma vez que o leito de jorro opera a maiores temperaturas e degradação de constituintes podem acontecer durante o processo de secagem.

Um teor significativo de nitrogênio foi quantificado (13,6% em peso) na amostra de AB-CH, o que já era esperado, uma vez que o nitrogênio é um dos componentes químicos das proteínas, e em geral não é encontrado nos carboidratos e lipídios (DAMODARAN e PARKIN, 2018). Entretanto, em pós de AB-CH produzidos em leito de jorro, não foi quantificável teores de nitrogênio, sendo assim um indicativo de degradação deste elemento durante o processo de secagem.

Outros elementos como K, Na, Al, S, Cl, Ca e Mg foram identificados em menores quantidades ( $\leq 1,4\%$  em peso). Como a EDS acoplada ao MEV, em geral, é considerada uma técnica de análise elementar semiquantitativa (VALENTE *et al.*, 2019), a presença de alguns desses constituintes podem ser justificadas pela própria característica da matéria prima, precisão do equipamento, contaminação, erros procedimentais ou a ocorrência de reações enzimáticas, dada a característica orgânica do produto.

## 4.5 VALIDAÇÃO DA ANOVA

### 4.5.1 Independência dos Resíduos

Para as respostas avaliadas: rendimento, umidade, fenólicos totais, atividade antioxidante, higroscopicidade, solubilidade, fluidez e parâmetros colorimétricos (L, a, b,  $h^{\circ}$  e  $C_{ab}$ ), observa-se na Figura 4.9 para o pó de AB liofilizado e na Figura 4.10 para o pó de AB obtido em leite de jorro que os resíduos são independentes. A plotagem dos resíduos na ordem temporal da coleta de dados é útil para detectar se existe correlação entre os resíduos.

Segundo Montgomery (2013) a independência dos resíduos é o principal pressuposto para a validação da ANOVA, a não observância a esse pressuposto é um problema potencialmente sério e difícil de corrigir. Entretanto, examinando as Figuras 4.9 e 4.10 não há razão para suspeitar de qualquer violação das suposições de independência. Observa-se ainda a ausência de dados discrepantes (fora do intervalo +3 e -3), que são resíduos muito maiores que outros e que podem distorcer a análise de variância.

Figura 4.9 – Independência dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) fenólicos totais e d) atividade antioxidante do AB em pó liofilizado

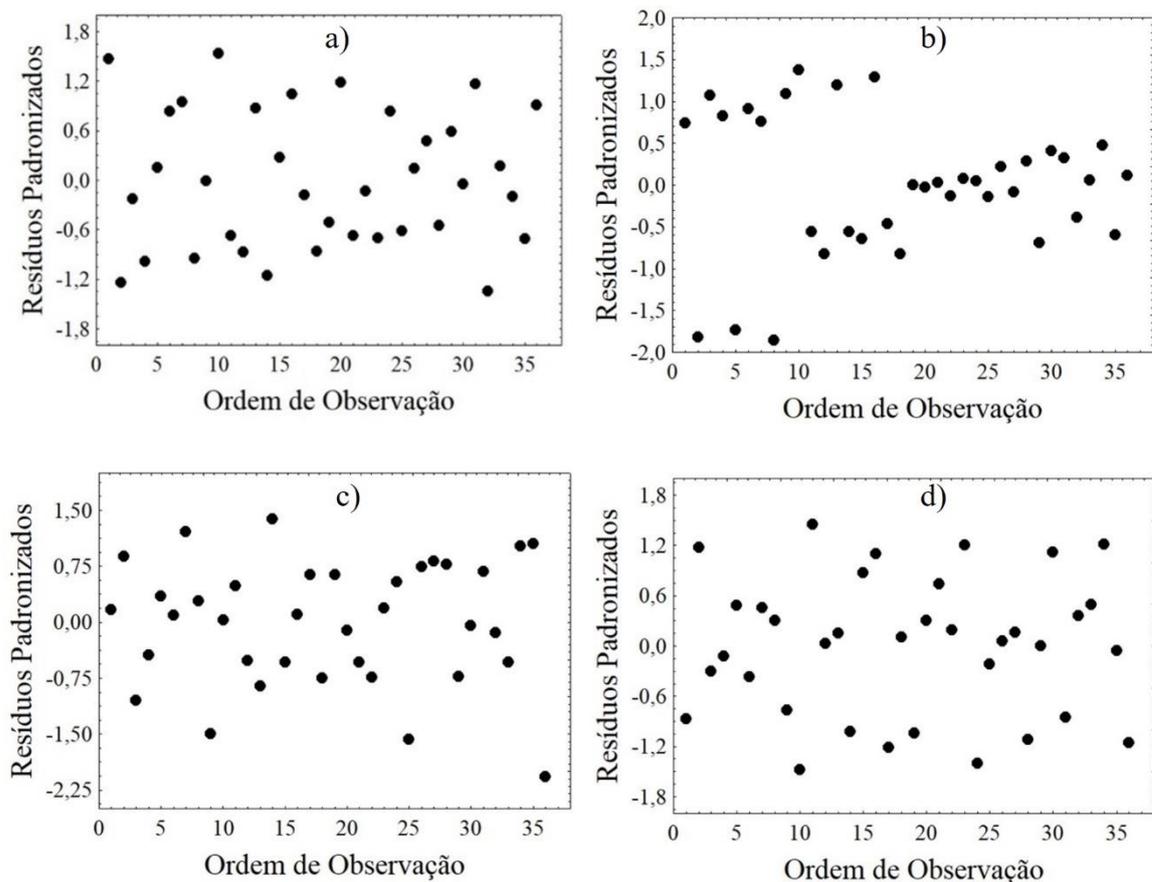


Figura 4.9 (cont.) – Independência dos resíduos para e) Higroscopicidade, f) Solubilidade, g) Fluidez, h) Luminosidade, i) Parâmetro  $a^*$ , j) Parâmetro  $b^*$  k) Angulo hue e l) Croma do pó de AB em pó liofilizado

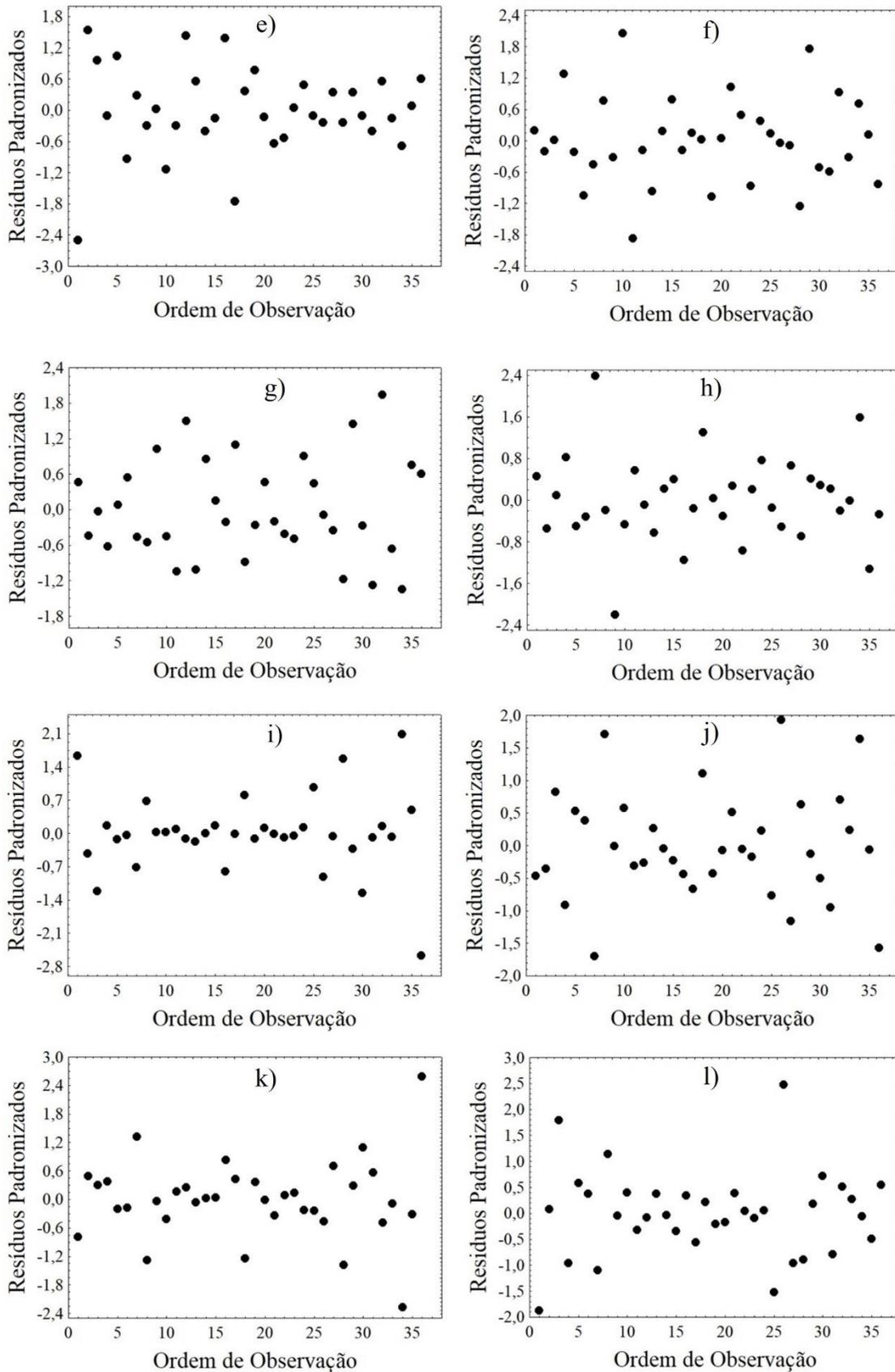


Figura 4.10 – Independência dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) fenólicos totais, d) atividade antioxidante, e) higroscopicidade, f) solubilidade, g) fluidez, h) Luminosidade do AB em pó obtido em leite de jorro

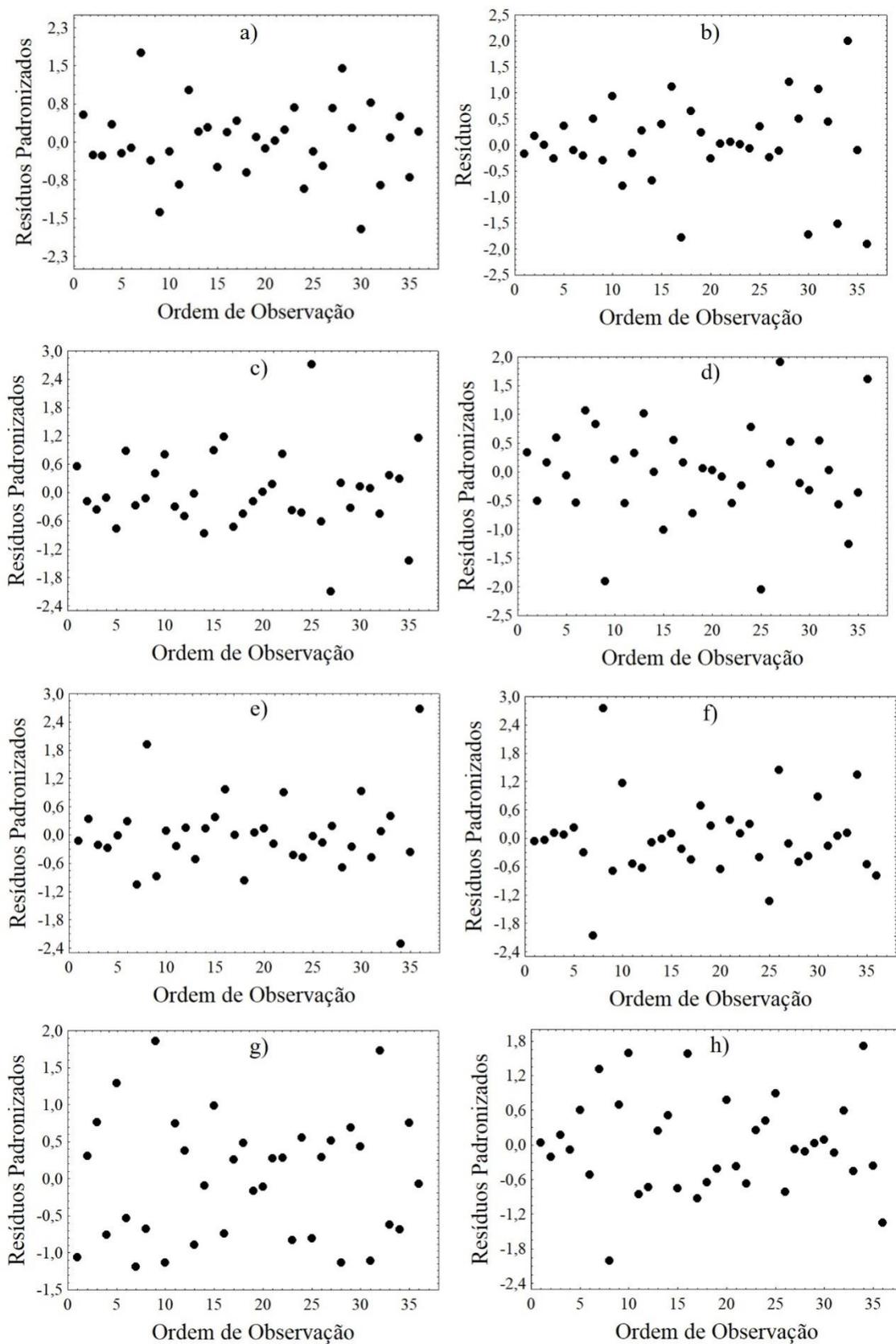
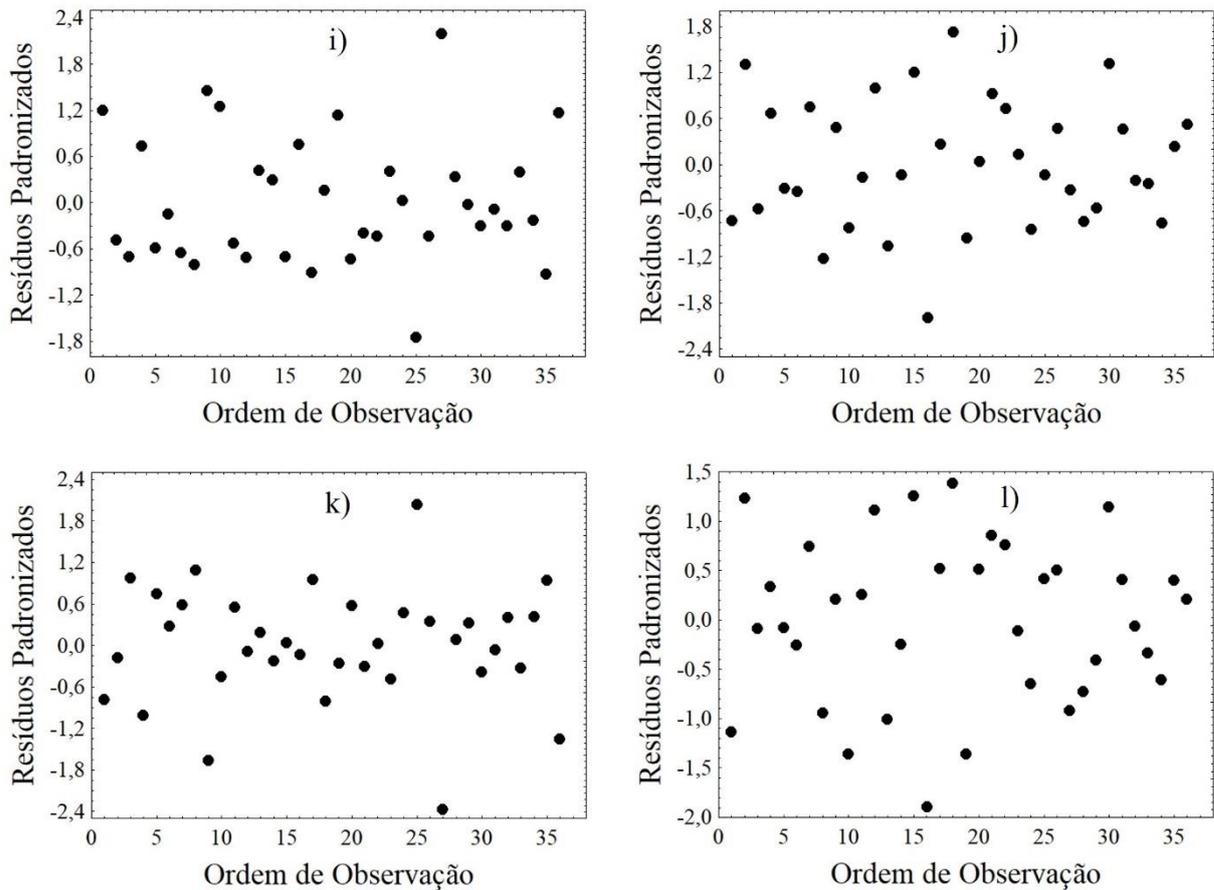


Figura 4.10 (cont.) – Independência dos resíduos para i) Parâmetro  $a^*$ , j) Parâmetro  $b^*$  k) Angulo hue e l) Cromo do pó de AB obtido em leito de jorro



#### 4.5.2 Homogeneidade das variâncias

Para as respostas avaliadas: rendimento, umidade, fenólicos totais, atividade antioxidante, higroscopicidade, solubilidade, fluidez e parâmetros colorimétricos ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $h^{\circ}$  e  $C_{ab}$ ), observa-se na Figura 4.11 para o pó de AB liofilizado e na Figura 4.12 para o pó de AB obtido em leito de jorro, um indicativo de homogeneidade das variâncias. A plotagem dos resíduos versus os tratamentos e blocos é útil para indicar se as variâncias são constantes ou homogêneas, ou, se existe homocedasticidade (MONTGOMERY, 2013).

Esse pressuposto, quando violado, ligeiramente afeta a ANOVA, principalmente quando é utilizado modelo de ANOVA de efeitos fixos (tamanhos amostrais iguais em todos os tratamentos). Entretanto, examinando as Figuras 4.11 e 4.12 não há indicativos para duvidar da homogeneidade das variâncias.

Figura 4.11 – Resíduos *versus* Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para a) rendimento, b) umidade, c) FT e d) AAT dos pos liofilizados

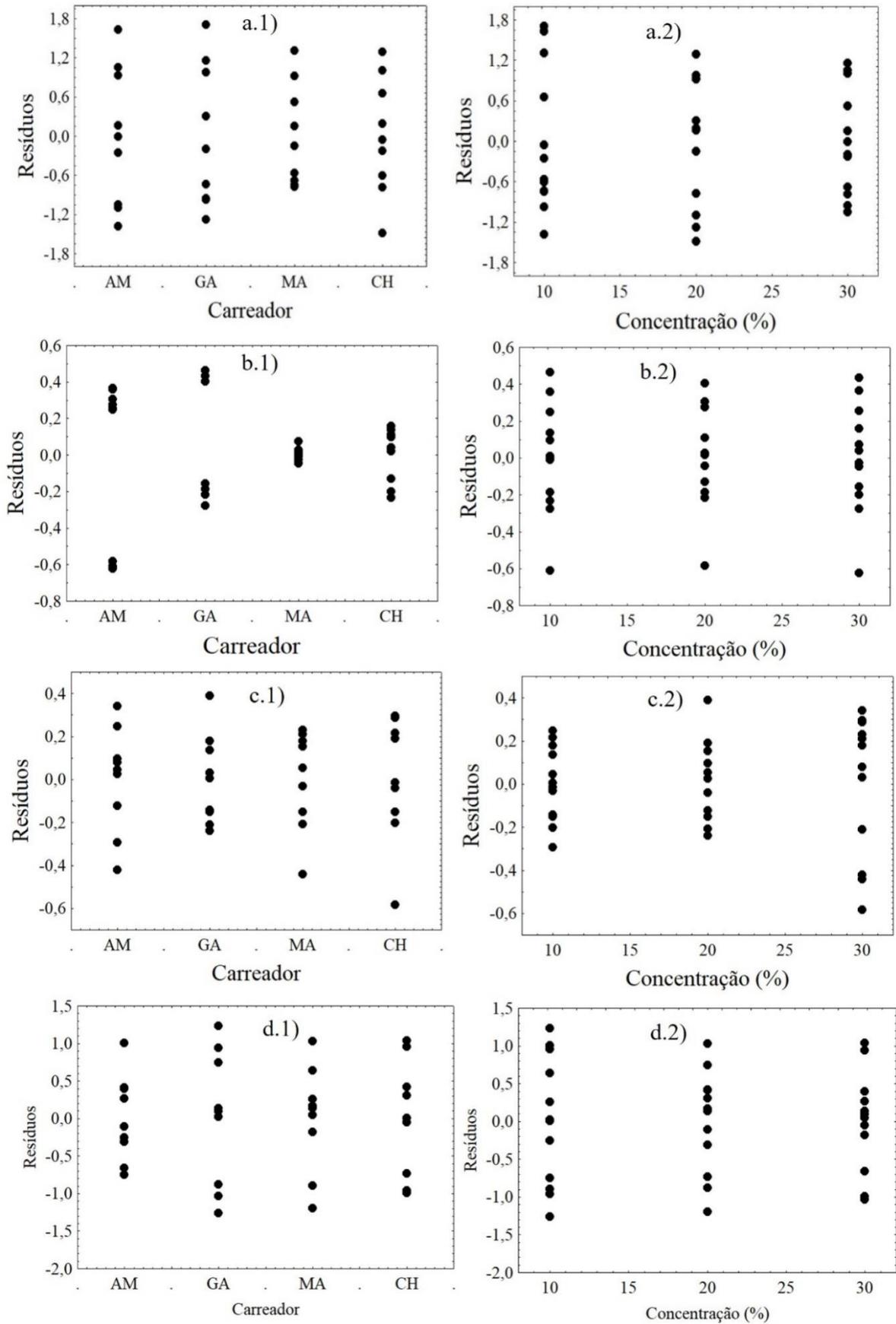


Figura 4.11 – Resíduos *versus* Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para e) higroscopicidade, f) solubilidade, g) fluidez e h) Luminosidade dos pós liofilizados

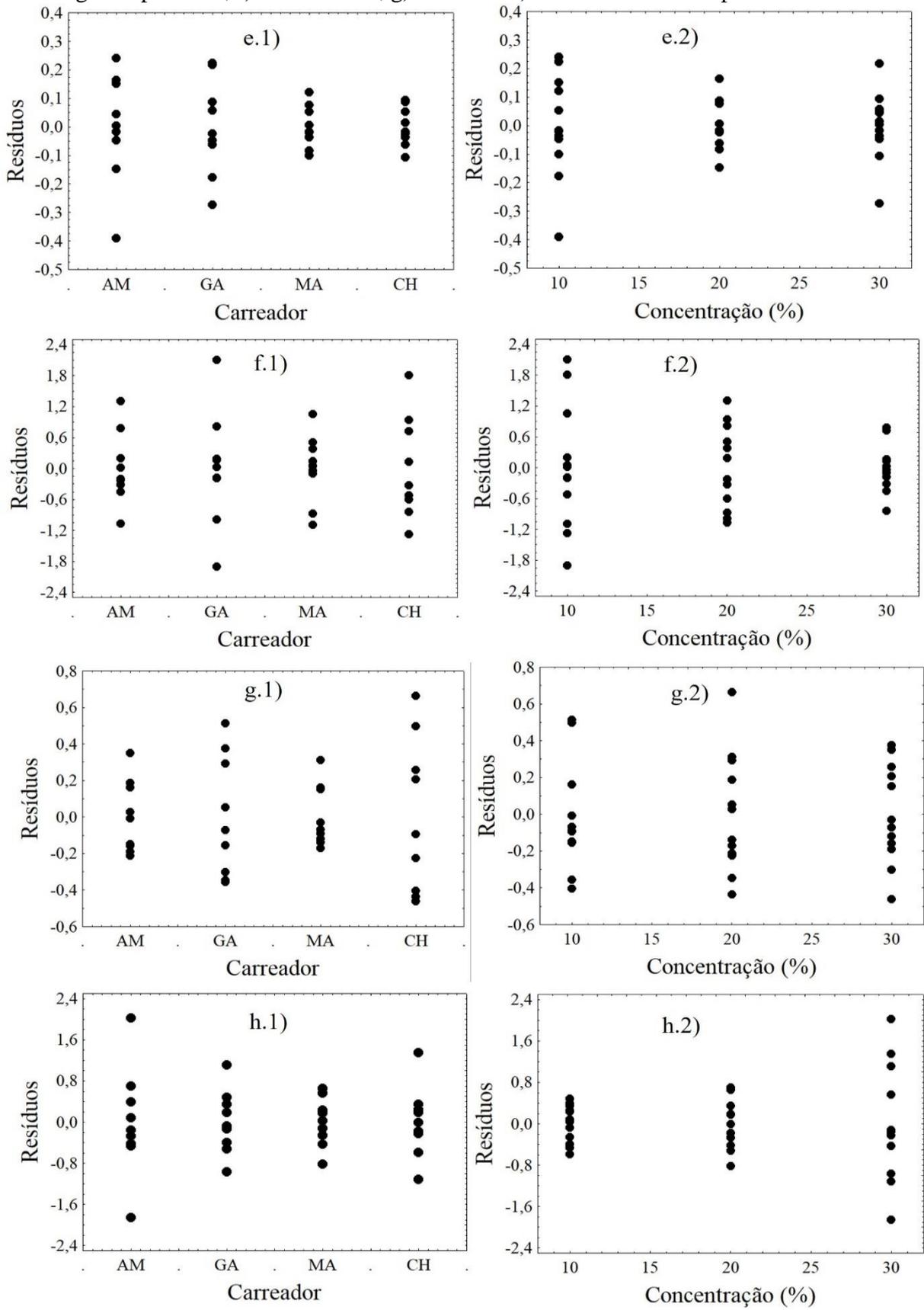


Figura 4.11 – Resíduos *versus* Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para i) Parâmetro a\*, j) Parâmetro b\* k) Angulo hue e l) Cromo dos pós liofilizados

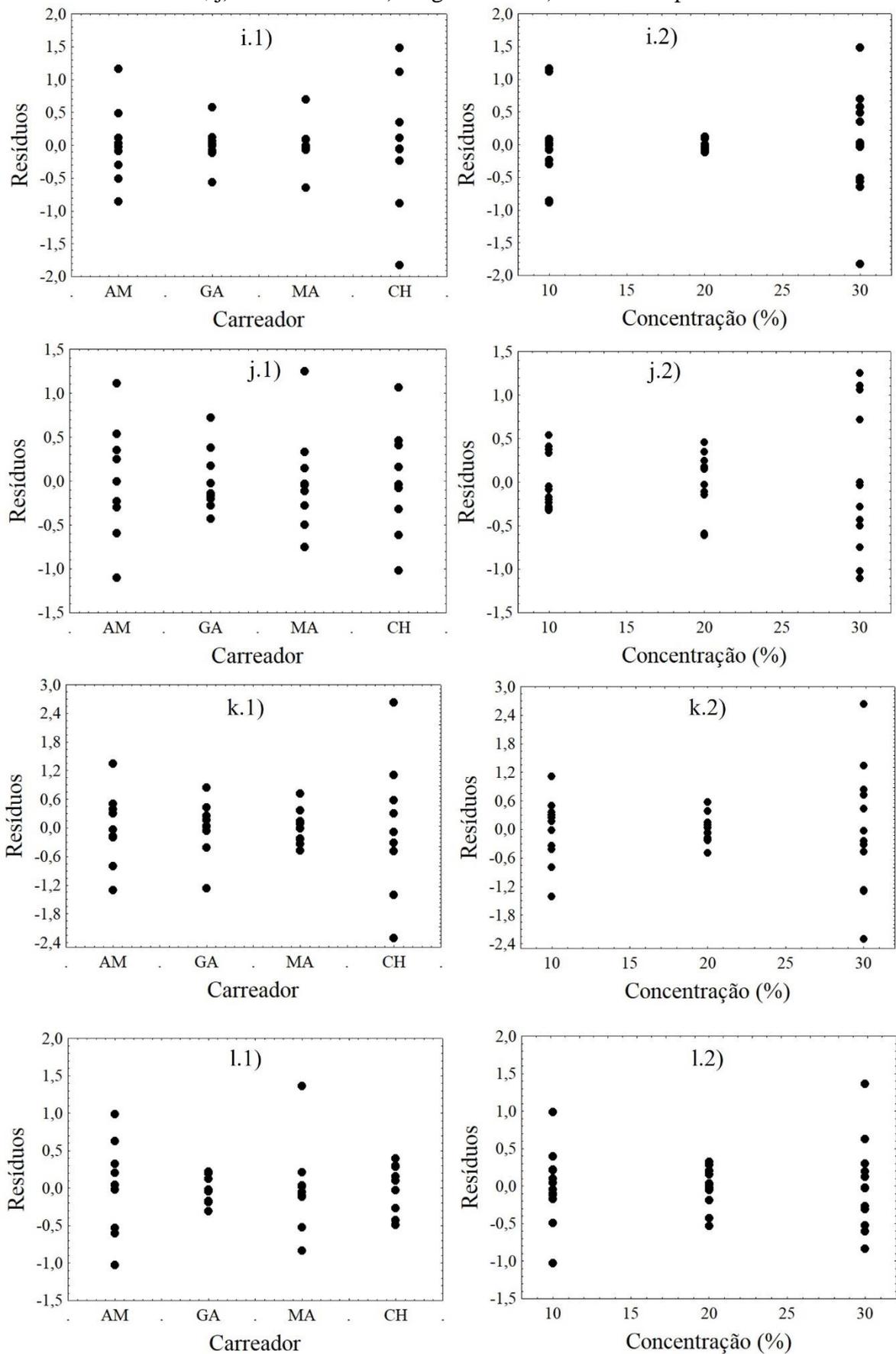


Figura 4.12 – Resíduos *versus* Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para a) rendimento, b) umidade, c) FT e d) AAT dos pos obtidos em leite de jorro

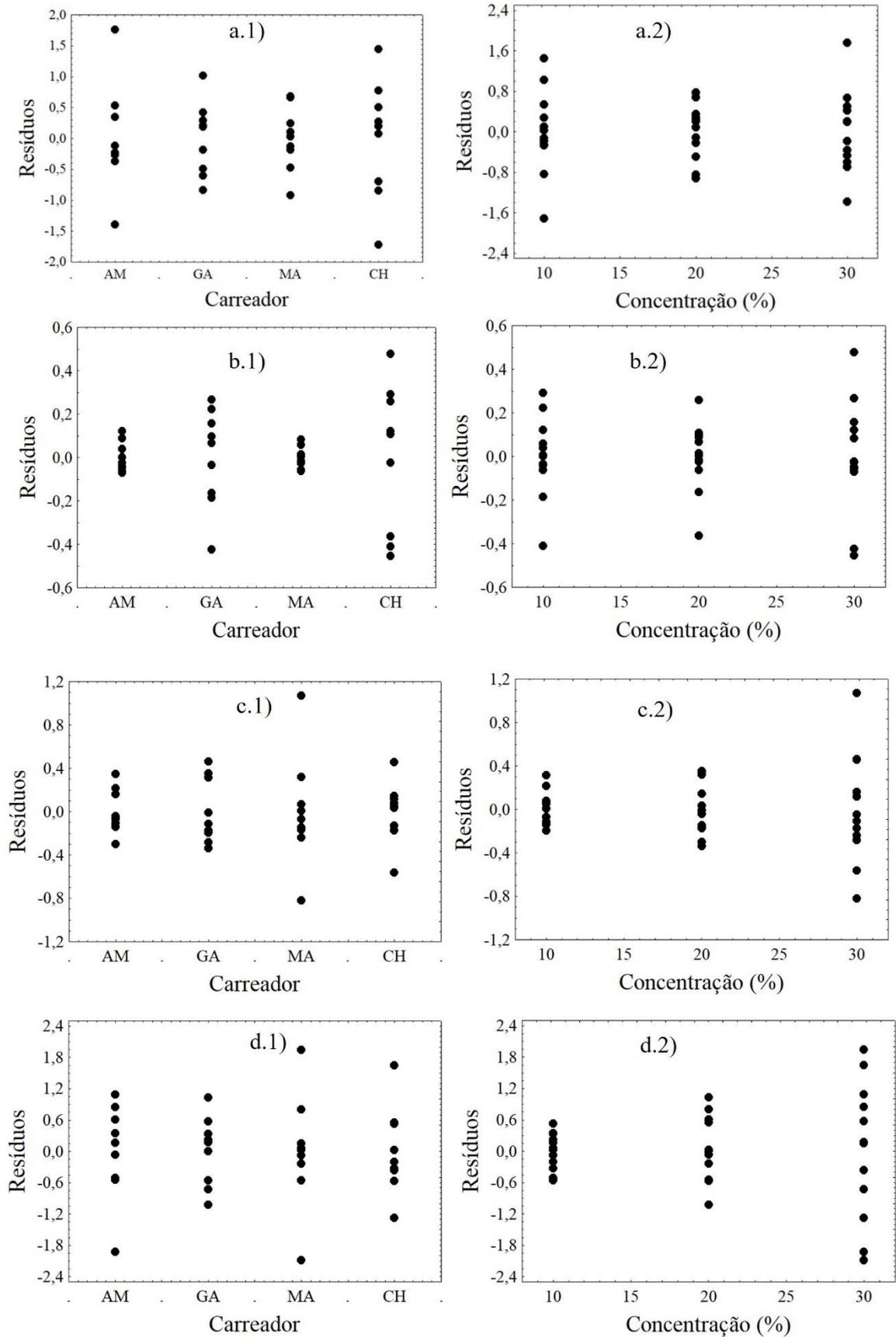


Figura 4.12 – Resíduos *versus* Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para e) higroscopicidade, f) solubilidade, g) fluidez e h) Luminosidade dos pós obtidos em leito de jorro

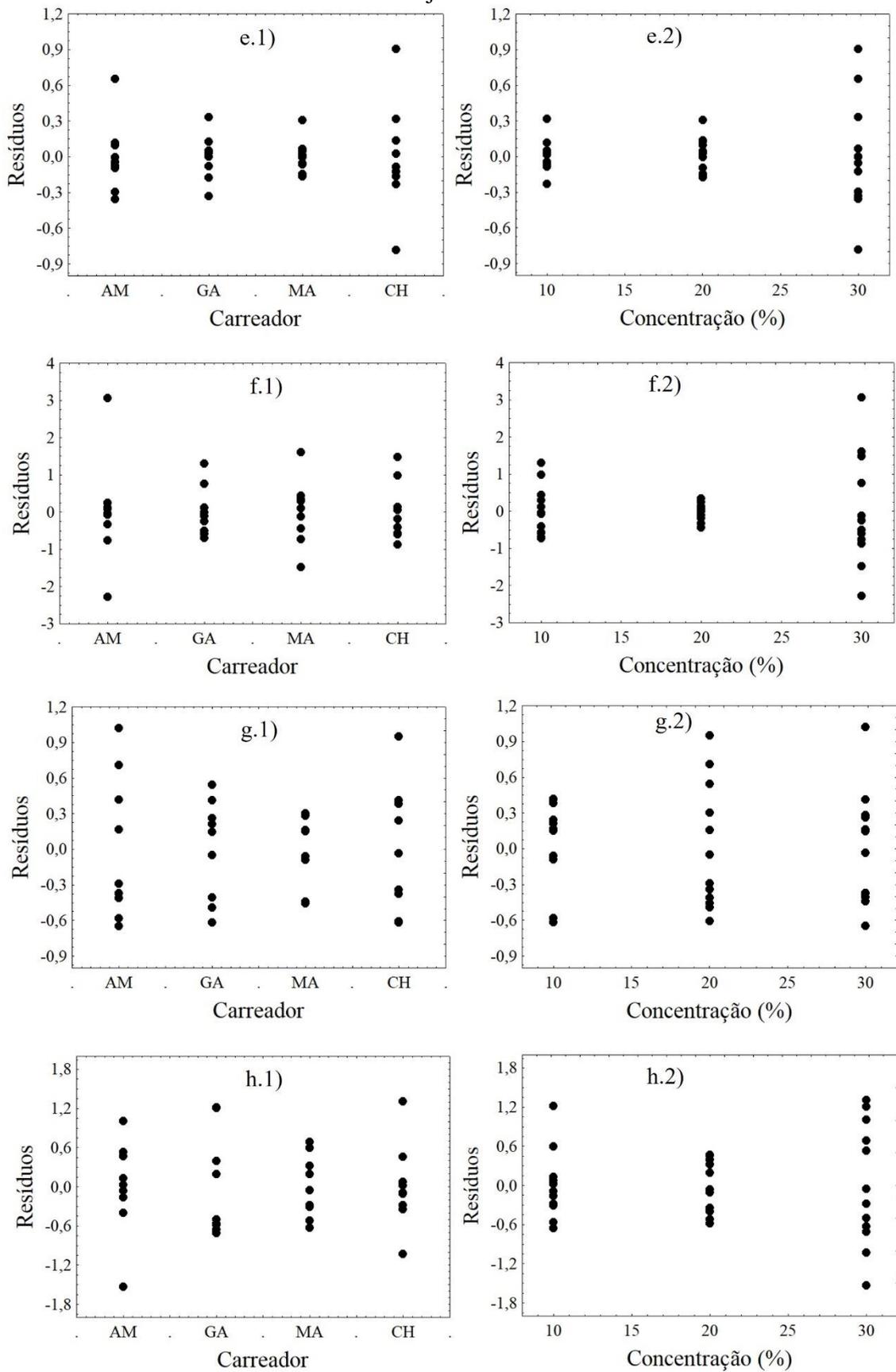
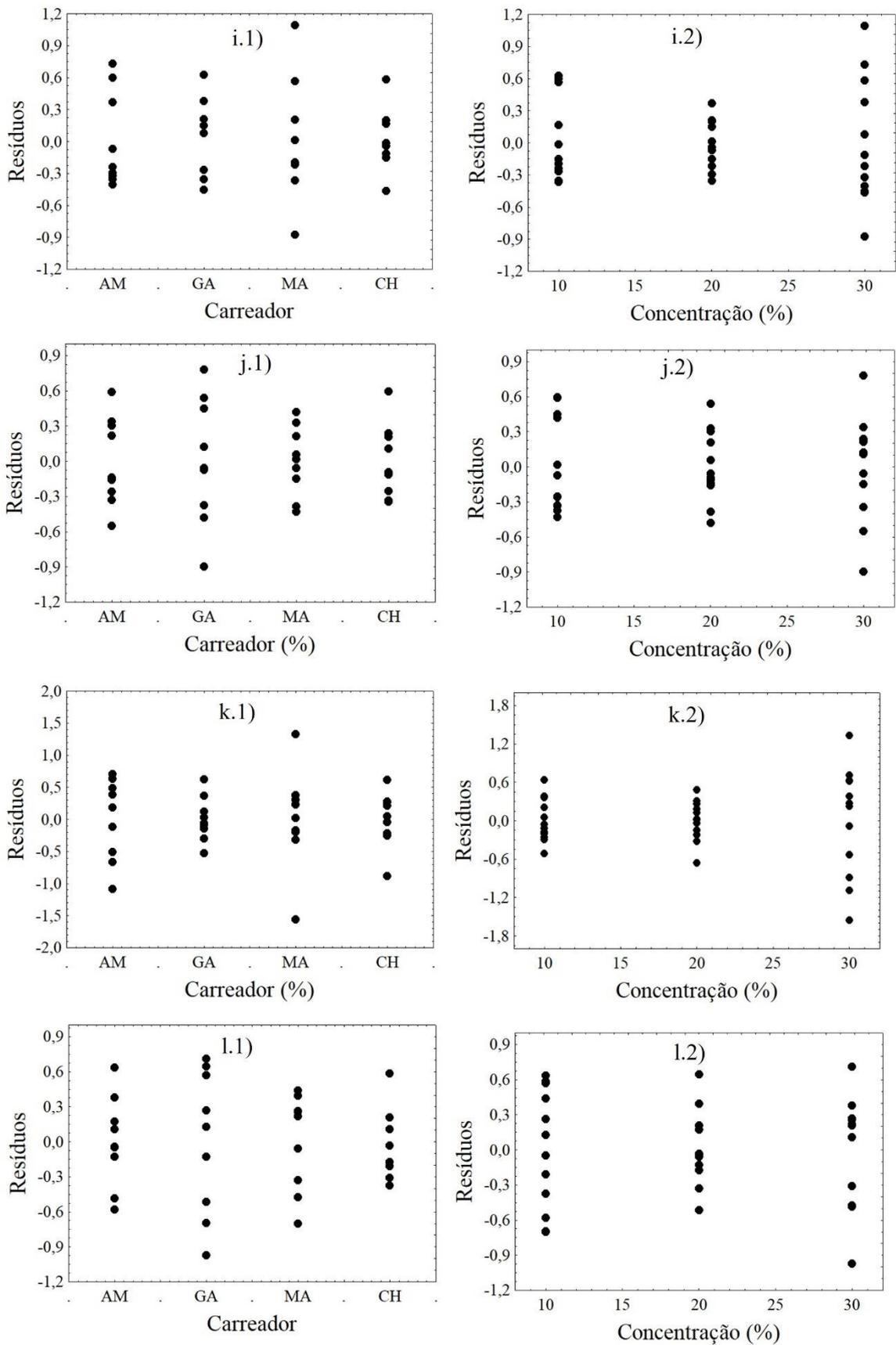


Figura 4.12 – Resíduos *versus* Tratamentos (carreador) e blocos (concentração) para i) Parâmetro a\*, j) Parâmetro b\* k) Angulo hue e l) Cromo dos pós obtidos em leite de jorro



### 4.5.3 Normalidade dos Resíduos

A normalidade dos resíduos pode ser observada através dos gráficos de probabilidade normal dos resíduos para cada uma das respostas: rendimento, umidade, fenólicos totais, atividade antioxidante, higroscopicidade, solubilidade, fluidez e parâmetros colorimétricos ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $h^\circ$  e  $C_{ab}$ ) dos pós de AB obtidos na liofilização (Figura 4.13), quanto em leito de jorro (Figura 4.14).

O exame das Figuras 4.13 e 4.14, evidencia que os pontos estão dispostos em torno de uma reta que passa pela origem e possui coeficiente angular igual a 1, ou seja, uma reta de  $45^\circ$ . Nesse sentido, os erros têm uma distribuição de probabilidade normal, o que significa dizer que a suposição de normalidade pode ser considerada satisfeita.

Figura 4.13 – Gráfico de Probabilidade Normal dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) fenólicos totais e d) atividade antioxidante do AB em pó liofilizado

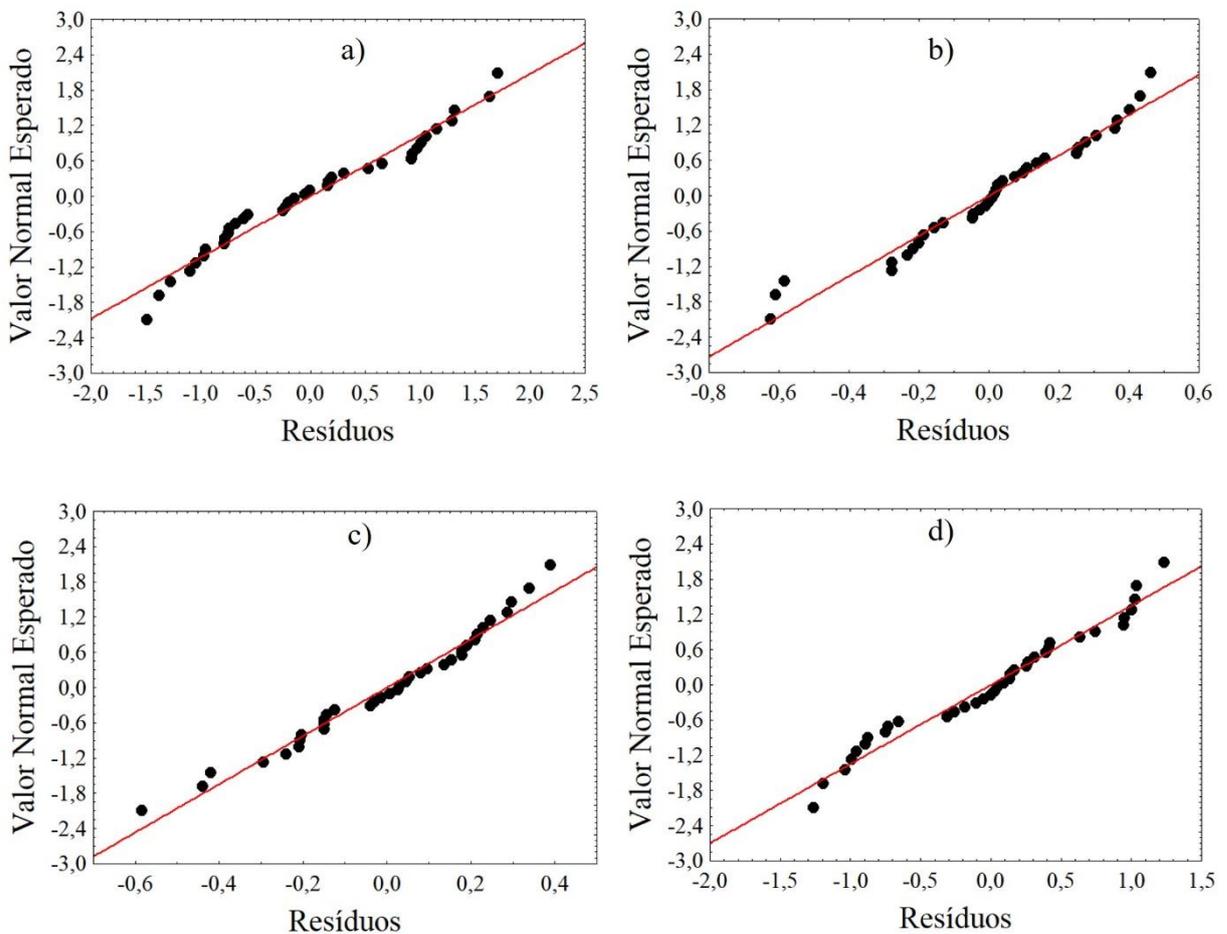


Figura 4.13 – Gráfico de Probabilidade Normal dos resíduos para e) Higroscopicidade, f) Solubilidade, g) Fluidez, h) Luminosidade, i) Parâmetro  $a^*$ , j) Parâmetro  $b^*$  k) Angulo hue e l) Croma do pó de AB em pó liofilizado

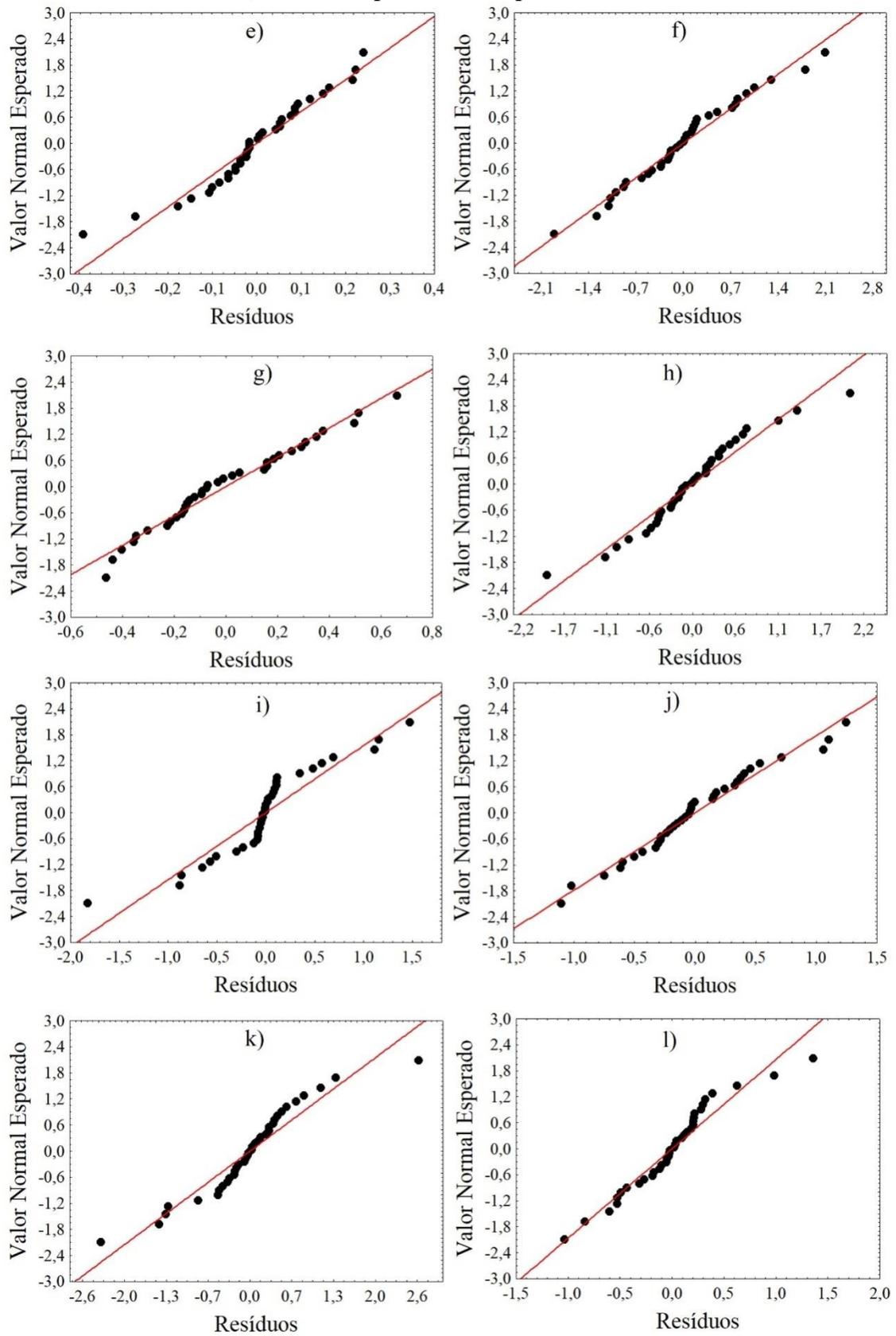


Figura 4.14 – Gráfico de Probabilidade Normal dos resíduos para a) rendimento, b) umidade, c) fenólicos totais, d) atividade antioxidante, e) higroscopicidade, f) solubilidade, g) fluidez, h) Luminosidade do AB em pó obtido em leito de jorro

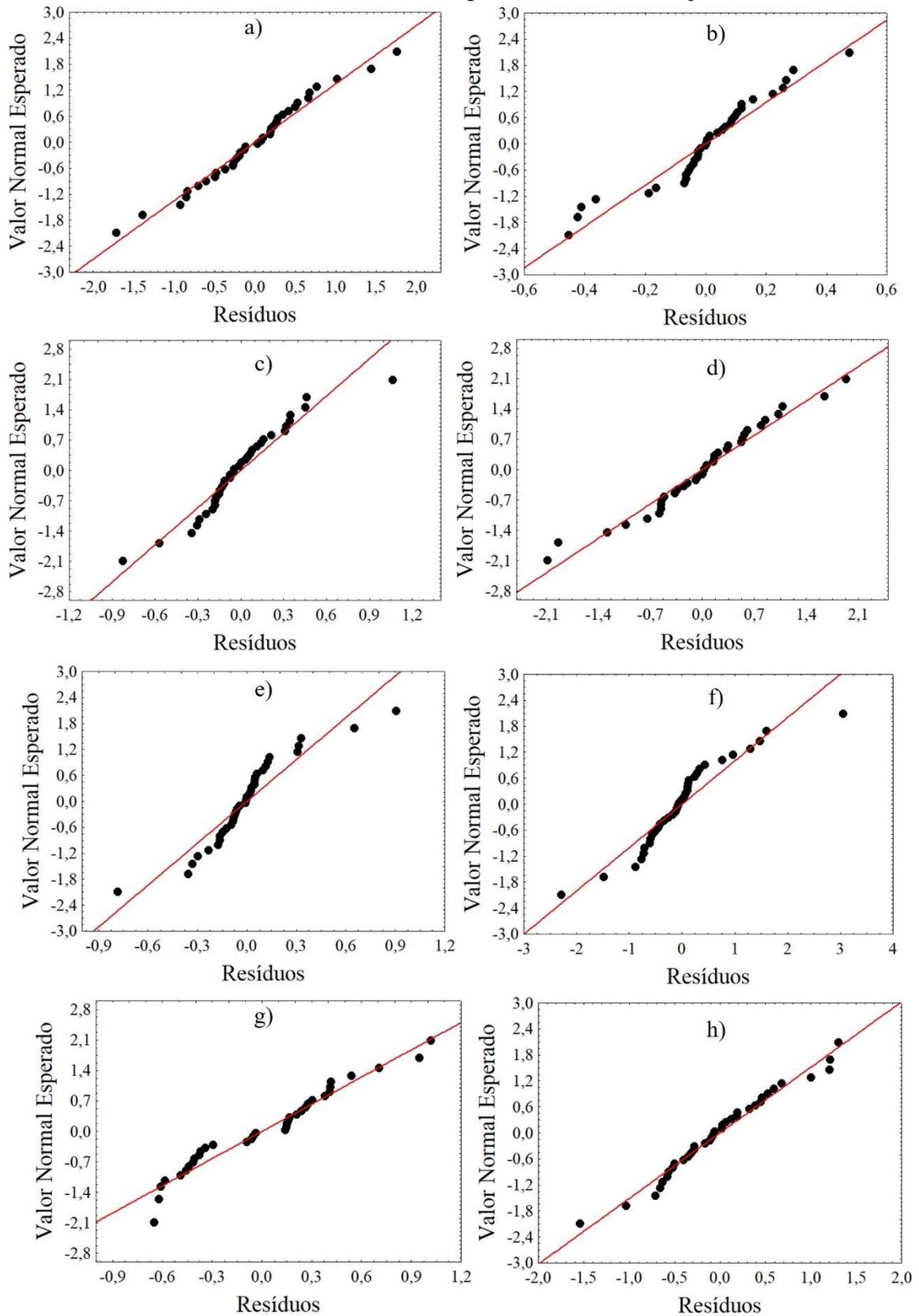
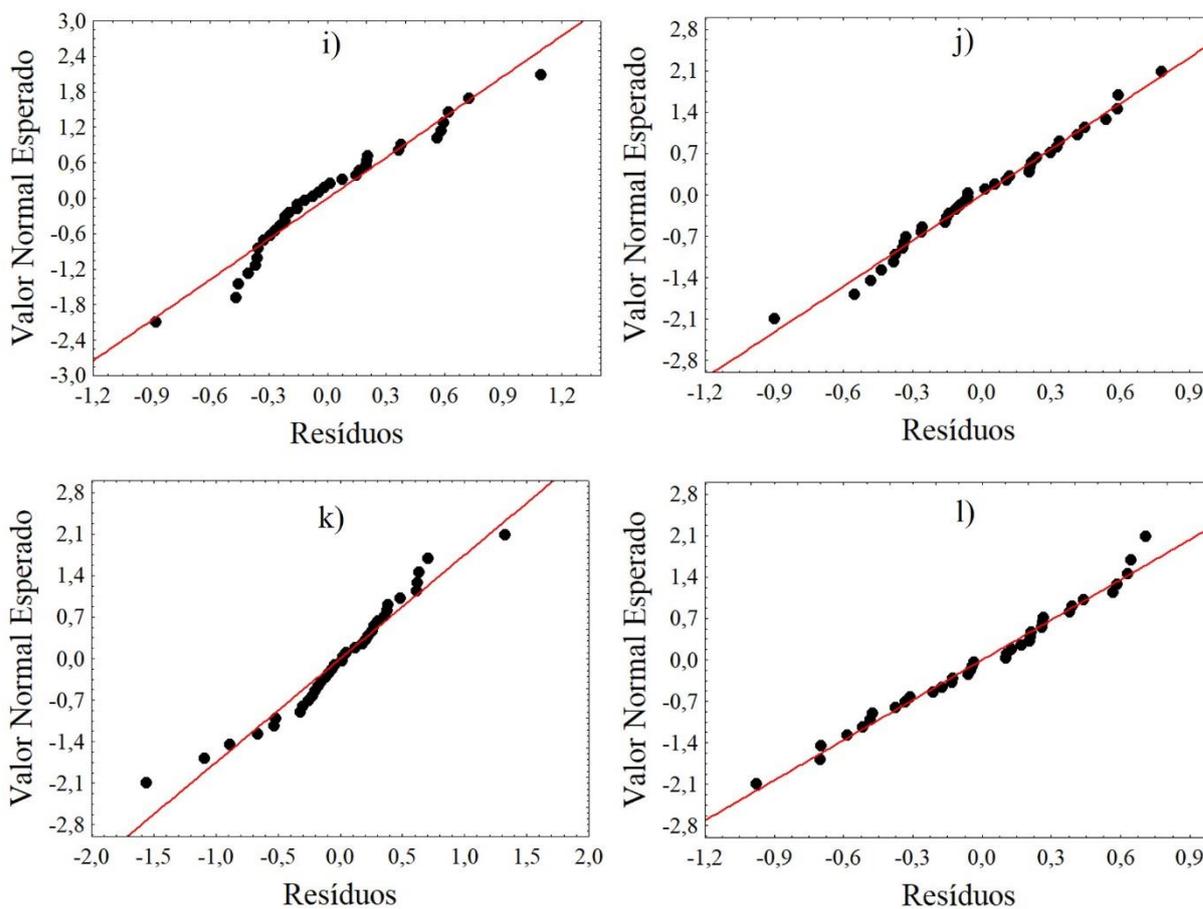


Figura 4.14 – Gráfico de Probabilidade Normal dos resíduos para i) Parâmetro  $a^*$ , j) Parâmetro  $b^*$  k) Ângulo hue e l) Cromo do pó de AB obtido em leito de jorro



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÃO

A liofilização e a secagem em leito de jorro são técnicas que podem ser utilizadas na produção de açaí branco em pó. Na liofilização, o rendimento do processo e o teor de umidade do açaí branco em pó, não diferiram estatisticamente sob as modificações dos diferentes agentes carreadores ( $p \leq 0,05$ ), indicando um processo de secagem com características uniformes, típicas da liofilização e independentemente do agente carreador utilizado.

Na secagem em leito de jorro, os pós produzidos com AM e CH apresentaram maior rendimento de sólidos ( $\geq 42,70\%$ ), provavelmente devido a maior temperatura de transição vítrea do MS e ao caráter proteico do CH que promove uma cobertura tipo filme no material. O aumento da concentração do agente carreador de 10% para 30%, propiciou melhores teores de rendimento, tanto na liofilização, quanto na secagem em leito de jorro. Já para o teor de umidade a mudança da concentração não influenciou na umidade dos pós produzidos.

Em ambos os processos de secagem, o pó de açaí branco produzido com AM apresentou baixa solubilidade ( $\leq 44,82\%$ ) e menor higroscopicidade ( $\leq 13,73 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), principalmente em função do menor número de grupos funcionais hidrofílicos, quando comparado aos demais agentes carreadores.

Menores teores de higroscopicidade foram obtidos em pó de AB quando adicionado 30% de agente carreador na polpa a ser seca. A adição de maior quantidade de coadjuvante aumenta a temperatura de transição vítrea da mistura e, conseqüentemente, reduz a higroscopicidade dos pós produzidos.

Maior solubilidade foi observada em pós de AB com maior concentração de agente carreador (30%). Esse comportamento pode estar relacionado a maior disponibilidade de grupos químicos polares, presentes nos adjuvantes, e que são capazes de interagir com moléculas de água, facilitando assim a dissolução do material.

Os teores de FT e AAT dos pós de AB produzidos com MA e AG foram maiores do que os obtidos com os demais agentes carreadores, uma vez que MA e GA possuem sua estrutura, maior quantidade de grupamentos químicos capazes de interagir com mais intensidade com as regiões moleculares hidrofílicas dos compostos fenólicos presentes na polpa de AB, impactando conseqüentemente na AAT. AB em pó produzido com 30% de agente carreador apresentou maior teor de FT e AAT, provavelmente devido a maior disponibilidade de grupos funcionais químicos presentes nos coadjuvantes e que são capazes de realizar interações com grupos os fenólicos presentes na polpa

Os pós de AB-MA e AB-GA foram mais solúveis ( $\geq 94,36\%$ ), apresentaram boa fluidez (11 a 15% segundo o índice de carr), e melhor preservaram a coloração original da polpa. Todas essas características podem estar relacionadas ao maior número de ramificações de grupos hidrofílicos presentes em GA e MA, do que em AM e CH, e correlacionadas com a atividade antioxidante, já que o teor de AAT foi maior em AB-MA e AB-GA.

A estrutura química dos pós de açaí branco obtido com os diferentes agentes carreadores foi similar ao da polpa, indicando uma encapsulação eficiente de compostos bioativos e boa preservação de grupos funcionais presentes na matéria prima original, mesmo após os processos de secagem.

A morfologia do açaí branco indicou características peculiares do processo de secagem. Na liofilização, as amostras de AB-MA e AB-CH apresentaram formatos esféricos, que são formatos característicos do processo de liofilização, enquanto na secagem em leito de jorro, todos os pós obtidos apresentaram formas irregulares, além de algumas fundições e achatamentos.

Analisando os espectros de energia dispersiva dos pós de AB, observa-se a presença majoritária de carbono e oxigênio nas amostras, devido ao caráter orgânico do produto. As amostras liofilizadas apresentaram maior variabilidade de constituintes identificados, quando comparadas com os pós obtidos em leito de jorro. Esse comportamento pode ser um indicativo de melhor preservação de constituintes da polpa durante o processo de liofilização, uma vez que o leito de jorro opera a maiores temperaturas e degradação de constituintes podem acontecer durante o processo de secagem.

## REFERÊNCIAS

- ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. **Exportação de açaí cresce quase 15.000% em dez anos**, 2021. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2021/05/exportacao-de-acai-cresce-quase-15-000-em-dez-anos/>. Acesso em: 04 de ago. 2022
- ADETORO, A. O.; OPARA, U. L.; FAWOLE, O. A. Effect of carrier agents on the physicochemical and technofunctional properties and antioxidant capacity of freeze-dried pomegranate juice (*Punica granatum*) powder. **Foods**, v. 9, n. 10, p. 1388, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9101388>
- ALMEIDA, A. R. F. **Análise da secagem de pastas em leite de jorro**. 2009. 202p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; ISHWARYA, S. P. Selection of wall material for encapsulation by spray drying. In: **(Spray drying techniques for food ingredient encapsulation**, ed. 1, p. 77-100, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118863985.fmatter>
- ANDRADE, E. L. **Obtenção de corante azul em pó de Jenipapo**: Análise experimental dos processos de oxidação induzida e leite de jorro. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia dos Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, 2016.
- ARAGÜEZ-FORTES, Y.; ROBAINA-MORALES, L. M.; PINO, J. A. Optimization of the spray-drying parameters for developing guava powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 6, p. e13230, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13230>
- ARAÚJO, A. L. M. DE. **Jambolão (*Syzygium cumini*) desidratado por liofilização e secagem em leite de jorro: avaliação do impacto do processo de secagem e caracterização do potencial funcional do produto final**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 111, 2014.
- ASSUNÇÃO, G. C. N.; DE ASSIS, T. D. J. V.; DOS SANTOS, C. R. C.; SHIBATA, M. Caracterização biométrica dos frutos de variedades de açaí (*Euterpe oleracea*). **Revista de Ciências Agrárias – Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 65, 2022.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. DE. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317p
- BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; JULIANO, Pablo. Physical and chemical properties of food powders. In: **Encapsulated and powdered foods**. CRC Press, 2005. p. 51-86.
- BRAGA, M. B.; ROCHA, S. C. S. Drying of milk-blackberry pup mixture in spouted bed. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, Ottawa, v. 91, n. 11, p. 1786-1792, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/cjce.21918>

BRAGA, M. B.; VEGGI, P. C.; CODOLO, M. C.; GIACONIA, M. A.; RODRIGUES, C. L.; BRAGA, A. R. C. Evaluation of freeze-dried milk-blackberry pulp mixture: Influence of adjuvants over the physical properties of the powder, anthocyanin content and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 125, p. 108557, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108557>

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354-364, 2014. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>

BUTZGE, J. J.; GODOI, F. C.; ROCHA, S. C. S. Drying of hydrolyzed collagen with grape pulp in spouted bed: influence of process variables on the powder production efficiency. *In: International Drying Symposium (IDS 2014)*, 19., 2014, Lyon. **Anais CD-ROM [...]** Lyon, France, 2014.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos** - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. p. 33-46.

CONAB. **Planilhas de série histórica: custos – açaí – 2016 a 2021**. Companhia Nacional de Abastecimento, 2021. Disponível em: <https://tinyurl.com/yckc2xay>. Acesso em: 10 ago. 2022.

COSTA, L.O. **Obtenção de polpa de manga em pó pelo processo de liofilização**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 119, 2017.

COSTA, M. R. T. DA R.; HOMMA, A. K. O.; REBELLO, F. K.; SOUZA FILHO, A. P. DA S.; FERNANDES, G. L.C.; BALEIXE, W. **Atividade agropecuária no Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 174 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 432).

COSTA, R. G. **Secagem de polpa de açaí em leito de jorro: Influência das variáveis operacionais no desempenho do processo e na qualidade do produto**. 2015. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2015.

COSTA, R. G.; ANDREOLA, K.; MATTIETTO, R. A.; FARIA, L. J. G.; TARANTO, O. P. Effect of operating conditions on the yield and quality of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced in spouted bed. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1196-1203, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.027>

COUTO, L. D. S.; BAPTISTA, R. D. C.; COSTA, C. D. N.; MATTIETTO, R. A.; PONTES, M. Obtenção de geleia de açaí branco (*Euterpe oleracea*, Mart Var. Branco). *In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA*, 10., 2007, Belém. **Anais [...]** Belém, PA: Conselho Regional de Química da 6ª Região, 2007.

CRONQUIST, A.; TAKHTADZHĪAN, A. L. **An integrated system of classification of flowering plants**. Columbia University Press, 1981.

CUNHA, R. L.; CRUZ, A. G.; MENEGALLI, F. C. Effects of operating conditions on the quality of mango pulp dried in a spout fluidized bed. **Drying Technology**, v. 24, n. 4, p. 423-432, 2006. DOI:<https://doi.org/10.1080/07373930600611869>

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. **Química de Alimentos de Fennema**. Editora Artmed, 2018.

DANTAS, S. C. DE M.; PONTES JÚNIOR, S. M. DE, MEDEIROS, F. G. M. DE; SANTOS JÚNIOR, L. C.; ALSINA, O. L. S. DE, & MEDEIROS, M. DE F. D. DE. Spouted-bed drying of acerola pulp (*Malpighia emarginata* DC): effects of adding milk and milk protein on process performance and characterization of dried fruit powders. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 6, p. e13205, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1111/jfpe.13205>

DANTAS, T. N. P. **Influência das propriedades físicas de graviola e aditivos na secagem em leito de jorro com alimentação intermitente**. 2018. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

DAYAL, A.; BHAT, A.; RASHID, R.; SINGH, J.; SHARMA, S. Effect of Whey Protein Isolate on the Properties of Freeze Dried aloe vera (*Aloe barbadensis* Mill) Powder. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 4, p. 2071-2079, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.237>

DORNELES, M. S.; NOREÑA, C. P. Z. Microwave-assisted extraction of bioactive compounds from *Araucaria angustifolia* bracts followed by encapsulation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 6, p. e14484, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14484>

DUARTE, C. R. **Estudo experimental e de simulação da fluidodinâmica e recobrimento em leito de jorro**. 2006. 217 p. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. **Food Research International**, 48(2), 478–483, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.025>

FARIAS NETO, J. T. DE. **BRS Pai d'Éguacultivar de açaí para terra firme com suplementação hídrica**. Comunicado Técnico 317. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. p.4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/204487/1/ComTec-317.pdf>. Acesso em 15 de jul. 2022.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 4ª edição. ARTMED Editora, São Paulo, 2019.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, p. 157-165, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1981-67232012005000009>

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada às ciências agrárias**. Viçosa: UFV, 2018.

FERREIRA, M. D. **Determinação de macronutrientes na polpa *in natura* do fruto açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), comercializado em São Luís – MA**. 2017. Monografia (Graduação em Química Industrial) – Curso de Química Industrial, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, p. 46, 2017.

FERREYRA, S.; BOTTINI, R.; FONTANA, A. Temperature and light conditions affect stability of phenolic compounds of stored grape cane extracts. **Food Chemistry**, v. 405, p. 134718, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134718>

FONGIN, S.; GRANADOS, A. E. A.; HARNKARNSUJARIT, N.; HAGURA, Y.; KAWAI, K. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. **Journal of Food Engineering**, v. 247, p. 95-103, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>

FUJITA, A.; BORGES, K.; CORREIA, R.; FRANCO, B. D. G. M.; GENOVESE, M. I. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 495-500, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.025>

GANAI, T. A.; MASOODI, F. A.; RATHER, S. A.; GANI, A. Exploiting maltodextrin and whey protein isolate macromolecules as carriers for the development of freeze dried honey powder. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 2, p. 100040, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100040>

GAONKAR, Anilkumar G. **Microencapsulation in the food industry: a practical implementation guide**. Elsevier, 2014.

GELDART, D. Types of Gas Fluidization. **Powder Technology**, v.7, p. 285-292. 1973.

GUO, Y.; BALDELLI, A.; SINGH, A.; FATHORDOOBADY, F.; KITTS, D.; PRATAP-SINGH, A. Production of high loading insulin nanoparticles suitable for oral delivery by spray drying and freeze drying techniques. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13092-6>

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A.; CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. B. Açaí: novos desafios e tendências. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 1, n. 2, p. 7-23, jan./jun. 2006

HUANG, D.; HUANG, W.; HUANG, S.; ZHOU, F.; GONG, G.; LI, L.; SUNDEN, B. Applications of spouted bed technology in the drying of food products. **LWT**, p. 114880, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114880>

KALEEM, M. A.; ALAM, M. Z.; KHAN, M.; JAFFERY, S. H. I.; RASHID, B. An experimental investigation on accuracy of Hausner Ratio and Carr Index of powders in additive

manufacturing processes. **Metal Powder Report**, v. 76, p. S50-S54, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2020.06.061>

KHALIFA, I.; LI, M.; MAMET, T.; LI, C Maltodextrin or gum Arabic with whey proteins as wall-material blends increased the stability and physiochemical characteristics of mulberry microparticles. **Food Bioscience**, v. 31, p. 100445, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100445>

KUCK, L. S.; NOREÑA, C. P. Z. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.066>

KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J.; HUBINGER, M.D.. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 287-296, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.006>

LAVOYER, F. C. G. **Estudo da secagem de polpa de coco verde em leito de jorro e viabilidade de sua utilização na indústria**. 2012.74 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Alimentos) –Programa de Pós-graduação de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2012.

LIAPIS, A. I.; BRUTIINI, R. Freezer Drying. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**, ed. 3., p. 283-309, Boca Raton: CRC Press, 2006.

LIMA, Antonia Carlota de Souza et al. Flowability of spray-dried sapodilla pulp powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 9, p. e14092, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14092>

MARQUES, L.G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 255p. 2008.

MARQUES, L. G.; SILVEIRA, A. M.; FREIRE, J. T. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. **Drying Technology**, v. 24, n. 4, p. 457-463, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373930600611919>

MARTINS, E. C.; LEONARDI, R. R.; OLIVEIRA, C. R.; MATSUMOTO, F. M. T. Liofilização como alternativa para conservação do leite humano. **Journal of the Health Sciences Institute**. v. 29, n. 2, p. 119-22, 2011.

MATHUR, K. B.; GISHLER, P. E. A technique for contacting gases with coarse solid particles, **American Institute of Chemical Engineers Journal**, v. 1, p. 157-164, 1955.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted Beds**. Lodon: Academic Press, 1974.

MATOS, A. K. F. DE; YOKOMIZO, G.-KI; RIOS, R. da M. Variabilidade genética em progênies de açaí branco. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAPÁ, 6., 2020,

Macapá. **Resumos** [...] Macapá: Embrapa Amapá, 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1127738>. Acesso em: 29 de jul. 2022.

MATTA, F. V.; XIONG, J.; LILA, M. A.; WARD, N. I.; FELIPE-SOTELO, M.; ESPOSITO, D. Chemical composition and bioactive properties of commercial and non-commercial purple and white açai berries. *Foods*, v. 9, 1481. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9101481>

MATTIETTO, R. D. A.; CARVALHO, A. V.; NETA LANES, J. D. J.; OLIVEIRA, M. S. P.; ROSÁRIO, V. N. M. Composição química e nutricional da polpa de açai: comparação entre as variedades roxa e branca. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS*, 25., 2016, Gramado. **Anais**[...] Gramado: SBCTA Regional, 2016. p. 1-6. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1056503>. Acesso em: 26 de mai. 2022.

MEDEIROS, F. G. M.; MACHADO, I. P.; DANTAS, T. N. P.; DANTAS, S. C. M.; ALSINA, O. L. S., MEDEIROS, M. F. D. Spouted Bed Drying of Fruit Pulps: A Case Study on Drying of Graviola (*Annona muricata*) Pulp. *In: DELGADO, J. M. P. Q.; LIMA, A. G. B. Transport Processes and Separation Technologies*, ed. 1, p. 105-150, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-47856-8>

MINIGHIN, E. C. et al. Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the mineral content, phenolic compounds, and antioxidant capacity of commercial pulps of purple and white açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of food science and technology**, v. 57, p. 1740-1752, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04207-5>

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. Wiley, 2017.

MONTGOMERY D. C.; RUNGER, G. C.; HUBELE, N. P. **Engineering statistics**. Wiley, 2009.

MOURA, M. S.; COSTA, B. S.; GIACONIA, M. A.; ANDRADE, R. R.; BRAGA, A. R. C.; BARGA, M. B. Jaboticaba powders production by freeze-drying: Influence of octenyl succinic anhydride-modified starch concentrations over anthocyanins and physical properties. **Journal of Food Process Engineering**, v. 46, n. 3, p. e14256, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14256>

MOSER, P. **Secagem por atomização do suco de uva: microencapsulação das antocianinas**. Tese de Doutorado (Engenharia e Ciência dos Alimentos). Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016

MUJUMDAR, A. S.; MENON, A. S. Drying of solids: principles, classification, and selection of dryers. *In: MUJUMDAR. Handbook of Industrial Drying*, ed. 2., p. 1, Marcel Dekker, New York, 1995.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322-327, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>

NASCIMENTO, L. D. **Caracterização, análise fluidodinâmica e secagem de sementes de painço em leito de jorro**. 2014. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) –

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2014.

NASCIMENTO, R. A.; ANDRADE, E. L.; SANTANA, E. B.; RIBEIRO, N. F.P.; COSTA, C. M. L.; FARIA, L. J. G. Bacaba powder produced in spouted bed: an alternative source of bioactive compounds and energy food product. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1590/1981-6723.22918>

NASCIMENTO, RA. **Avaliação experimental da secagem de polpa de bacaba (Oenocarpus bacaba Mart.) em leito de jorro**. 2018. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)–Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2018.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, F. J. C.; MULLER, A. A. **Sistema de Produção do Açaí**. Embrapa Amazônia Oriental: Sistemas de Produção, v. 4, p.1-39, 2006. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/408196/1/SISTEMAPROD40\\_NLINE.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/408196/1/SISTEMAPROD40_NLINE.pdf). Acesso em: 24 de jun. 2022.

OETTERER, M. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2006. 664p

OLIVEIRA, A. R.; RIBEIRO, A. E. C.; OLIVEIRA, E. R.; GARCIA, M. C.; SOARES JUNIOR, M. S.; CALIARI, M. Structural and physicochemical properties of freeze-dried açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Science and Technology**, v. 40, p. 282-289, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1590/fst.34818>

OLIVEIRA, M.S. P.; MATTIETTO, R.A.; DOMINGUES, A. F. N.; CARVALHO, A. V.; OLIVEIRA, N. P.; FARIAS NETO, J. T. DE. Açai – *Euterpe Oleracea* e *E. Precatória*. In: CORADIN, L.; CAMILO, J.; VIEIRA, I. C. G. (Ed.). **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial. Plantas para o Futuro – Região Norte**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2022. p. 303-323.

OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T.; MOCHIUTTI, S.; NASCIMENTO, W. M. O.; MATTIETTO, R. DE A.; PEREIRA, J. E. S. Açai-do-pará. In: LOPES, R.; OLIVEIRA, M. S. P. DE; CAVALLARI, M.M.; BARBIERI, R. L.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. (Ed.). **Palmeiras nativas do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Cap. 2, p. 35-81.

OLIVEIRA, M.S. P.; FARIAS NETO, J. T. DE; PENA, R. S. **Açaí: técnicas de cultivo e processamento**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2007. 104 p.

OLIVEIRA, M. DO S. P. DE.; FARIAS NETO, J. T. DE. **Cultivar BRS-Pará: Açaizeiro para Produção de Frutos em Terra Firme**. Comunicado Técnico 14. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. p.4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18825/1/com.tec.114.pdf>, Acesso em 15 de jul. 2022.

ORO, C. E. D.; et al. Microencapsulation of Brazilian Cherokee blackberry extract by freeze-drying using maltodextrin, gum Arabic, and pectin as carrier materials. **Food Science and Technology International**, v. 29, n. 3, p. 255-265, 2021. DOI:<https://doi.org/10.1177/10820132211068979>

- PACHECO, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MORAGA, G.; PIÑA, J.; NAZARENO, M. A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Development of dried functional foods: Stabilization of orange pulp powder by addition of biopolymers. **Powder Technology**, v. 362, p. 11-16, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.116>
- PASSOS, M. L.; MASSARANI, G.; FREIRE, J. T.; MUJUMDAR, A. S. Drying of pastes in spouted beds of inert particles: Design criteria and modeling. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 605-624, 1997. DOI:<https://doi.org/10.1080/07373939708917249>
- PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product, *International Food Research Journal* 19 (4) (2012) 1297-1306.
- POMBO, J. C. P.; MEDEIROS, H. H. B. R.; PENA, R. S. Optimization of the spray drying process for developing cupuassu powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, p. 4501-4513, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04487-2>
- QADRI, T.; NAIK, H. R.; HUSSAIN, S. Z.; NASEER, B.; BHAT, T.; WANI, F. J. Spray dried apple powder: Qualitative, rheological, structural characterization and its sorption isotherm. **LWT**, v. 165, p. 113694, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113694>
- QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; S., P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>
- ROCHA, S. C. S.; TARANTO, O. P. Advances in Spouted Bed Drying of Food. In: RATTI, C. **Advances in Food Dehydration**. [S.l.]: CRC Press, 2008.
- ROGEZ, H. **Açaí: Preparo, Composição e Melhoramento da Conservação**. 1 ed. Belém: EDUFPA, 2000.
- ROSÁRIO, F. M.; BIDUSKI, B.; SANTOS, D. F. D.; HADLISH, E. V.; TORMEN, L.; SANTOS, G. H. F. D.; PINTO, V. Z. Red araçá pulp microencapsulation by hydrolyzed pinhão starch, and tara and arabic gums. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 5, p. 2052-2062, 2021. DOI:<https://doi.org/10.1002/jsfa.10825>
- SAMYOR, D.; DEKA, S.C.; DAS, A. B. Effect of extrusion conditions on the physicochemical and phytochemical properties of red rice and passion fruit powder based extrudates. **Journal of food science and technology**, v. 55, p. 5003-5013, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3439-9>
- SANTOS, D. DA C.; OLIVEIRA, E. N. A. DE; MARTINS, J. N.; ROCHA, A. P. T. Secagem da polpa de caju em secador de leito de jorro. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 9, n. 2, 2015. DOI: 10.3895/RBTA.v9, n2, 2028
- ŠAVIKIN, K. et al. Effect of type and concentration of carrier material on the encapsulation of pomegranate peel using spray drying method. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 1968, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10091968>

SEERANGURAYAR, T.; MANICKAVASAGAN, A.; AL-ISMAILI, A. M.; AL-MULLA, Y. A. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p. 33-43, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.016>

SILVA-ESPINOZA, M. A.; AYED, C.; CAMACHO, M. D. M.; FOSTER, T.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Impact of maltodextrin, gum Arabic, different fibres and starches on the properties of freeze-dried orange puree powder. **Food Biophysics**, v. 16, p. 270-279, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11483-021-09667-x>

SILVA, F. C.; ROSSI, D. A.; CARDOSO, V. L.; REIS, M. H. M. Stabilization of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) juice by the microfiltration process. **Acta Scientiarum Technology**, v. 38, n. 1, p. 7-11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i1.27037>

SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. DO A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 3, p. 426-432, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.009>

SILVA, R. S.; SANTOS, C. D. L.; MAR, J. M.; KLUCZKOVSKI, A. M.; FIGUEIREDO, J. DE A.; BORGES, S. V.; BAKRY, A. M.; SANCHES, E. A.; CAMPELO, P. H. Physicochemical properties of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT**, v. 94, p. 79-86, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.047>

SILVEIRA, T. F. F. DA; SOUZA, T. C. L. DE; CARVALHO, A. V.; RIBEIRO, A. B.; KUHNLE, G. G.; GODOY, H. T. White açaí juice (*Euterpe oleracea*): phenolic composition by LC-ESI-MS/MS, antioxidant capacity and inhibition effect on the formation of colorectal cancer related compounds. **Journal of Functional Foods**, v. 36, p. 215-223, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.001>

SINHA, N. K.; SIDHU, J.; BARTA, J.; WU, J.; CANO, M. P. (Ed.). **Handbook of fruits and fruit processing**. John Wiley & Sons, 2012.

SOUSA, A. M. DE; OLIVEIRA, M.; FARIAS NETO, J. T. DE. Variabilidade genética entre progênies de açaí branco para caracteres da planta. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19.e SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 3., 2015. Belém. **Anais [...]** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. p. 1-7. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1022851>. Acesso em: 27 de jun. 2022.

SOUZA, V. F. DE; VIEIRA, A.; RAMALHO, A.; ROSA NETO, C.; CARARO, D. C.; COSTA, J. N. M.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; WADT, P. G. S. **Cultivo do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martius) no noroeste do Brasil**. Embrapa Rondônia: Sistemas de Produção, v. 36, p. 1-90, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1101575>. Acesso em: 28 de jun. 2022.

SOUZA, P. G. **Produção e caracterização de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) desidratado em pó por cast-tape drying**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 143, 2015.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. *Drying: principles, applications and design*. In: Topics in chemical engineering. Ed. New York: Gordon and Breach Science Publishers, v. 3, 1986.

SUBRAMANIAN, K; KUMAR, P. S; JEYAPAL, P; VENKATESH, N. Characterization of ligno-cellulosic seed fibre from *Wrightia Tinctoria* plant for textile applications—an exploratory investigation. **European Polymer Journal.**, v. 41, p. 853-861, 2005. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2004.10.037>.

TIBURSKI, J. H. et al. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2326-2331, 2011. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.037>

TONHI, E.; PLEPIS, A. M.G. Obtenção e caracterização de blendas colágeno-quitosana. **Química Nova**, v. 25, p. 943-948, 2002. DOI:<https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000600011>

VALENTE, M. C. C.; NASCIMENTO, R. A.; SANTANA, E. B.; RIBEIRO, N. F. P.; COSTA, C. M. L.; FARIA, L. J. G. Spray drying of extract from *Euterpe oleracea* Mart.: Optimization of process and characterization of the açai powder. **Journal of Food Process Engineering**. v.42, n.8, 2019. DOI:10.1111/jfpe.13253

VARGAS-MUNOZ, D. P.; SILVA, L. C. da S.; OLIVEIRA, L. A. N. de; GODOY, H. T.; KUROZAWA, L. E. 5-caffeoylquinic acid retention in spray drying of cocona, an Amazonian fruit, using hydrolyzed collagen and maltodextrin as encapsulating agents. **Drying technology**, v. 39, n. 12, p. 1854-1868, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1861004>

VARGAS-MUÑOZ, D. P.; KUROZAWA, L.E. Influence of combined hydrolyzed collagen and maltodextrin as carrier agents in spray drying of cocona pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1590/1981-6723.25419>

WYCOFF, W.; LUO, R.; SCHAUSS, A. G.; NEAL-KABABICK, J.; SABAA-SRUR, A. U.; MAIA, J. G. S.; TRAN, K.; RICHARDS, K. M.; SMITH, R. E. Chemical and nutritional analysis of seeds from purple and white açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 41, p. 181-187, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.021>

ZAFAR, Umair et al. Ball indentation on powder beds for assessing powder flowability: Analysis of operation window. **Powder Technology**, v. 310, p. 300-306, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.047>

ZOTARELLI, Marta Fernanda et al. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder technology**, v. 305, p. 447-454, 2017. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>

ZUANON, L. A. C; MALACRIDA, C. R.; TELIS, V. R. N. Effect of Ultrasound on the Stability of Turmeric Oleoresin Microencapsulated in Gelatin-Collagen Matrices. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 2, p. e12360, 2017. DOI:<https://doi.org/10.1111/jfpe.12360>

# APÊNDICES

Apêndice A – Rendimento de AB em pó (%) obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

	Liofilização	Secagem em Leito de Jorro
Tratamentos	Blocos	Blocos

	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	63,13	68,22	76,45	38,02	38,50	46,23
	60,12	69,48	74,35	37,23	37,93	44,1
	61,25	70,24	75,39	37,22	38,04	43,08
Goma Arábica	62,65	70,47	76,98	30,51	32,74	41,21
	60,20	68,22	75,63	29,86	32,82	41,44
	59,97	69,80	74,87	31,71	32,04	40,42
Maltodextrina	60,05	69,14	75,28	28,09	29,50	40,62
	61,93	68,51	76,12	27,86	29,94	40,33
	59,87	70,21	76,49	28,02	28,34	41,47
Colágeno Hidrolizado	59,91	70,92	75,2	35,20	36,73	43,20
	61,17	68,14	74,64	34,03	35,11	42,00
	60,46	69,82	76,43	32,04	36,04	42,9

Apêndice B – Umidade de AB em pó (g/100g) obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	4,93	4,96	4,92	4,29	4,25	4,25
	4,07	4,10	4,04	4,37	4,40	4,42
	5,04	4,99	5,03	4,33	4,29	4,23
Goma Arábica	4,95	4,94	4,93	5,91	5,76	5,93
	4,30	4,35	4,34	5,50	5,53	5,24
	4,21	4,32	4,22	5,65	5,79	5,82
Maltodextrina	4,49	4,45	4,42	5,14	5,08	5,12
	4,48	4,52	4,54	5,02	5,07	4,98
	4,50	4,51	4,44	5,09	5,05	5,01
Colágeno Hidrolizado	4,98	5,0	5,09	6,71	6,53	6,8
	4,65	4,76	4,73	6,54	6,38	6,3
	5,02	4,91	4,97	6,01	5,91	5,87

Apêndice C – FT (mg EAG/g) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%

Amido Modificado	4,78	6,32	8,91	2,75	4,39	5,88
	4,98	6,54	8,65	2,46	4,13	5,94
	4,44	6,47	8,15	2,39	4,78	6,15
Goma Arábica	7,21	8,34	11,08	5,65	6,54	8,98
	7,34	8,97	11,23	5,22	6,21	8,23
	7,06	8,43	10,84	5,14	6,90	8,34
Maltodextrina	7,32	8,55	10,91	3,11	5,33	7,87
	7,11	8,81	11,56	3,19	4,86	6,56
	6,99	8,91	11,58	3,25	4,84	5,98
Colágeno Hidrolizado	4,91	6,45	8,98	2,22	4,11	5,67
	4,49	6,22	8,99	2,01	3,90	4,99
	4,68	6,11	8,11	2,19	4,22	6,01

Apêndice D – AAT ( $\mu\text{mol ET/g}$ ) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	39,57	45,76	50,03	30,01	35,23	40,12
	41,32	46,28	49,9	29,15	34,56	39,88
	40,06	45,55	48,98	29,83	34,08	37,1
Goma Arábica	43,48	50,04	56,87	35,76	40,98	45,2
	45,98	49,03	54,89	34,99	39,95	44,8
	44,77	50,65	56,02	35,88	38,92	43,9
Maltodextrina	42,55	50,11	55,67	33,01	37,56	40,67
	43,70	50,97	55,9	32,98	37,87	42,9
	44,08	48,75	55,99	32,87	38,91	44,69
Colágeno Hidrolizado	38,96	44,87	50,98	29,87	35,21	38,98
	39,92	45,91	49,89	29,14	34,69	39,89
	40,87	46,02	48,95	29,01	34,09	41,9

Apêndice E – Higroscopicidade ( $\text{g}/100\text{g}$ ) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	10,34	9,55	8,42	17,23	15,09	13,37

	10,97	9,73	8,33	17,39	15,18	14,38
	10,88	9,42	8,38	17,20	15,28	13,43
Goma Arábica	15,55	14,01	12,77	19,96	17,74	16,54
	15,68	13,86	12,28	19,85	17,96	16,21
	15,95	13,90	12,61	19,98	18,04	15,88
Maltodextrina	14,98	12,08	10,16	19,98	18,53	17,16
	14,84	12,17	10,14	20,01	18,08	17,11
	14,76	12,24	10,23	19,90	18,06	17,23
Colágeno Hidrolizado	17,89	15,79	13,65	19,43	18,04	16,22
	17,98	15,94	13,77	19,58	18,23	16,88
	17,91	15,83	13,85	19,98	18,34	17,91

Apêndice F – Solubilidade (%) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	40,41	44,87	46,77	41,59	43,92	46,67
	40,01	43,34	48,01	41,62	44,09	52,01
	40,22	42,49	46,91	41,79	43,51	48,19
Goma Arábica	86,88	90,21	96,71	82,01	88,01	94,1
	82,87	91,39	97,05	80,12	88,10	93,85
	84,59	92,01	96,92	80,01	88,22	95,12
Maltodextrina	83,76	91,67	97,21	79,91	87,89	95,21
	84,91	90,29	97,02	78,90	88,12	98,3
	85,91	91,55	96,97	80,06	87,34	96,57
Colágeno Hidrolizado	83,53	90,01	96,61	78,91	87,91	98,25
	86,61	91,56	96,01	79,06	88,14	96,16
	84,29	90,29	95,04	80,45	88,22	95,89

Apêndice G – Fluidez (%) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%

Amido Modificado	14,22	13,88	14,01	15,01	14,96	14,89
	13,91	14,12	13,98	15,76	16,08	15,17
	14,05	14,28	14,52	16,01	15,08	16,56
Goma Arábica	11,24	11,01	11,44	11,98	12,01	12,34
	11,04	11,65	11,89	13,01	12,45	12,89
	11,91	11,41	11,21	12,81	13,04	13,01
Maltodextrina	11,04	11,01	11,19	12,87	12,91	12,29
	11,29	10,98	11,01	12,90	12,30	12,89
	11,06	11,46	10,92	13,11	13,06	13,01
Colágeno Hidrolizado	14,11	13,91	14,52	15,01	14,88	15,45
	15,01	15,01	15,24	16,01	16,44	16,24
	14,42	14,12	15,19	15,87	15,15	15,79

Apêndice H – Luminosidade (L) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	63,18	66,97	69,56	60,06	62,34	65,34
	62,33	65,85	67,37	59,87	62,87	62,8
	62,87	66,00	65,67	60,16	62,01	64,87
Goma Arábica	65,02	68,95	71,28	63,89	65,78	68,93
	65,90	69,66	72,12	62,02	65,98	67,01
	65,34	69,82	73,36	62,11	65,01	67,22
Maltodextrina	65,45	68,02	71,96	62,07	65,04	68,65
	65,16	69,01	71,65	62,98	65,75	67,34
	65,65	69,49	72,65	62,10	65,88	67,91
Colágeno Hidrolizado	62,01	63,37	66,34	59,98	62,33	65,12
	62,95	63,01	63,87	60,09	62,89	63,53
	62,85	63,18	64,76	60,14	62,09	62,78

Apêndice I – Parâmetro a\* dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	-29,99	-27,89	-26,66	-19,21	-11,45	-6,39

	-31,45	-28,09	-25,67	-20,05	-12,11	-6,47
	-32,01	-28,03	-26,13	-20,16	-11,89	-5,34
Goma Arábica	-32,91	-31,00	-29,12	-25,89	-18,98	-11,46
	-32,87	-30,88	-28,56	-26,78	-19,04	-12,29
	-33,01	-30,76	-27,98	-26,87	-19,54	-11,76
Maltodextrina	-33,05	-31,01	-28,22	-25,95	-19,44	-12,22
	-32,89	-30,98	-29,56	-26,88	-19,02	-11,56
	-32,98	-30,86	-28,95	-26,71	-19,21	-10,25
Colágeno Hidrolizado	-29,98	-28,05	-25,54	-21,04	-13,11	-8,92
	-31,33	-27,88	-26,67	-21,22	-13,22	-9,27
	-31,98	-28,04	-28,84	-21,36	-12,87	-8,22

Apêndice J – Parâmetro b\* dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	31,05	33,14	35,76	33,98	36,45	39,34
	31,12	34,08	37,97	34,90	36,01	38,45
	31,89	33,98	36,86	34,05	35,99	39,22
Goma Arábica	26,56	28,07	29,12	28,05	30,56	32,33
	25,98	27,87	28,97	28,35	30,98	33,35
	26,01	27,75	30,12	28,87	31,58	34,01
Maltodextrina	25,88	27,87	31,23	27,99	31,15	34,96
	26,11	27,79	32,98	28,44	30,88	35,23
	26,49	28,05	30,98	28,84	30,44	34,87
Colágeno Hidrolizado	31,77	33,11	36,98	33,95	36,33	38,67
	31,28	34,18	35,88	34,03	36,03	39,12
	31,04	33,88	34,9	34,88	36,01	39,25

Apêndice K – Ângulo hue ( $h_{ab}^{\circ}$ ) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização	Secagem em Leito de Jorro
	Blocos	Blocos

	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	134,01	130,08	126,71	119,48	107,44	99,23
	135,30	129,50	124,06	119,88	108,59	99,55
	135,11	129,52	125,33	120,63	108,28	97,75
Goma Arábica	141,09	137,84	135,00	132,71	121,84	109,52
	141,68	137,93	134,59	133,37	121,57	110,23
	141,76	137,94	132,89	132,95	121,75	109,07
Maltodextrina	141,94	138,05	132,10	132,83	121,97	109,27
	141,56	138,11	131,87	133,38	121,63	108,17
	141,23	137,73	133,06	132,80	122,26	106,38
Colágeno Hidrolizado	133,34	130,27	124,63	121,79	109,84	102,99
	135,05	129,20	126,62	121,95	110,15	103,33
	135,85	129,61	129,57	121,48	109,67	101,83

Apêndice L – Cromo ( $C_{ab}$ ) dos pós de AB obtido com as modificações de blocos e tratamentos em ambos os processos de secagem

Tratamentos	Liofilização			Secagem em Leito de Jorro		
	Blocos			Blocos		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Amido Modificado	43,17	43,31	44,60	39,03	38,21	39,86
	44,24	44,16	45,83	40,25	37,99	38,99
	45,18	44,05	45,18	39,57	37,90	39,58
Goma Arábica	42,29	41,82	41,18	38,17	35,97	34,30
	41,90	41,60	40,68	39,00	36,36	35,54
	42,03	41,43	41,11	39,44	37,14	35,99
Maltodextrina	41,98	41,69	42,09	38,17	36,72	37,03
	41,99	41,62	44,29	39,13	36,27	37,08
	42,30	41,70	42,40	39,31	35,99	36,35
Colágeno Hidrolizado	43,68	43,39	44,94	39,94	38,62	39,69
	44,27	44,11	44,71	40,10	38,38	40,20
	44,57	43,98	45,27	40,90	38,24	40,10