



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA**



**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO  
DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**LIOFILIZAÇÃO E SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA MISTA  
DE JAMBOLÃO E ACEROLA E ELABORAÇÃO DE IOGURTE  
CONCENTRADO**

**JOANA D'ARC PAZ DE MATOS**

**Campina Grande – PB  
Julho - 2020**

**LIOFILIZAÇÃO E SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA MISTA  
DE JAMBOLÃO COM ACEROLA PARA ELABORAÇÃO DE IOGURTE  
CONCENTRADO**

**JOANA D'ARC PAZ DE MATOS**

Tese apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientadores: **Profa. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**  
**Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

**Campina Grande – PB**  
**Julho – 2020**

M4331

Matos, Joana D'arc Paz de.

Liofilização e secagem em camada de espuma da polpa mista de jambolão e acerola e elaboração de iogurte concentrado / Joana D'arc Paz de Matos. - Campina Grande, 2020.

298 f. : il. Color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Profa. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz.

Referências.

1. *Syzygium Cumini*. 2. *Malpighia Emarginata*. 3. Alimento Funcional. 4. Compostos Bioativos. 5. Frutas Tropicais. 6. Fruta em Pó.

I. Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. II. Queiroz, Alexandre José de Melo. III. Título.

CDU 631.563.2(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

**JOANA D'ARC PAZ DE MATOS**

**APROVADA: 15 de julho de 2020**

**BANCA EXAMINADORA**

*Rossana M<sup>a</sup> F. de Figueirêdo*

**Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**  
**Orientadora - UAEA/CTRN/UFCA**

*Alexandre J M Queiroz*

**Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**  
**Orientador - UAEA/CTRN/UFCA**

*Maria Elieidy Gomes de Oliveira*

**Dra. Maria Elieidy Gomes de Oliveira**  
**Examinadora – DN/CCS/UFPA**

*Vanessa Bordin Viera*

**Dra. Vanessa Bordin Viera**  
**Examinadora - UAS/CES/UFCA**

*Josivanda P. Gomes*

**Dra. Josivanda Palmeira Gomes**  
**Examinadora – UAEA/CTRN/UFCA**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me amparou em teus braços paternos, me livrando dos medos e aflições que esses anos de doutorado me trouxeram. Fez com que tudo acontecesse na hora certa, que meus planos se encaixassem com os Seus.

Aos meus pais, Maria do Socorro Paz de Matos (*in memorian*) e Valdemar Rebouças de Matos (*in memorian*) por tudo que fizeram por mim, pelo amor e educação que recebi.

Aos meus irmãos, pela proteção, apoio e dedicação para prosseguir adiante com meus estudos.

A professora Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, pela orientação, instruções e contribuições à realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, pela orientação, incentivo e colaboração na execução desta pesquisa.

A Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao meu namorado Rodrigo Pereira Leite, pela força, paciência, companheirismo e amor nos momentos difíceis.

Ao professor Dr. Robson Rogério Pessoa Coelho e a professora Dra. Cláudia Souza Macedo, pela amizade, incentivo e conselhos.

Aos meus queridos amigos, por estarem ao meu lado durante a jornada, pelo carinho, incentivo, paciência e cumplicidade na realização das análises. Sempre enxerguei em todos mais que colegas de curso, são amigos que levarei para sempre comigo, especialmente, Luís Paulo Firmino Romão da Silva, pela amizade incondicional e fraternal.

A Escola Agrícola de Jundiá - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), na pessoa do Professor Dr. Júlio César de Andrade Neto, pelo apoio na dedicação do curso.

A Idiana de Macêdo Barbosa e Nkarthe Guerra Araújo, técnicas da Unidade de Processamento de Laticínios – EAJ/UFRN, pela importante e preciosa amizade, além da colaboração na elaboração e análises do iogurte concentrado.

Aos participantes da minha banca pela atenção, conselhos, correções e colaboração dada para a versão deste trabalho.

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.1 Objetivos específicos .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Acerola ( <i>Malpighia emarginata</i> D.C.).....	5
2.2 Jambolão ( <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels) .....	7
2.3 Secagem de alimentos .....	9
2.3.1 Secagem em camada de espuma .....	11
2.3.2 Liofilização .....	15
2.3.3 Isoterma de adsorção.....	18
2.4 Iogurte concentrado.....	19
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 Delineamento experimental .....	23
3.2 Matérias-primas.....	24
3.2.1 Processamento das polpas integrais e mista de jambolão e acerola.....	24
3.3 Caracterização química, física e físico-química das polpas integrais, mistas com e sem aditivos.....	26
3.3.1 Análise colorimétrica .....	26
3.3.2 Densidade .....	26
3.3.3 Teor de água.....	27
3.3.4 Atividade de água ( $a_w$ ) .....	27
3.3.5 Sólidos solúveis totais (SST) .....	27
3.3.6 Acidez total titulável (ATT) .....	27
3.3.7 Razão SST/ATT .....	27
3.3.8 pH.....	27
3.3.9 Cinzas.....	28
3.3.10 Proteína bruta .....	28
3.3.11 Açúcares solúveis totais .....	28

3.3.12 Açúcares redutores .....	28
3.3.13 Pectina .....	29
3.3.14 Lipídeos.....	29
3.3.15 Ácido ascórbico.....	29
3.3.16 Compostos fenólicos totais .....	30
3.3.17 Antocianinas totais .....	31
3.3.18 Flavonoides totais .....	32
3.3.19 Carotenoides totais .....	32
3.3.20 Taninos totais .....	33
3.3.21 Obtenção dos extratos fenólicos .....	33
3.3.22 Atividade antioxidante pelo poder redutor do ferro (FRAP) .....	34
3.3.23 Atividade antioxidante pelo sequestro do radical livre DPPH• .....	34
3.3.24 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos .....	34
3.4 Secagem em camada de espuma .....	35
3.4.1 Preparo das formulações .....	35
3.4.1.1 Densidade das suspensões.....	36
3.4.1.2 Expansão volumétrica ( <i>over-run</i> ) .....	36
3.4.1.3 Estabilidade das espumas .....	37
3.4.2 Seleção do tempo de batimento.....	37
3.4.3 Seleção da espessura da camada de espuma .....	38
3.4.4 Cinética de secagem.....	38
3.4.5 Modelos matemáticos de secagem .....	40
3.4.6 Difusividade efetiva .....	41
3.4.7 Propriedades termodinâmicas .....	42
3.5 Secagem por liofilização .....	42
3.6 Caracterização física dos pós da polpa mista.....	42
3.6.1 Densidade aparente .....	43
3.6.2 Densidade compactada.....	43
3.6.3 Densidade absoluta.....	43
3.6.4 Fator de Hausner .....	44
3.6.5 Índice de compressibilidade ou índice de Carr .....	44
3.6.6 Ângulo de repouso .....	44
3.6.7 Solubilidade .....	45
3.7 Seleção do melhor pó da polpa mista.....	45

3.8 Isotermas de adsorção de água.....	45
3.9 Armazenamento da polpa mista em pó .....	47
3.10 Elaboração do iogurte concentrado .....	47
3.10.1 Avaliação microbiológica .....	49
3.10.2 Avaliação físico-química .....	49
3.10.3 Análise sensorial .....	50
3.10.4 Perfil de textura instrumental .....	51
3.10.5 Análise estatística.....	51
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>ARTIGO 1</b> Caracterização físico-química e bioativa de polpa mista de jambolão e acerola .....	53
<b>ARTIGO 2</b> Formulações de polpa mista de jambolão e acerola para o processo de secagem em camada de espuma.....	80
<b>ARTIGO 3</b> Comportamento higroscópico e cinética de secagem em camada de espuma da polpa mista de jambolão e acerola .....	110
<b>ARTIGO 4</b> Secagem em camada de espuma de polpa mista de jambolão e acerola: Efeito de aditivos e da temperatura .....	149
<b>ARTIGO 5</b> Efeito da adição de maltodextrina na liofilização de polpa mista de jambolão e acerola.....	174
<b>ARTIGO 6</b> Estabilidade do pó da polpa mista jambolão e acerola durante o armazenamento .....	207
<b>ARTIGO 7</b> Elaboração de iogurte concentrado com adição de pós de jambolão e acerola .....	240
<b>5 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>271</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>273</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>289</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>291</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>293</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>294</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>295</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>297</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Fluxograma geral de execução dos experimentos .....	23
<b>Figura 2</b> – Fluxograma das polpas integrais de jambolão e acerola.....	25
<b>Figura 3</b> – Fluxograma de obtenção da polpa mista de jambolão e acerola.....	25
<b>Figura 4</b> – Teste de estabilidade das formulações: 1% de albumina + 0,5% de goma guar (A); 1% de albumina + 0,5% de goma xantana (B) e 1% de albumina + 0,5% de carboximetilcelulose (C) .....	37
<b>Figura 5</b> – Fluxograma das etapas de secagem em camada de espuma da polpa.....	39
<b>Figura 6</b> – Fluxograma de produção do iogurte concentrado.....	48

### ARTIGO 1

<b>Figura 1</b> – Capacidade antioxidante por DPPH e FRAP dos extratos das polpas integrais e mista .....	69
---	----

### ARTIGO 2

<b>Figura 1</b> – Volume de líquido drenado das espumas das formulações (F1, F2 e F3) em função do tempo de batimento em diferentes temperaturas .....	92
<b>Figura 2</b> – Médias da densidade e expansão volumétrica em função do tempo de batimento das Formulações F1; F2 e F3.....	93

### ARTIGO 3

<b>Figura 1</b> – Curvas de cinética de secagem em camada de espuma da formulação F1 na faixa de temperatura de 50 a 80 °C no modelo de Midilli et al.....	123
<b>Figura 2</b> – Curvas de cinética de secagem em camada de espuma da formulação F2 na faixa de temperatura de 50 a 80 °C no modelo de Midilli et al.....	125
<b>Figura 3</b> – Curvas de cinética de secagem em camada de espuma da formulação F3 na faixa de temperatura de 50 a 80 °C no modelo de Midilli et al.....	128
<b>Figuras 4</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da formulação F1 em pó, para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo de Halsey.....	138
<b>Figura 5</b> – Isoterma de adsorção de água a 25 °C da formulação F2 em pó, para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo de Halsey .....	139
<b>Figura 6</b> – Isoterma de adsorção de água a 25 °C da formulação F3 em pó, para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo de Halsey .....	140

## ARTIGO 5

<b>Figura 1</b> – Capacidade antioxidante por DPPH• e FRAP do extrato do pó da polpa mista sem adjuvante liofilizada (L0) .....	189
<b>Figura 2</b> – Isotermas de adsorção de água a 25 °C para os pós da polpa mista liofilizada com ajustes pelo modelo de GAB: concentração de maltodextrina L0 (0%), L10 (10%), L20 (20%) e L30 (30%) .....	196

## ARTIGO 6

<b>Figura 1</b> – Teor de água dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	214
<b>Figura 2</b> – Atividade de água dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	215
<b>Figura 3</b> – pH dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	216
<b>Figura 4</b> – Acidez total titulável dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	217
<b>Figura 5</b> – Ácido ascórbico dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	218
<b>Figura 6</b> – Flavonoides totais dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	219
<b>Figura 7</b> – Antocianinas totais dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	220
<b>Figura 8</b> – Compostos fenólicos dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	221
<b>Figura 9</b> – Taninos dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	223

<b>Figura 10</b> – Solubilidade dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	224
<b>Figura 11</b> – Densidade absoluta dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	225
<b>Figura 12</b> – Densidade aparente dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	226
<b>Figura 13</b> – Densidade compactada dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	227
<b>Figura 14</b> – Fator de Hausner dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	228
<b>Figura 15</b> – Índice de Carr dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C) .....	229

## ARTIGO 7

<b>Figura 1</b> – Histograma de frequência para intenção de compras.....	259
<b>Figura 2</b> – Gráfico box plot para os atributos analisados na análise sensorial Mean = média; Mean±SE = média±erro padrão; Mean±SD = média±desvio padrão.....	260
<b>Figura 3</b> – Bidimensional da Análise de Componentes Principais dos atributos sensoriais das amostras de iogurte.....	261

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Padrão de Identidade e Qualidade para polpa de acerola .....	5
<b>Tabela 2</b> – Composição centesimal do fruto jambolão.....	8
<b>Tabela 3</b> – Formulações com a concentração dos aditivos.....	35
<b>Tabela 4</b> – Modelos matemáticos para descrever as curvas de cinética de secagem .....	40
<b>Tabela 5</b> – Modelos matemáticos das isotermas de adsorção de água .....	46

### ARTIGO 1

<b>Tabela 1</b> – Caracterização físico-química das polpas integrais de jambolão e acerola e da polpa mista.....	60
<b>Tabela 2</b> – Caracterização colorimétrica das polpas de acerola e jambolão integral e polpa mista .....	64
<b>Tabela 3</b> – Caracterização fitoquímica das polpas integrais de acerola e jambolão e a polpa mista .....	65
<b>Tabela 4</b> – Identificação e quantificação do perfil dos compostos fenólicos por HPLC presentes nas polpas integrais de acerola e jambolão e mista .....	68

### ARTIGO 2

<b>Tabela 1</b> – Valores médios da densidade das espumas das formulações (F1; F2 e F3) em função do tempo de batimento.....	88
<b>Tabela 2</b> – Valores médios da expansão volumétrica ( <i>overrun</i> ) das espumas das formulações (F1; F2 e F3) em função do tempo de batimento .....	90
<b>Tabela 3</b> – Caracterização físico-química da polpa mista e das formulações de espuma ..	95
<b>Tabela 4</b> – Tempo de secagem, rendimento de pó e teor de água das formulações nas diferentes espessuras de camada de espuma.....	99

### ARTIGO 3

<b>Tabela 1</b> – Modelos matemáticos ajustados aos dados de cinética de secagem.....	115
<b>Tabela 2</b> – Modelos matemáticos das isotermas de adsorção de água .....	118
<b>Tabela 3</b> – Rendimento de pó, tempo de secagem e teor de água das formulações de polpa mista das secagens em camada de espuma na faixa de temperatura de 50 a 80 °C .....	119

<b>Tabela 4</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens da formulação F1 (1% albumina + 0,5% Goma xantana) com espessura de 0,5 cm .....	120
<b>Tabela 5</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens da formulação F2 (1% albumina + 0,5% CMC) com espessura de 0,5 cm.....	123
<b>Tabela 6</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens da formulação F3 (1% albumina + 0,5% Goma Guar) com espessura de 0,5 cm.....	126
<b>Tabela 7</b> – Coeficientes de difusão efetiva obtidos na cinética de secagem das formulações nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C .....	129
<b>Tabela 8</b> – Valores dos parâmetros da equação de Arrhenius, energia de ativação ( $E_a$ ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das formulações de polpa mista nas temperaturas de 50 a 80 °C.....	130
<b>Tabela 9</b> – Propriedades termodinâmicas das cinéticas de secagem das formulações da polpa mista nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.....	131
<b>Tabela 10</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água da F1 (1% albumina + 0,5% goma xantana) .....	134
<b>Tabela 11</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água da formulação F2 (1% albumina + 0,5% carboximetilcelulose) .....	134
<b>Tabela 12</b> – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água da formulação F3 (1% albumina + 0,5% goma guar) .....	135

#### ARTIGO 4

<b>Tabela 1</b> – Valores médios e desvios padrões do teor de água, atividade de água, pH, sólidos solúveis, acidez e ratio dos pós de polpa mista obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C .....	156
<b>Tabela 2</b> – Valores médios e desvios padrões dos teores de proteínas, açúcares totais, açúcares redutores e não redutores dos pós de polpa mista obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C .....	158

**Tabela 3** – Valores médios e desvios padrões dos teores de ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, carotenoides, compostos fenólicos e taninos dos pós de polpa mista obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C ..... 160

**Tabela 4** – Valores médios e desvios padrões dos parâmetros físicos dos pós de polpa mista obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C ..... 163

## **ARTIGO 5**

**Tabela 1** – Modelos matemáticos de ajuste das isotermas de adsorção de água ..... 182

**Tabela 2** – Valores médios e desvios padrão das propriedades físico-químicas dos pós das formulações de polpa mista obtidos por liofilização ..... 184

**Tabela 3** – Identificação e quantificação do perfil dos compostos fenólicos presentes no pó da polpa mista liofilizada sem adjuvante (L0) ..... 188

**Tabela 4** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físicos das formulações de polpa mista obtidos por liofilização..... 191

**Tabela 5** – Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados às isotermas de adsorção de água dos pós da polpa mista na temperatura de 25 °C ..... 194

## **ARTIGO 7**

**Tabela 1** – Características físico-químicas de iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó..... 249

**Tabela 2** – Composição dos compostos bioativos dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó..... 253

**Tabela 3** – Parâmetros do perfil de textura dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó..... 255

**Tabela 4** – Resultados das análises microbiológicas dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó ..... 256

**Tabela 5** – Valores médios dos parâmetros avaliados na análise sensorial dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó..... 257

MATOS, J. D. P. **Liofilização e secagem em camada de espuma da polpa mista de jambolão e acerola e elaboração de iogurte concentrado**. 2020. 298 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

## RESUMO

Este trabalho foi realizado visando produzir polpa mista de jambolão e acerola, desidratada por dois processos de secagem (liofilização e secagem em camada de espuma) e utilizar os pós na elaboração de iogurtes concentrados. Para a secagem em camada de espuma, em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, foram elaboradas três formulações: F1 - composta de polpa mista + 1% albumina + 0,5% goma xantana; F2 - polpa mista + 1% albumina + 0,5% carboximetilcelulose; e F3 - polpa mista + 1% albumina + 0,5% goma guar. As cinéticas de secagem em camada de espuma das formulações foram determinadas com o acompanhamento da perda de água durante o processo. A liofilização foi efetuada com maltodextrina adicionada à polpa mista nas proporções de 10, 20 e 30% por 72 horas. A polpa mista de jambolão e acerola foi classificada como ácida e com alto teor de compostos fitoquímicos (ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, flavonoides e antocianinas), semelhante às polpas integrais. A partir das análises físicas (densidade, *overrun* e estabilidade), cada formulação apresentou um determinado tempo de batimento e a altura da espuma de 0,5 cm apresentou os resultados mais satisfatórios à secagem em camada de espuma. A polpa mista de jambolão e acerola foi classificada como ácida e com alto teor de compostos fitoquímicos. As formulações espumadas em relação à polpa mista apresentaram redução nos parâmetros físico-químicos, no entanto, aumento dos açúcares e proteínas. A aplicação de modelos de cinética de secagem estabeleceu que o modelo de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais. Observou-se que o processo de secagem ocorreu em período decrescente e que maiores temperaturas resultaram em diminuição do tempo de secagem, da entalpia e entropia e o aumento do coeficiente de difusão efetiva e da energia livre de Gibbs. A formulação F1 apresentou melhor comportamento no processo de secagem em camada de espuma a 70 °C, com o menor teor de água, fator de Hausner, índice de Carr e ângulo de repouso e, o maior teor de carotenoides. A polpa mista liofilizada com 10% de maltodextrina apresentou os melhores resultados dos compostos fitoquímicos. A isoterma de adsorção de água a 25 °C de todos os pós foi classificada como do tipo II. O modelo de Peleg pode ser utilizado para estimar as isotermas dos pós de camada de espuma, enquanto que o modelo de GAB foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais dos pós liofilizados. Após o armazenamento dos pós selecionados por 180 dias, verificou-se que ao passar do tempo houve aumento do teor de água, atividade de água e pH, bem como, redução dos demais parâmetros avaliados. A temperatura mais elevada de armazenamento mostrou menor estabilidade dos compostos fitoquímicos presentes nas amostras desidratadas. Os resultados apresentados indicam que o pó seco por liofilização e o armazenamento a 25 °C mostrou-se mais eficiente para manter a qualidade da polpa mista em pó. As análises microbiológicas realizadas nos iogurtes concentrados foram satisfatórias de acordo com a legislação vigente. Houve destaque para os iogurtes concentrados, adicionados com polpa mista em pó quanto aos parâmetros físico-químicos. O iogurte com o pó da polpa mista liofilizada sem maltodextrina atingiu os maiores teores de compostos bioativos e a formulação com polpa mista liofilizada com maltodextrina o melhor perfil de textura. Houve boa aceitação dos produtos quanto aos atributos sensoriais avaliados e intenção de compra.

**Palavras-chave:** *Syzygium cumini*; *Malpighia emarginata*; alimento funcional; compostos bioativos; frutas tropicais; fruta em pó; desidratação.

MATOS, J. D. P. **Freeze-drying and foam mat drying of the mixed pulp of jambolón and acerola and elaboration of concentrated yoghurt**. 2020. 298 f. Thesis (PhD in Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

#### ABSTRACT

This work aimed to produce mixed pulp of jambolón and acerola, dehydrated by two drying processes (lyophilization and drying in foam layer) and to use the powders in the elaboration of concentrated yoghurts. For drying in a foam layer, in an oven with forced air circulation at temperatures of 50, 60, 70 and 80 °C, three formulations were made: F1 - composed of mixed pulp + 1% albumin + 0.5% xanthan gum; F2 - mixed pulp + 1% albumin + 0.5% carboxymethylcellulose; and F3 - mixed pulp + 1% albumin + 0.5% guar gum. Foam layer drying kinetics of the formulations were determined by monitoring the loss of water during the process. Lyophilization performed with maltodextrin and added to the mixed pulp in the proportions of 10, 20 and 30% for 72 hours. The mixed pulp of jambolón and acerola was classified as acidic and with a high content of phytochemicals (ascorbic acid, total phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins), similar to whole pulps. From the physical analyzes (density, overrun and stability) each formulation had a specific beating time and the foam height of 0.5 cm presented the most satisfactory results for drying in a foam layer. The mixed pulp of jambolón and acerola obtained the classification of acid and with high content of phytochemicals. Foamed formulations in relation to mixed pulp showed a reduction in physical-chemical parameters, however, an increase in sugars and proteins. The application of drying kinetics models established that the Midilli model was the one that presented the best adjustments to the experimental data. The drying process occurred in a decreasing period, with higher temperatures resulted in a decrease in drying time, enthalpy and entropy and an increase in the effective diffusion coefficient and Gibbs free energy. The F1 formulation showed better performance in the drying process in a foam layer at 70 °C, with the lowest water content, Hausner factor, Carr index and angle of rest and, the highest carotenoid content. The lyophilized mixed pulp with 10% maltodextrin showed the best results for phytochemicals. The water adsorption isotherm at 25 °C of all powders obtained type II classification. The Peleg model can estimate the isotherms of the foam layer powders, whereas the GAB model was the one that best fit the experimental data of the lyophilized powders. After storing the selected powders for 180 days, over time there was an increase in water content, water activity and pH, as well as a reduction in the other parameters evaluated. The higher storage temperature showed less stability of the phytochemicals present in the dehydrated samples. The results presented indicate that the freeze-dried powder and storage at 25 °C proved to be more efficient to maintain the quality of the mixed pulp powder. The microbiological analyzes performed on concentrated yogurts were satisfactory in accordance with current legislation. The highlight was the concentrated yoghurts added with mixed pulp powder in terms of physico-chemical parameters. The yogurt with the powder of the freeze-dried mixed pulp without maltodextrin reached the highest levels of bioactive compounds and the formulation with the freeze-dried mixed pulp with maltodextrin the best profile of texture. There was good acceptance of the products regarding the evaluated sensory attributes and purchase intention.

**Keywords:** *Syzygium cumini*; *Malpighia emarginata*; functional food; bioactive compounds; tropical fruits; fruit powder; dehydration.



## 1 INTRODUÇÃO

O consumo regular de frutas é importante para uma dieta saudável devido à sua riqueza em nutrientes. Além disso, seu consumo pode prevenir várias doenças decorrentes da presença de compostos bioativos com propriedades antioxidantes (AHMAD et al., 2016; PLAZA et al., 2016; LENQUISTE et al., 2015).

O Brasil é um país com ampla área territorial e com diversas condições climáticas, consequentemente, com possibilidade de produção variada de frutas. Apesar da abundância, há uma grande quantidade de espécies subexploradas, que possuem excelente potencial de processamento. Dentre essas frutas, destacam-se abiu (*Pouteria caimito*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*), murici (*Byrsonima crassifolia*) e bacuri (*Platonia insignis*) (RESENDE et al., 2019). A sua inserção na cadeia agroindustrial depende da oferta regular e do atendimento de exigências tecnológicas relacionadas ao processamento e a formas convenientes de apresentação.

O jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) é uma fruta tropical, pertencente à família Myrtaceae, também conhecida popularmente como “azeitona roxa” e quando madura apresenta cor vermelho-púrpura a preta devido ao seu alto teor de antocianinas (SERAGLIO et al., 2018). Pode ser encontrada em grande parte do Brasil, nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste (BRITO et al., 2017). Porém, devido ao desconhecimento popular e pelo sabor peculiar, estudos em relação ao aproveitamento do jambolão ainda são pouco representativos.

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) é um fruto de polpa suculenta e refrescante, com característica sensorial ácida. É cultivada comercialmente no Brasil, representando uma importante fonte de renda no setor agrícola. É conhecida por possuir compostos antioxidantes como a vitamina C e polifenóis (NOGUEIRA et al., 2019). Diferente do jambolão, é possível encontrar no mercado diversos produtos industrializados de acerola, como sucos, polpa, geleias, concentrados, sorvetes e licores, entre outros.

A mistura de diferentes frutas tem sido tendência no mercado de polpas, com a finalidade de superar o alto custo de algumas frutas exóticas, escassez ou disponibilidade sazonal, balanceamento de sabores fortes, alta acidez, adstringência, melhorando assim a aceitação sensorial. A composição físico-química e bioativa de cada fruta utilizada é somada, otimizando seu potencial nutricional (CARVALHO; MATTIETTO; BECKMAN, 2017). Considerando o potencial antioxidante e sensorial destas duas frutas, torna-se interessante estudar sua inserção em produtos alimentícios de forma combinada.

Apesar do crescente consumo de polpas de frutas, seu processo de armazenamento gera adversidades decorrentes dos custos com a cadeia de frio, do grande volume no transporte e estocagem. Portanto, a secagem é uma alternativa aplicável às polpas de frutas por ser capaz de aumentar a vida útil, concentrar compostos nutricionais e antioxidantes e manter a estabilidade durante o armazenamento. A obtenção de polpa em pó apresenta vantagens na qualidade e conservação do produto, como baixo peso e volume, rápida preparação e fácil dosagem (NEMZER et al., 2018). Dentre as técnicas de secagens aplicadas à produção de polpa em pó, podem-se destacar a liofilização e a secagem em camada de espuma.

A liofilização é considerada como referência para pós de alta qualidade, uma vez que preserva ao máximo atributos sensoriais como sabor e cor, bem como os nutrientes da fruta original, devido à sua baixa temperatura de processamento e à ausência de oxigênio do ar durante o processamento, o que minimiza as reações de degradação (KAPOOR; RANOTE, 2016). Os alimentos liofilizados têm algumas características que se destacam em comparação com outros processos de secagem, como alta porosidade, boa reidratação e baixa densidade aparente (VALENTINA et al., 2016).

A secagem em camada de espuma é uma técnica de desidratação prática e de baixo custo, em que agentes espumantes são adicionados ao material líquido, passando por agitação até formação de uma espuma estável, que é distribuída em camadas finas e submetidas à secagem em temperaturas que variam de 50 a 80 °C. Este processo de secagem pode ser utilizado para produtos sensíveis ao calor, pegajosos, viscosos e com alto teor de açúcares como as polpas de frutas (QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2019).

Verifica-se no mercado lácteo uma tendência de adicionar frutas em iogurtes, no intuito de melhorar o valor nutricional e sensorial, pois são ricas em compostos bioativos. Geralmente são utilizados preparados à base de frutas, que é uma mistura de fruta e outros ingredientes destinados a darem sabor, cor e aroma a iogurtes. Por sua vez, busca-se alternativas para produção de novos flavorizantes à base de frutas que possam agregar benefícios à saúde dos consumidores.

Dentre os diversos produtos oriundos da fermentação láctea o iogurte concentrado vem ganhando destaque devido ao seu sabor levemente ácido, cor branca e textura suave (BONATTO; CANTERI, 2017). As propriedades nutricionais do iogurte concentrado são amplamente apreciadas por causa do seu alto valor proteico, mineral e microbiológico, além do baixo teor de lactose (MOHAMED et al., 2016).

## 1.1 Objetivo geral

Produzir pós a partir da polpa mista de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) por dois processos de secagem (secagem em camada de espuma e liofilização) e utilizar os pós na elaboração de iogurtes concentrados.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar as polpas integrais de jambolão e acerola e a polpa mista de jambolão e acerola quanto às propriedades físicas, físico-químicas e de bioatividade;
- Elaborar três formulações com a polpa mista de jambolão e acerola adicionada de agentes espumantes e estabilizantes (goma guar, goma xantana, carboximetilcelulose e albumina), em diferentes concentrações e combinações, submetê-las a diferentes tempos de batimento para formação de espuma e avaliá-las quanto às características físicas (densidade, expansão volumétrica e estabilidade), físico-químicas e compostos bioativos;
- Efetuar a secagem em camada de espuma a 70 °C das formulações em camadas de espuma com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 para determinação do rendimento, teor de água e tempo de secagem dos pós e, por esses critérios, definir a espessura da camada a ser utilizada nas demais secagens;
- Determinar as cinéticas de secagem em camada de espuma das três formulações em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) na espessura da camada de espuma selecionada e ajustar os modelos matemáticos da literatura aos dados experimentais das cinéticas de secagem;
- Caracterizar, quanto às propriedades físico-químicas e físicas, os pós da secagem em camada de espuma;
- Elaborar formulações com a polpa mista adicionada do adjuvante de secagem maltodextrina nas proporções de 0 (controle), 10, 20 e 30%, liofilizá-las e caracterizar os pós quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e compostos bioativos;
- Avaliar o comportamento higroscópico dos pós da polpa mista, da secagem em camada de espuma e da liofilização, por meio das isotermas de adsorção de água a 25 °C e ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais obtidos;
- Selecionar, a partir dos resultados da caracterização dos constituintes químicos, físicos e físico-químicos, o melhor pó da secagem em camada de espuma e da liofilização e avaliá-los por meio de análises químicas, físicas e físico-químicas durante 180 dias de

armazenamento, sob condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade relativa (83%), acondicionados em embalagens laminadas;

- Analisar a composição física, físico-química, os compostos bioativos e o perfil de textura e sensorial de cinco formulações de iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.)

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) da família Malpighiaceae é uma fruta tropical, também conhecida como cereja de Barbados. A fruta se destaca por ser uma das mais ricas fontes naturais de ácido ascórbico. A polpa de acerola possui teor de ácido ascórbico variando entre 1000-4000 mg/100 g de polpa fresca (DELVA; SCHNEIDER, 2013).

É um fruto nativo das ilhas do Caribe, classificado como uma drupa carnosa e suculenta. Os frutos são pequenos (1-4 cm de diâmetro), pesando 2-15 g, a polpa constitui a maior parte do fruto, entre 70 e 80%, o endocarpo é formado por três caroços unidos entre si e o epicarpo (casca externa) é uma superfície fina e lisa dividida em três gomos (PRAKASH; BASKARAN, 2018). A coloração externa varia de verde no estágio imaturo da maturação, para vermelho-alaranjado e vermelha brilhante no final da maturação (JUNQUEIRA et al., 2004). E por se tratar de uma fruta climatérica e com alto teor de água possui uma curta vida útil.

Define-se polpa ou purê de acerola como o produto não fermentado e não diluído, obtido da parte comestível da acerola através de processo tecnológico adequado, com teor mínimo de sólidos solúveis totais, cor variando do amarelo ao vermelho, sabor ácido e aroma próprio (BRASIL, 2018).

Tabela 1, estão descritos os padrões de identidade e qualidade para polpa de acerola de acordo com a Instrução Normativa nº 37 de 08 de outubro de 2018 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 20018).

**Tabela 1** – Padrão de Identidade e Qualidade para polpa de acerola

Composição	Mínimo
Sólidos solúveis em °Brix a 20 °C	5,5
pH	2,80
Acidez total em ácido cítrico (g/100 g)	0,80
Ácido ascórbico (mg/100 g)	800,00
Açúcares totais (g/100 g)	4,00
Sólidos totais (g/100 g)	6,50

Fonte: Brasil, 2018.

Além de seus benefícios nutricionais, muitos estudos comprovam sua atividade antioxidante devido à quantidade significativa de compostos bioativos, como antocianinas, carotenóides, ácidos fenólicos e fibras alimentares (SILVA; DUARTE; BARROZO, 2016). Rezende, Nogueira e Narain (2018) encontraram relevantes teores de compostos fenólicos (469,73 e 1279,70 mg GAE/100 g) em resíduo de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) extraídos por extração assistida convencional e ultrassônica.

Entre os compostos fenólicos, os flavonoides, em especial as antocianinas, estão envolvidos em mudanças importantes na cor das frutas e legumes. Souza et al. (2017) avaliando cultivares de acerola, observaram que a cianidina-3-ramnosídeo e a quercetina-3-ramnosídeo é o flavonoide e a antocianina, respectivamente, mais abundante na acerola e seu conteúdo depende da cultivar.

Por causa do solo e clima o Brasil é considerado um grande produtor de acerola na América do Sul (MALEGORI et al., 2017). A cultura foi introduzida no país em 1955, no Estado de Pernambuco, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) onde rapidamente conseguiu adaptação e expansão na área de cultivo, por conta das condições edafoclimáticas, o Nordeste obteve destaque no cenário de produção (RITZINGER; RITZINGER, 2011). Devido a alta produção por safra e periodicidade produtiva com quatro a seis safras anuais, esta fruta tem uma grande importância socioeconômica para o agricultor (SOUZA et al., 2006).

Em decorrência de sua estrutura física e constituição química a acerola é sensível a perdas pós-colheita, como declínio do teor de água quando conservada em altas temperaturas e baixa umidade relativa; tratando-se de uma fruta tropical, a baixa temperatura pode acarretar lesões e contração na casca (QUOC et al., 2015). Portanto, é justificável a aplicação de processos tecnológicos visando sua maior disponibilidade no mercado.

A maior parte da sua colheita é comercializada na forma *in natura* e como forma de escoar o excedente da alta oferta são elaborados produtos a partir da acerola, como polpa congelada, néctar, doces, suco (integral, concentrado e desidratado), entre outros (JAESCHKE; MARCZAK; MERCALI, 2016).

Reis et al. (2017) apontaram que a produção de farinha de acerola é uma alternativa para diversificar a comercialização do fruto e reduzir as perdas pós-colheita, tornando possível o armazenamento em condições ambientais por maior tempo, propiciando o consumo do produto fora da safra.

Moraes et al. (2017) observaram no estudo com polpa de acerola liofilizada e armazenada a 4 e 25 °C que os pós apresentaram alta retenção de ácido ascórbico (65,2% a

25 °C e 88,9% a 4 °C). Araújo et al. (2015) em sua pesquisa utilizaram o suco de acerola como substrato para a síntese de oligossacarídeos, que posteriormente foi seco em leito de jorro usando maltodextrina como veículo. O pó seco a 60 °C apresentou baixa higroscopicidade (7,90%), baixo teor de água (1,91%) e baixa atividade de água (0,18).

## 2.2 Jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels)

O *Syzygium* é um dos gêneros da família Myrtaceae, que compreende 3800 a 5800 espécies (SERAGLIO et al., 2018). Algumas das espécies comestíveis de *Syzygium* são plantadas em todo o mundo, embora muitas delas sejam pouco conhecidas e muitas não foram descritas taxonomicamente (VENUGOPAL; CHERITA; ANU-APPALIAH, 2018).

A espécie *Syzygium cumini* é uma das mais conhecidas e muito cultivada. Os sinônimos de *S. cumini* são *Eugenia jambolana* Lam., *Myrtus cumini* Linn., *Syzygium jambolana* DC., *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC., *Eugenia djouant* Perr., *Calyptanthes jambolana* Willd., *Eugenia cumini* (Linn.) Druce. e *Eugenia caryophyllifolia* Lam., são comumente conhecidos como jambolana, jambolão, ameixa negra, ameixa indiana, jamelão, azeitona-do-nordeste, ameixa roxa e ameixa damson (AYYANAR; SUBASH-BABU, 2012).

A planta *Syzygium cumini* é um arbusto perene que teve origem na Ásia tropical, especificamente na Índia, África Oriental e América do Sul. Inicialmente, foi introduzida em muitos lugares como planta ornamental e também por sua madeira nobre. O processo de desenvolvimento dos frutos leva cerca de dois meses, durante o qual ocorrem muitas mudanças na composição físico-química e nos constituintes fitoquímicos. A fruta madura tem uma combinação de sabor doce, suavemente amargo e aromático e transmite cor roxa para a língua (BALIGA et al., 2011).

Os frutos são encontrados em grupos de quatro a vinte unidades e que não amadurecem homogeneamente, apresentando apenas uma semente larga e central, envolvida por uma polpa carnosa e comestível, mucilaginoso de forma ovoide, elípticos, com 1,5-3,5 cm de comprimento e cerca de 2 cm de diâmetro, pericarpo de cor roxo-vermelha a preto quando está completamente maduro, contendo mesocarpo rosada a quase branca com sabor adstringente (SINGH et al., 2015).

Na Tabela 2 é possível observar a composição nutricional do jambolão apontada pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011).

**Tabela 2** – Composição centesimal do fruto jambolão

Componentes	Jambolão ( <i>in natura</i> )
Teor de água (g/100 g)	87,7
Proteína (g/100 g)	0,5
Lipídeos (g/100 g)	0,1
Carboidratos (g/100 g)	10,6
Fibra alimentar (g/100 g)	1,8
Cinzas (g/100 g)	1,0
Cálcio (mg/100 g)	3
Magnésio (mg/100 g)	2
Energia (Kcal)	41

Fonte: NEPA (2011).

Nos Estados Unidos e nos países da Europa, o jambolão é considerado uma iguaria e comercializado sem sementes (SINGH et al., 2016). Devido ao sabor e cor intensos é usado nos preparos de vários produtos alimentícios como polpa, vinho, gelatina e pão (BRANCO et al., 2016). Na Índia, o jambolão tem uma longa história de uso no tratamento de várias doenças. Todas as partes do fruto são utilizadas tradicionalmente na medicina popular e homeopática para tratar diabetes, escorbuto, diarreia e outros distúrbios (RODRIGUES et al., 2015).

Estes efeitos benéficos estão provavelmente relacionados com a presença de compostos bioativos, como antocianinas que são responsáveis pelo pigmento e compostos fenólicos, como flavonoides e ácidos fenólicos, responsáveis pela adstringência (MUSSI et al., 2015). Tavares et al. (2016), detectaram cerca de 74 compostos fenólicos nas partes comestíveis do jambolão, incluindo 9 antocianinas, 9 flavonóis, 19 flavanonóis, 8 flavan-3-ol monómeros, 13 galotaninos e 13 elagitaninos, juntamente com algumas proantocianidinas e ácido gálico. Foi sugerido que estes compostos possuem várias características funcionais, como por exemplo, atividades antioxidante, antimicrobiana, antiglicêmica, anticarcinogênica e antiviral.

Apesar de ser amplamente consumida, sua comercialização ainda não é expressiva, uma vez que, ainda são tratadas como plantas selvagens ou sem significância comercial (DONADO-PESTANA et al., 2015; GURAK et al., 2014). Grande parte dos frutos é desperdiçada na safra, em virtude da alta produção por árvore, da curta vida útil dos frutos *in natura* e, principalmente, por falta de tecnologias de processamento desse fruto.



Devido a sazonalidade e perecibilidade do fruto, diversos estudos avaliaram a secagem utilizando diferentes técnicas, como secagem por aspersão (SANTHALAKSHMY et al., 2015), secagem por ar quente, liofilização (KAPOOR; RANOTE, 2016) e secagem em leito de jorro (MUSSI et al., 2015), para aumentar sua longevidade.

O pó de jambolão pode ser utilizado na preparação de bebidas de frutas que formam um importante segmento da indústria alimentícia e servem como suplementos dietéticos, ricos em vitaminas, minerais e micronutrientes (BALAJI; PRASAD, 2014).

### **2.3 Secagem**

Uma das principais causas da deterioração de alimentos frescos e processados é a quantidade de água livre presente. A secagem é um método de conservação de alimentos utilizada historicamente, desde o homem pré-histórico com a descoberta do fogo. É definida como um mecanismo simultâneo de transferência combinada de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de água contida no mesmo por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido (GONELI et al., 2014).

A secagem reduz a disponibilidade de água em um alimento com o propósito de diminuir reações químicas de deterioração, prolongar o tempo de armazenabilidade, reduzir o volume e a massa do produto, com conseqüente diminuição simultânea do crescimento e metabolismo microbológico e inativação de enzimas (CASARIN et al., 2016; FELLOWS, 2006).

Industrialmente a secagem é realizada pelo calor produzido artificialmente sob condições de temperatura, umidade e corrente de ar, cuidadosamente controladas (KARAM et al., 2016). Aplicada com sucesso em frutas, a secagem mostra-se uma maneira eficiente de obter produtos com fitoquímicos e sólidos naturais concentrados, com atributos desejáveis e alto valor agregado, constituindo um método alternativo para redução dos desperdícios pós-colheita (MORAES et al., 2017).

A capacidade antioxidante de alguns compostos pode ser elevada após o processo de desidratação, uma vez que estavam preservados em vacúolos e, após expostos ao calor, a quebra dos constituintes celulares acelera a liberação desses compostos bioativos (MUSSI et al., 2015). Condições de secagem inadequadas, no entanto, podem acarretar mudanças significativas nas características físico-químicas e bioativas e gerar produtos de qualidade inferior (DORTA; LOBO; GONZÁLEZ, 2012).

As exigências do mercado para produtos secos de alta qualidade levaram à produção de produtos com propriedades nutricionais e sensoriais semelhantes às dos produtos frescos. Apesar disso, são necessárias novas tecnologias de secagem com perspectivas ecológicas, com baixo consumo de energia, de baixo custo, seguras, e com melhor controle de qualidade (DEHGHANNYA et al., 2019).

Polpas de fruta em pó têm como principal vantagem a eliminação das despesas com o armazenamento do frio, com a possibilidade de manter o material desidratado em temperatura ambiente, além do benefício de tê-la disponível durante todo o ano. As propriedades ligantes do pó com a água tornam-no um produto de fácil reconstituição, tornando-se um ingrediente estável que pode ser convenientemente manipulado para o desenvolvimento de alimentos, tais como sucos instantâneos, lanches, bebidas carbonatadas, produtos de padaria, molhos e pastas, com economia em custos de embalagem e espaço de armazenamento (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

Várias técnicas de secagem, tais como secagem por atomização, leite de jorro, liofilização e camada de espuma são utilizadas para a produção de polpa de fruta em pó, no entanto, o processo utilizado para obter o pó deve assegurar a máxima preservação dos compostos antioxidantes funcionais (AGUDELO et al., 2016). Segundo Shofian et al. (2011) os produtos secos têm a grande vantagem de reter mais sabor, aroma, cor e compostos fitoquímicos.

Os produtos secos têm a grande vantagem de reter mais sabor, aroma, cor e compostos fitoquímicos (SHOFIAN et al., 2011).

A cinética e a modelagem matemática são consideradas ferramentas importantes na otimização do processo de secagem (LEITE et al., 2015). A cinética de secagem tem sido um assunto amplamente utilizado e discutido na literatura, evidenciando que a temperatura e a velocidade do ar de secagem se configuram como as variáveis mais importantes nesse processo (SILVA et al., 2016).

Existem métodos empíricos, teóricos e semi-teóricos para se descrever matematicamente o processo de secagem. O método empírico é utilizado para análise de secagem usando-se dados experimentais, que podem ser determinados em laboratório e na utilização da análise adimensional. O uso de modelos matemáticos nas simulações de operações de secagem auxilia no projeto, desenvolvimento, avaliação e otimização de secadores (ASSIS; MORAIS; MORAIS, 2016).

O uso dos modelos facilita o cálculo do teor de água durante a secagem, visto que neste processo ocorrem variações de temperatura e umidade relativa do ar em contato com

o material, o que acarreta mudanças no teor de água de equilíbrio. Os modelos matemáticos desenvolvidos têm sido utilizados para estimar o tempo de secagem de diversos produtos e para generalizar as curvas de secagem (MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002).

Análises das curvas de secagem e determinação do teor de água permitem estimar o gasto energético que refletirá no custo de processamento e influenciará no preço final do produto. A simulação, cujo princípio é baseado na secagem de sucessivas camadas finas do produto, requer o uso de um modelo matemático que represente, com limites satisfatórios de confiança, a perda de água durante o período de secagem (SMANIOTTO et al., 2017).

Silva Filho et al. (2016) determinaram a cinética de secagem em camada de espuma da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Espada com adição de 1,5% de Emustab<sup>®</sup> e 1,5% de Super Liga Neutra<sup>®</sup>, em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e espessura da camada de espuma (0,5 cm), ajustando os modelos de Henderson & Pabis, Henderson, Logarítmico, Page e Exponencial de dois termos aos dados experimentais da secagem. O modelo de Henderson foi o que descreveu, de forma mais satisfatória, os dados da secagem em camada de espuma, apresentando o maior coeficiente de determinação e o menor desvio quadrático médio nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e espessura de 0,5 cm.

### 2.3.1 Secagem em camada de espuma

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) é um método relativamente simples, barato e rápido que recebe atenção renovada devido à sua capacidade de processar alimentos difíceis de transformar em pó e com boa preservação de compostos voláteis (QADRI; SRIVASTAVA, 2017).

A secagem em camada de espuma consiste em um processo de transformar o material líquido ou pastoso em uma espuma estável, usando agentes espumantes/estabilizantes, por meio de batida e incorporação de ar ou outro gás, que é submetida à secagem com ar aquecido em camadas delgadas, à pressão atmosférica e, por fim tritura-se o sólido, a fim de se obter um pó (IZQUIERDO-LÓPEZ; GOULET; RATTI, 2016).

O processo de secagem em camada de espuma consiste, basicamente, de três etapas: transformação do suco ou da polpa de fruta em espuma estável, com aditivos adequados; desidratação do material em camada fina até formar uma folha porosa com massa constante e desintegração da massa seca em pó (SANGAMITHRA et al., 2015).

As vantagens do processo de secagem em camada de espuma são a alta taxa de secagem a temperatura baixa (inferior a 100 °C), devido à maior área superficial exposta ao

ar, o que aumenta a velocidade de remoção de água, retenção de qualidade nutricional, fitoquímica e sensorial, fácil reconstituição em água fria e ótima relação custo-benefício. Como a secagem envolve tratamento térmico, espera-se que ocorram efeitos sobre as características físicas, físico-químicas e fitoquímicas do pó obtido que precisam ser verificadas (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

A formação de espuma depende de muitos parâmetros, tais como propriedades do material aplicado, método de produção da espuma e condições de formação da espuma. Devido à estrutura porosa dos materiais espumados, a transferência de massa é reforçada, levando a tempos de secagem mais curtos e, conseqüentemente, conferindo maior qualidade ao produto seco. As propriedades de espuma como estrutura, densidade e estabilidade, têm influência importante sobre a migração de umidade durante a secagem (HARDY; JIDEANI, 2017).

Muitos estudos tem sido conduzidos a fim de determinar as melhores condições para a secagem em camada de espuma (temperatura de secagem, tempo de secagem, tempo de batimento, espessura da camada de espuma, tipo de aditivo e concentração de emulsificante), bem como de caracterizar os produtos obtidos (KAUSHAL; SHARMA; SHARMA, 2011).

A capacidade espumante e a estabilidade são as características mais relevantes do processo de obtenção da espuma que podem ser medidas pela sua razão de expansão ou densidade. A estabilidade da espuma é definida como a taxa e/ou a quantidade de drenagem líquida da espuma em um determinado tempo, o que poderá ocorrer a partir da ruptura das lamelas (FERNANDES et al., 2014). A estrutura de espuma estável é desejável para secagem rápida e facilidade de remoção do material seco da bandeja. Por esta razão, características como a espessura e força da lamela são importantes para garantir uma boa estabilidade da espuma (AZIZPOUR et al., 2013).

Segundo Dehghannya et al. (2018) à medida que a área da superfície da espuma aumenta, a taxa de secagem aumenta. Camadas de espuma mais espessas reduzem a difusão de água das partes internas para a superfície. Isso resultará em um processo de evaporação de água mais lento e uma menor taxa de secagem. Os autores verificaram a influência da espessura da camada de espuma (0,004, 0,005, 0,006 m) e a adição de ovoalbumina como agente espumante na produção de suco de limão em pó e concluíram que ao aumentar a espessura da espuma de 0,004 para 0,006 m, o valor médio da taxa de secagem diminuiu em 33,33%. As descobertas de Salahi, Mohebbi e Taghizadeh (2015) também foram consistentes com essa observação, em que as maiores taxas de secagem foram relatadas para as menores espessuras de espuma.

As espumas que não colapsam por pelo menos 1 hora são mecanicamente estáveis para o processo de secagem. Para manter tal estabilidade têm sido usados agentes com atividade superficial, como os surfactantes ou tensoativos produzidos a partir de ácidos graxos ou álcoois, polímeros ou proteínas maiores, os quais melhoram a força da lamela e aumentam a estabilidade das espumas, promovendo uma interação homogênea de ingredientes, evitando que, com o tempo, os ingredientes se separem em diferentes fases (DEMIRCI; YILMAZ; DEMIRCI, 2014).

Os agentes espumantes ou emulsificantes são moléculas que possuem uma extremidade polar e uma cadeia carbonada não polar. Comercialmente pode-se encontrar estes agentes entre os derivados dos ésteres de sorbitana e os monoglicerídeos, entre outros. É possível encontrar misturas de surfactantes para a produção de espumas sólidas em panificação e para a produção de sorvetes de massa; uma das mais populares é conhecida como Emustab, uma mistura de monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearato de sorbitana (SALAH; MOHEBBI; TAGHIZADEH, 2015).

A goma guar também pode ser empregada em bebidas como estabilizante ou, ainda, em sorvetes, molhos, misturas para bolo, como espessante (MUDGIL; BARAK; KHATKAR, 2014). Sua principal propriedade é a capacidade de hidratar-se rapidamente em água fria. Além disso, o baixo custo da goma guar é uma grande vantagem para sua utilização (OLIVEIRA et al., 2015).

Silva et al. (2018) testaram diferentes proporções de goma guar e goma xantana na elaboração de um *shake* desenvolvido com farinha de banana verde, as formulações foram submetidas ao teste de viscosidade. De acordo com os resultados observou-se que as formulações que continham associação da goma guar à goma xantana, cujo efeito tende a promover um aumento na viscosidade de soluções, apresentaram menor perda de viscosidade. No entanto, a amostra sem adição de estabilizante, apresentou menor viscosidade em todas as épocas de análise, indicando a importância do uso de estabilizantes para manter as características organolépticas do produto.

Por outro lado, as proteínas de alto peso molecular como a albumina, a proteína concentrada e a proteína isolada de soro de leite, também são agentes usados para a formação de espumas estáveis. A albumina, especificamente, possui uma grande capacidade estabilizante e, por esta razão, é utilizada em diversas aplicações industriais. Atua como um emulsificante, diminuindo a tensão superficial e provocando a formação das bolhas (ŻMUDZIŃSKI et al., 2014).

Abbasi e Azizpour (2016) investigaram o efeito da clara de ovo (1, 2 e 3 g/100 g) e a metilcelulose (1, 1,5 e 2 g/100 g) como agentes espumantes e maltodextrina (8 g/100 g) como estabilizador na densidade e volume de drenagem da espuma de cereja azeda. Os resultados indicaram que o aumento da concentração de metilcelulose elevaram a estabilidade da espuma, com isso a estrutura da espuma colapsou mais tarde elevando a taxa de secagem e, assim, encurtou o tempo de secagem. A densidade da espuma reduziu significativamente com o aumento da concentração de clara de ovo.

Franco et al. (2015) ao avaliarem os efeitos da concentração dos agentes espumantes (Emustab<sup>®</sup> e albumina em pó) e do tempo de batimento nas características da espuma de suco de yacon e suco concentrado de yacon identificaram que a concentração do agente espumante em conjunto com tempo de incorporação do ar levou à redução da densidade, aumento da expansão e fração volumétrica do ar e estabilidade física do produto. As espumas formadas com concentrações mais elevadas de agente espumante e tempos de batimento mais longos mostraram características mais desejáveis para a secagem em camada de espuma.

Olaniyan, Adeoti e Sunmonu (2017) avaliaram o efeito do agente espumante clara de ovo (5, 10, 15 e 20%), estabilizador de espuma carboximetilcelulose - CMC (0,15, 0,30, 0,45 e 0,60%) e o tempo de batimento (3, 5, 7 e 9 minutos) na taxa de secagem e na qualidade de tomate (*Lycopersicon esculentus*) em pó. Os resultados mostraram que a taxa de secagem aumentou com o aumento do agente espumante, estabilizador de espuma e tempo de batimento. No entanto, não causou nenhum efeito adverso sobre os teores de vitamina C, cinzas, proteínas, gorduras, carboidratos e fibra bruta das amostras.

Lobo et al. (2017) investigaram o efeito da temperatura, a concentração do espumante lecitina de soja e do estabilizante carboximetilcelulose-CMC no conteúdo fenólico e capacidade antioxidante de manga Tommy Atkins em pó, observando que a lecitina de soja e o CMC demonstraram propriedades mais espumantes para o processo de secagem, o que resultou em uma alta capacidade de formação e estabilização de espuma. Nesse estudo concluiu-se que uma secagem a 80 °C e uma concentração de 0,30 g/100 g de CMC e lecitina de soja são ideais para maior retenção de compostos fenólicos e capacidade antioxidante de manga em pó.

Ng e Sulaiman (2018) ao avaliarem o efeito de tipos e concentrações de albumina de ovo e gelatina de peixe como espumantes na produção de beterraba em pó, perceberam que o aumento das concentrações de agente espumante causou maior expansão de volume e

menor densidade na espuma. Além disso, a albumina de ovo proporcionou maior estabilidade para o processo de secagem.

### 2.3.2 Liofilização

A liofilização ou criodesidratação ou criosecagem (*freeze-drying*) é uma técnica de secagem em que a água, previamente congelada, passa diretamente do estado sólido para o gasoso (sublimação), em condições especiais de temperatura e pressão. É apropriada para produtos sensíveis à submissão ao calor, por minimizar as alterações físicas e químicas como reação de Maillard, desnaturação proteica e reações enzimáticas nos produtos secos, em comparação com as mudanças observadas em outras tecnologias de secagem (WILKOWSKA et al., 2016).

É uma técnica que consiste em dois estágios principais, no primeiro ocorre a remoção da água na temperatura de sublimação e pressão parcial de vapor d'água inferiores ao ponto triplo da água (639,95 Pa, 273,15 K), a água é então separada na forma de vapor da substância previamente congelada, passando da fase sólida para fase gasosa sem passar pela fase líquida e o segundo estágio, em que, a dessorção da água não congelada é removida (CIURZYNSKA; LENART, 2010).

De acordo com Bando et al. (2017), as substâncias congelantes como a água presente no material aumentam a rigidez do produto e evitam o colapso da matriz sólida que permanece após a secagem, evitando o encolhimento excessivo, resultando em um produto seco com uma estrutura porosa, não encolhida, que facilita a reidratação rápida e quase completa.

No entanto, esta técnica tem custos altos para implantação (compra, instalação e manutenção), pois envolve tecnologias mais avançadas, por isso, permanecem fora do alcance da maioria dos alimentos comerciáveis. É um processo que exige mais, tanto em termos de tempo quanto de energia, além de cuidados especiais no manuseio, pois caso contrário, ao invés de retirar a água ele pode queimar a superfície dos alimentos (MORTIER et al., 2016).

Agudelo et al. (2016), ao compararem a liofilização com a secagem por aspersão como tecnologias de secagem para obter pó de toranja, obtiveram um produto com maior teor de vitamina C e carotenoides totais na liofilização, propondo que a liofilização seja proposta como uma tecnologia melhor do que a secagem por aspersão. Moraes et al. (2017) em estudo com polpa de acerola liofilizada com e sem goma arábica verificaram que a polpa

liofilizada com goma arábica foi mais solúvel (64,1 a 73,7%) e apresentou baixa atividade de água (0,273 a 0,300).

Agudelo et al. (2017) estudaram diferentes pós de toranja obtidos por liofilização e secagem por aspersão com adição prévia de goma arábica e fibra de bambu para avaliar o efeito desses processos na retenção de antioxidantes. As amostras liofilizadas apresentaram retenção acima de 90% desses fitoquímicos e boa retenção de vitaminas, resultando em produtos com alta atividade antioxidante.

Barbosa et al. (2015), ao investigaram o efeito da secagem por atomização, liofilização e secagem por ar quente convectivo na produção de um pó probiótico de laranja, constataram que a liofilização resultou na melhor retenção de cor e com um bom teor de vitamina C, todavia, pelos altos custos de produção e longos tempos de secagem, a atomização foi sugerida como o melhor método para produzir o pó de suco de laranja probiótico.

Segundo Castañeda-Saucedo et al. (2014), a liofilização é a melhor opção para desidratar abacate, pois é uma alternativa de agregar valor ao fruto, apresentando outros benefícios que a fruta fresca não apresenta, como maior vida útil, menor peso para transportar para outros mercados com maior distância do ponto de produção.

Os produtos em pó obtidos por liofilização são muito higroscópicos. A higroscopicidade de pós de frutas é atribuída ao estado amorfo dos açúcares como sacarose, glicose e frutose, comuns em produtos de frutas, responsáveis por fortes interações com moléculas de água devido aos seus terminais polares (JANISZEWSKA, 2014). Durante o processo de liofilização, obtém-se um alto teor de açúcar amorfo, que possui a propriedade de transição vítrea, processo que consiste na transição de um estado sólido para um estado aglomerado ou “borrachudo”, ocasionando colapso na sua estrutura, exibindo rapidamente problemas de aderência e aglutinação, que prevalece nas condições usuais de armazenamento dos produtos desidratados (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

Conforme Ordóñez (2005), essa transição vítrea ocorre numa determinada temperatura, em que os produtos derivados de frutas apresentam temperatura baixa para esse fenômeno, o que facilita a absorção de água, a dissolução de açúcares amorfos e a recristalização dos mesmos. É necessário conhecer a temperatura da transição vítrea dos pós para que sejam processados, embalados e armazenados a fim de evitar efeitos indesejáveis no produto (JULIANO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2010).

A fim de evitar ou minimizar o estado vítreo, facilitar o manuseio do material seco, conferindo-lhe maior proteção contra a adsorção de água do ambiente e aumentar o



rendimento do processo são utilizados agentes carreadores de alto peso molecular incorporados à amostra antes da desidratação. Os aditivos mais utilizados são os polissacarídeos como a maltodextrina, a goma arábica, entre outras substâncias (YOUSEFI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2011)

A maltodextrina é um adjuvante amplamente usado em alimentos como agente de volume, modificador de textura, substituto de gordura, estabilizante para pó e para o encapsulamento de vários produtos, uma vez que o material desejado se torna preso na matriz vítrea de maltodextrina na secagem (MAHDAVEE et al., 2014).

As maltodextrinas são produtos de hidrólise de amido, consistindo em unidades de  $\alpha$ -D-glucose ligadas principalmente por ligações glicosídicas (1 $\rightarrow$ 4) e classificadas pela sua dextrose equivalente (DE), que é a porcentagem de açúcares redutores calculados como glicose em relação ao peso seco do amido (FARAHNAKY et al., 2016).

Segundo Mahdavi et al. (2016), maltodextrina com uma menor DE têm uma maior porcentagem de oligossacarídeos de cadeia longa, portanto, maior peso molecular. Assim, DE maior é mais hidrolisado e com maior número de ramificações, com seus grupos hidrofílicos absorvendo água facilmente, resultando em uma maior higroscopicidade.

Fongin et al. (2017) investigaram o efeito da adição de maltodextrina na transição vítrea ( $T_g$ ) da polpa de manga e verificaram que o aumento da fração de maltodextrina resultou em uma redução significativa no comportamento higroscópico da polpa de manga e causou um aumento nos valores de transição vítrea, uma vez que a maltodextrina tem uma  $T_g$  maior que a polpa.

Zotarelli et al. (2017), ao produzirem polpa de manga em pó por atomização com adição de maltodextrina observaram que a adição de maltodextrina reduziu a higroscopicidade, densidade e porosidade do pó de manga.

Yamashita et al. (2017) avaliaram a influência das maltodextrinas DE 10 e DE 20 como agente carreador na liofilização, para encapsular um extrato concentrado de antocianinas isolado de um subproduto de amora-preta (*Rubus ssp.*). Os resultados mostraram que os pós com DE10 apresentaram menor higroscopicidade, teor de água, acidez e atividade de água do que com DE 20, indicando que a diferença no DE tem influência na higroscopicidade. Este último estudo destacou que uma menor higroscopicidade pode ocorrer devido ao maior tamanho de partícula, que diminui a área de superfície exposta e, conseqüentemente, a absorção de água (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

### 2.3.3 Isotermas de adsorção de água

A água disponível para reações químicas e bioquímicas presente no alimento é designada como atividade de água ( $a_w$ ), que representa a pressão de vapor de água do alimento em relação à pressão de vapor de água pura ( $p/p_0$ ). A determinação das atividades de água em função do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) expressas em porcentagem em base seca (%b.s.) é de grande importância para conservação de produtos em pó e são denominadas de isotermas de adsorção ou de dessorção (CANUTO; AFONSO; COSTA, 2014).

Uma forma de se conhecer a sensibilidade à umidade de produtos desidratados, bem como sua higroscopicidade, é através da isoterma de sorção. Isoterma é uma curva que descreve a relação de equilíbrio que vincula o conteúdo de água de um produto em pó com sua atividade de água em uma dada temperatura. A relação entre atividade de água e umidade relativa permite conhecer o quanto de umidade um alimento poderá receber ou perder quando exposto a uma atmosfera de determinada umidade relativa e temperatura (AMARAL et al., 2015).

Segundo Pumacahua-Ramos et al. (2017), quatro fatores são muito importantes na conservação de alimentos: a atividade de água ( $a_w$ ), o teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ), a umidade relativa e a temperatura do ambiente. A  $a_w$  é fundamental para determinar a vida útil de produtos secos. Para prolongar a estabilidade do alimento, é necessário manter a disponibilidade da atividade de água ( $a_w$ ) abaixo de 0,6; uma vez que acima deste valor a maioria dos micro-organismos se prolifera e produz toxinas.

As isotermas de adsorção são uma ferramenta útil que auxilia na determinação do tempo de secagem, na seleção de embalagem apropriada e nas condições de estabilidade de armazenamento que possam otimizar as características sensoriais, nutricionais e físico-químicas e minimizar as reações microbiológicas (RODRÍGUEZ-BERNAL et al., 2015).

Modelos matemáticos são amplamente utilizados na predição de isotermas de adsorção de água, tendo como vantagem a possibilidade de que com poucos pontos experimentais é possível construir uma isoterma, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas atividades de água, pontos estes de difícil determinação experimental (SMANIOTTO et al., 2017).

Vários estudos utilizaram equações teóricas, semi-teóricas e empíricas para calcular o teor de água de equilíbrio do produto. Embora vários modelos matemáticos tenham sido propostos para descrever as isotermas de adsorção de água, nenhuma equação teórica é capaz

de prever exatamente o teor de água de equilíbrio de produtos agrícolas em uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa (MOREIRA et al., 2013).

Conegero et al. (2017) determinaram as isotermas de adsorção de água, nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, do pó da polpa de mangaba liofilizada adicionada de maltodextrina (DE 20) e ajustaram os modelos matemáticos de GAB, BET, Oswin e Henderson aos dados experimentais verificando que o melhor modelo matemático ajustado foi o de Henderson, que apresentou os menores erros médios (5,76 a 9,70%) e maiores  $R^2$  (0,9974 a 0,9995).

Cavalcante et al. (2018) analisaram o comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó através de isotermas de adsorção de água, nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, aplicando os modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin na estimativa, constatando que o modelo GAB foi o que melhor representou as isotermas de adsorção, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) maiores que 0,99 e erros médios menores que 5%.

Farahnaky et al. (2016) utilizaram os modelos de BET, GAB e Peleg no ajuste das isotermas de sorção de água de xarope de tâmara em pó, em que GAB e Peleg foram os modelos mais adequados para representar as isotermas. Islam et al. (2016) produziram suco de laranja em pó por secagem por atomização e verificando que os modelos BET e GAB se ajustaram bem as isotermas de sorção de água.

De acordo com Carmo et al. (2017), o modelo de GAB (Guggenheim–Anderson–de-Bôer) é interessante, pois descreve muito bem o comportamento das isotermas de sorção em uma ampla faixa de atividades de água (0 a 0,9) e fornece o conteúdo de água na monocamada ( $X_m$ ), que é um parâmetro importante para produtos desidratados. Esse valor corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida em sítios específicos do material, considerados relevantes para garantir a estabilidade.  $X_m$  é um limiar de teor de água crítico que fornece o maior tempo de armazenamento com uma perda mínima de qualidade do produto a uma determinada temperatura (BOTREL et al., 2017).

## **2.4 Iogurte concentrado**

O iogurte é definido de acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados (BRASIL, 2007), como o produto adicionado ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivos de micro-organismos específicos. Estes micro-organismos devem

ser viáveis, ativos e abundantes no produto durante seu prazo de validade e devem contribuir para a determinação das características do produto final. Essa definição compreende produtos lácteos diversos como o "quefir", o "iogurte", o "leite acidófilo", o "leitelho" e a "coalhada", potencialmente obtidos de matéria-prima de qualquer espécie leiteira (BRASIL, 2007).

A seleção da cultura é um importante fator na produção de iogurte com alta qualidade. Podem ser utilizadas diferentes culturas na elaboração de iogurte, mas a combinação das cepas bacterianas *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* spp. são mais eficazes em termos de produção e formação do coágulo. A contagem mínima das bactérias lácticas totais no iogurte deve ser de  $10^7$  UFC/g ao longo do seu prazo de validade e o produto deve apresentar um valor de acidez entre 0,6 a 1,5 g de ácido láctico/100 g do produto (ARENA et al., 2015).

Por ser considerado um alimento saudável, o iogurte tornou-se uma das escolhas predominantes dos consumidores, uma vez que é fonte de proteínas e outros nutrientes como cálcio, riboflavina, vitamina B6 e vitamina B12 (SERHAN; MATTAR; DEBS, 2016). É um produto lácteo muito apreciado e disponível em várias texturas e consistências (tradicional, batido e líquido), teor de matéria gorda (integral, com creme, desnatado e parcialmente desnatado), espécies de leite (vaca, cabra, ovelha, búfala, ovelha, camelo, etc.), tipos de sólidos de leite e sabores (natural, frutas e cereais) (WIDYASTUTI; ROHMATUSSOLIHAT; FEBRISANTOSA, 2014).

Iogurte concentrado, também conhecido como iogurte “tipo grego” ou *Labneh*, surgiu no Oriente Médio, é um produto lácteo largamente produzido e consumido mundialmente. Podem ser conhecidos também como *skyr* (Islândia), *shrikhand* (Índia), *besa* (Bulgária), *kurut* (Turquia), *laban zeer* (Egito) e *labneh* em óleo, quando modelado em bolas e preservado em azeite de oliva ou em diversos óleos (NSABIMANA et al., 2005; ROCHA et al., 2014). *Labneh* é consumido principalmente no Líbano, Síria, Marrocos e Iraque (KÖK TAŞ; DURU; SAHIN, 2014).

O iogurte concentrado possui sabor ligeiramente ácido, cor creme ou branca, com consistência cremosa, macia e suave, boa capacidade de espalhamento e pouca sinérese (MOHAMED et al., 2016). Silveira et al. (2016) avaliaram a aceitação de marcas de iogurte concentrado e observaram maior preferência nos produtos com maior teor de ácido láctico e firmeza, sendo esses parâmetros importantes na escolha do produto.

De acordo com Guimarães e Calado (2014), apesar da explosão das vendas, o Brasil ainda é o sexto maior mercado de iogurte, com produção em torno de 400 mil toneladas por

ano, representando 76% do total de produtos lácteos. Enquanto no Brasil o consumo per capita de iogurte é em média de 3 kg por ano, países vizinhos como Uruguai e Argentina consomem em torno de 7 kg ao ano.

A legislação brasileira não dispõe de parâmetro para o iogurte tipo grego. Devido à natureza de sua produção é considerado um produto intermediário entre leites fermentados e queijos imaturos com alto teor de água (acima de 55%), como *quark*, *boursin* e *petit suisse*, com características físicas semelhantes às desses produtos devido ao processo de sinérese (RAMOS et al., 2009).

Com a concentração do produto, ocorre um aumento da contagem das bactérias lácticas, do teor de ácido láctico e de sólidos totais (atingindo até 24%), o que promove uma melhoria da conservação do produto final. As propriedades nutricionais desse iogurte são consideradas semelhantes ou mesmo melhores que as do iogurte tradicional, uma vez que, possui 2,5 vezes mais conteúdo proteico, 50% mais minerais e menor concentração de lactose (MAESTRI et al., 2014).

Na literatura, observa-se que a composição de iogurte concentrado varia, em média, de 22 a 25% de sólidos totais; 5,5 a 10% de gordura; até 12% de proteína; 3,0% de lactose; 0,7% de cinzas e pH em torno de 3,7 (KIRDAR; GUN, 2002). Magalhães e Torre (2018) ao avaliarem cinco marcas de iogurte grego encontraram resultados de pH de 4,2, gordura de 5,15% e sólidos totais de 23,03%.

É um produto semissólido produzido por uma prática simples e tradicional, em que parte do soro é drenado por 12-18 horas a temperaturas de refrigeração, até atingir o nível de sólidos totais desejado. Originalmente, foram utilizadas peles de animais pelos nômades do Oriente Médio para a produção de iogurte concentrado. A absorção do soro pela pele e a exsudação natural pelos poros, favorecia a evaporação pelas paredes do recipiente, resultando no concentrado (BONATTO; CANTERI, 2017).

O método do saco de tecido é o mais utilizado, todavia, tem muitas desvantagens em comparação com as operações em escala industrial, pois é lento, pouco eficiente, requer mais mão-de-obra e tem higiene precária, além de baixo rendimento por causa dos resíduos deixados no saco (KAAKI et al., 2012). Os métodos modernos de fabricação de iogurte concentrado utilizados em operações em escala industrial incluem centrifugação, tecnologia de recombinação e ultrafiltração (NSABIMANA; JIANG; KOSSAH, 2005).

O aumento da popularidade do iogurte concentrado levou a um maior interesse pela estrutura reológica deste produto, especialmente em relação ao tipo de leite, processo de fermentação, culturas lácteas, técnicas de concentração, condições de embalagem e

armazenamento (LAIHO et al., 2017). A estrutura do iogurte descreve o arranjo de proteínas, gordura e outros componentes em uma rede de gel tridimensional que é formada e desenvolvida durante a fermentação e associam-se a sensação bucal e a percepção sensorial do produto (NGUYEN et al., 2017).

Para combater os defeitos de estrutura do iogurte são adicionados frequentemente estabilizadores de hidrocolóides como gomas (carragena, goma xantana e amido modificado) e proteínas à base do leite para melhorar a capacidade de retenção de água do produto, diminuindo os efeitos de perda de firmeza do coágulo devido às etapas de processo (NGUYEN; AFSAR; DAY, 2018).

À medida que a popularidade do iogurte continua a crescer, fabricantes e cientistas investigam continuamente ingredientes, como diferentes extratos vegetais, que possam agregar valor ao produto e impulsionar o seu consumo (FAZILAH et al., 2018). Como a elaboração de iogurte com sabor de café (RIBEIRO; BOSI; LUCIA, 2017), a incorporação de cascas de avelã (BERTOLINO et al., 2015), chá preto, branco e verde (MUNIANDY; SHORI; BABA, 2016) e especiarias como orégano, salsa e manjeriço (PEREIRA et al., 2018).

Caleja et al. (2016) afirmou que a adição de polpas de frutas em produtos lácteos vem ganhando grande destaque devido à demanda por produtos ricos nutricionais e que contenham compostos bioativos capazes de trazer benefícios para a saúde. Além de que, os compostos bioativos de frutas por serem aditivos naturais podem proporcionar melhor qualidade sensorial, nutricional e antioxidante quando comparados aos aditivos sintéticos adicionados em iogurtes.

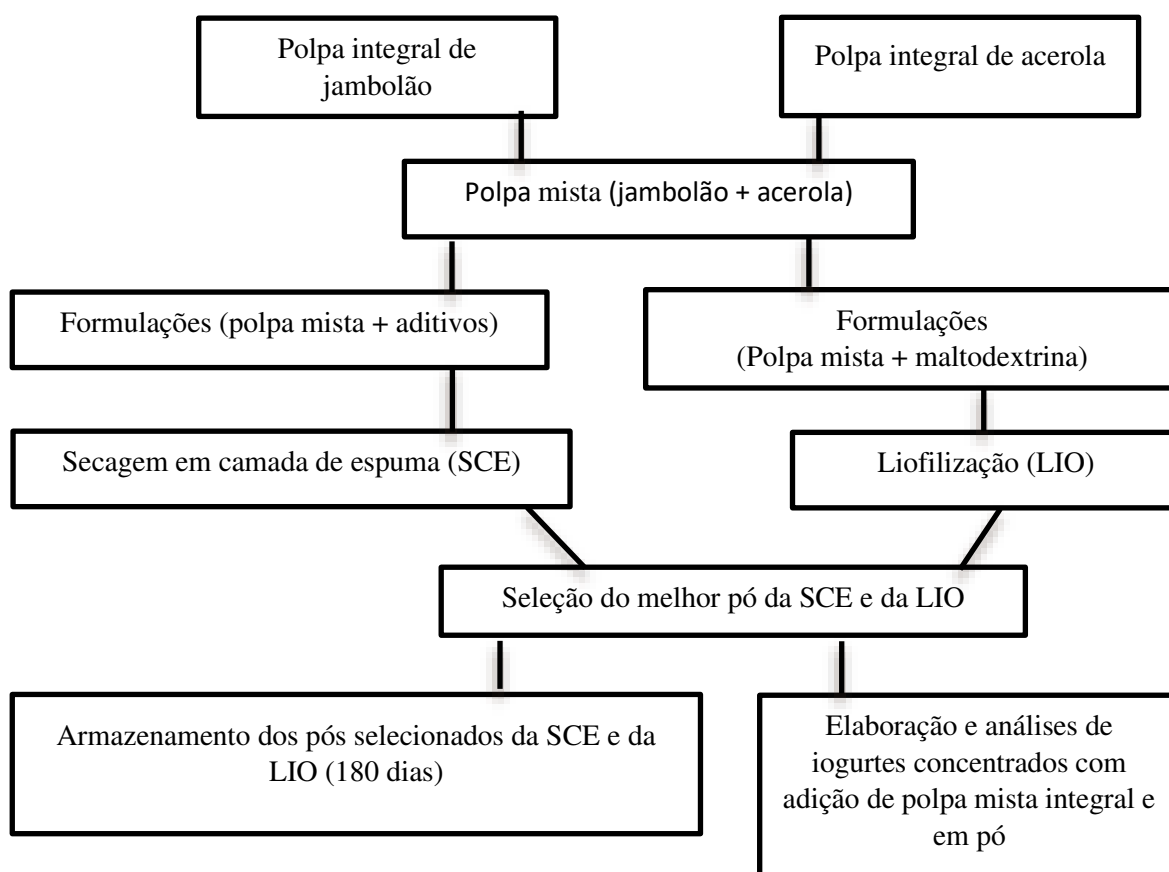
Além dos benefícios para a saúde, os consumidores tendem a escolher o iogurte pelo sabor e cor, critérios importantes para aceitação do produto. Assim, a adição de diferentes frutas no iogurte pode tornar o seu sabor mais atraente. As frutas comumente usadas na formulação de iogurte são pêssegos, laranja, morango, abacaxi, cereja, damasco e mirtilo (NDABIKUNZE et al., 2017). Com o intuito de valorizar as características sensoriais e ampliar a oferta, já se reportam iogurtes combinando ingredientes e polpas de frutas menos comuns, como iogurte com polpa de abacaxi e mel (FERREIRA et al., 2015), polpa de jambolão (BEZERRA et al., 2015), polpa de mangostão (SHORI; RASHID; BABA, 2018) e com geleia de cajá (GONÇALVES et al., 2018).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado principalmente no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícola (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Campina Grande, PB, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), campus da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), Macaíba, RN e na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), campus de João Pessoa, PB.

#### 3.1 Delineamento experimental

O fluxograma da Figura 1 fornece uma visão geral sobre o delineamento experimental deste trabalho.



**Figura 1** – Fluxograma geral de execução dos experimentos

### 3.2 Matérias-primas

Os frutos de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) utilizados na pesquisa foram coletados manualmente no Campus da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), localizada no município de Macaíba, estado do Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m).

#### 3.2.1 Processamento das polpas integrais e mista de jambolão e acerola

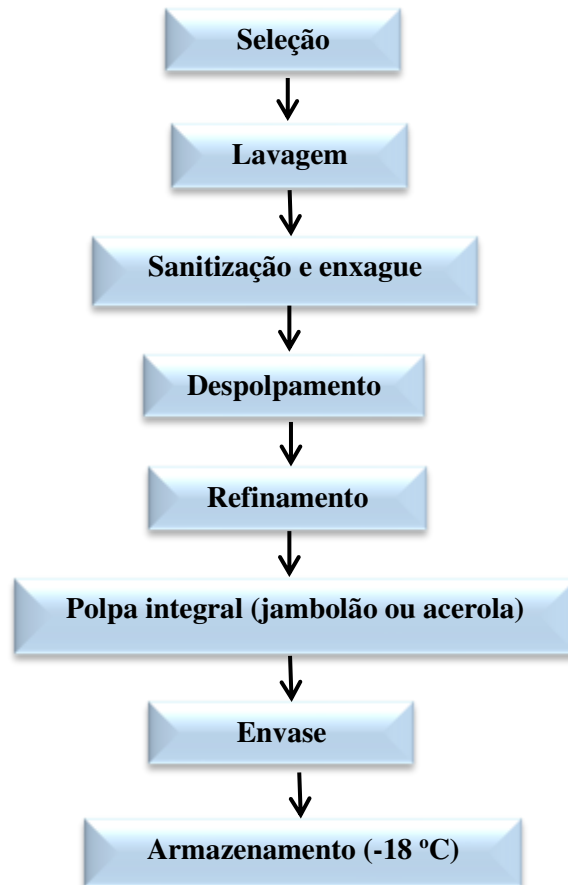
Os frutos foram selecionados manualmente quanto ao estágio de maturação (maduro), sendo retirados os amassados, injuriados, imaturos ou em senescência. Em seguida, seguiram para lavagem em água corrente para remoção de materiais indesejáveis, como sujidades aderidas à superfície. Posteriormente, os frutos foram sanitizados por imersão em solução clorada (50 ppm de cloro ativo), por 15 minutos e, posteriormente, imersos novamente em água clorada (5 ppm de cloro ativo) por 5 minutos para retirada do excesso de cloro.

As polpas foram obtidas em despulpadeira horizontal semi-industrial (Itametal®, modelo compacta, Itabuna, BA, Brasil) provida de peneira com malha de 4 mm de abertura. Para o refinamento foi utilizada peneira com malha de 2 mm de abertura para eliminar pequenas frações de fibras não trituradas e resíduos grosseiros que poderiam ocasionar problemas na secagem.

Em seguida, as polpas foram envasadas em embalagens de polietileno de baixa densidade (medidas 10 x 25 cm) com capacidade para 200 g, sendo imediatamente fechadas em seladora manual (Pearce, modelo P.90.031, Eusébio, CE, Brasil) e armazenadas em freezer horizontal a -18 °C, até o momento da realização dos experimentos.

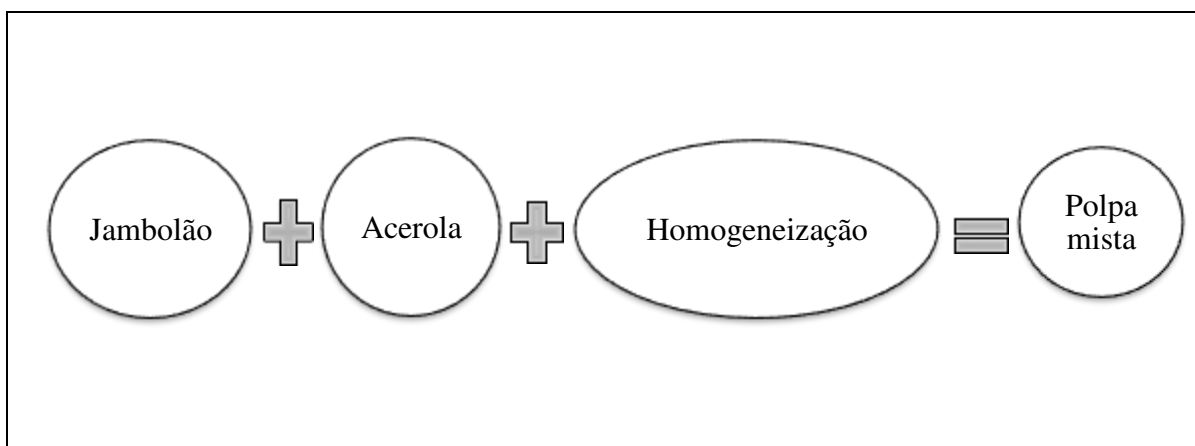
As etapas para obtenção das polpas integrais de jambolão e acerola e a polpa mista estão apresentadas na Figura 2.





**Figura 2** – Fluxograma das polpas integrais de jambolão e acerola

Para a realização das análises e secagem da polpa mista de jambolão e acerola, foi feita a homogeneização das polpas integrais (proporção 1:1) em liquidificador doméstico durante 1 minuto (Figura 3).



**Figura 3** – Fluxograma de obtenção da polpa mista de jambolão e acerola

### 3.3 Caracterização físico-química, colorimétrica, compostos fitoquímicos, perfil de compostos fenólicos e atividade antioxidante das polpas integrais, mista e formuladas

As polpas integrais de jambolão e acerola, a polpa mista de jambolão com acerola (1:1) e as polpas formuladas antes e após as secagens foram caracterizadas química, física e físico-quimicamente, em quadruplicata.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado. A partir dos dados coletados foram calculados a média e o desvio-padrão. As diferenças entre as amostras foram determinadas por meio da análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey com nível de significância de 5% utilizando-se o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016). As metodologias empregadas nas análises estão descritas a seguir:

#### 3.3.1 Análise colorimétrica

A cor das amostras foi avaliada por meio do colorímetro portátil MiniScan XE Plus (Hunter Lab, modelo 4500 L, Reston, Virgínia, EUA). As coordenadas de cor foram expressas conforme o sistema CIELAB, em que as variáveis  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (transição da cor verde para vermelho) e  $b^*$  (transição da intensidade de azul para amarelo), foram utilizadas no cálculo de tonalidade cromática ou ângulo hue ( $h^\circ$ ) e saturação da cor ou croma ( $C^*$ ), de acordo com as Equações 1 e 2.

$$h^\circ = \arctan(b^*/a^*) \quad (1)$$

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

#### 3.3.2 Densidade

A densidade das polpas foi determinada através da relação entre a massa e o volume da amostra a 25 °C, utilizando-se picnômetro de vidro de 25 mL. Os resultados foram expressos em  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

### **3.3.3 Teor de água**

O teor de água das polpas e formulações foi determinado por meio de secagem em estufa a vácuo a 70 °C (QUIMIS, Q319V, Diadema, SP, Brasil) até massa constante, segundo a *Association of Official Agricultural Chemists* (AOAC, 2016). Os resultados foram expressos em g/100 g.

### **3.3.4 Atividade de água ( $a_w$ )**

As medidas da atividade de água foram determinadas por leitura direta a 25 °C em analisador Aqualab 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA).

### **3.3.5 Sólidos solúveis totais (SST)**

A leitura de sólidos solúveis totais foi realizada diretamente em refratômetro digital de bancada (Instrutherm, RT – 30 ATC, São Paulo, SP, Brasil) e os resultados expressos em °Brix.

### **3.3.6 Acidez total titulável (ATT)**

A acidez total titulável foi realizada pelo método acidimétrico, no qual a amostra é titulada com solução padronizada de NaOH 0,1 M até atingir o pH de 8,2 (AOAC, 2016). Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico/100 g.

### **3.3.7 Razão SST/ATT**

A razão SST/ATT foi estimada pelo quociente dos valores de sólidos solúveis totais e acidez total titulável.

### **3.3.8 pH**

A concentração de íons  $H^+$  foi determinada através de leitura direta utilizando-se medidor de pH (Tecnal, modelo TEC-2, Piracicaba, SP, Brasil), previamente calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0.

### 3.3.9 Cinzas

O resíduo mineral (cinzas) foi obtido pela carbonização seguida de calcinação da amostra em mufla a 525 °C, até obtenção de cinzas claras (AOAC, 2016). O resultado foi dado em g/100 g.

### 3.3.10 Proteína bruta

O valor de proteína bruta foi obtido pelo método de micro “Kjeldahl” através da determinação do nitrogênio em alimento (AOAC, 2016). O teor de proteínas foi calculado pela quantidade de nitrogênio total (g) do produto multiplicado pelo fator de conversão em proteína de 6,25 e expresso em g/100 g.

### 3.3.11 Açúcares solúveis totais

A determinação de açúcares solúveis totais adotou o procedimento descrito por Yemm e Willis (1954). As amostras passaram pela etapa de extração, pesando-se 0,5 g do conteúdo, homogeneizada com água destilada até aferição de 50 mL e filtrada em papel de filtro (80 g/m<sup>2</sup>). Após, foi adicionado em tubo de ensaio uma alíquota do extrato com água destilada (totalizando 1000 µL) e 2000 µL de antrona agitado em misturador vórtex (60 Hz, Wincom, XH-C, Xangai, China) por 10 segundos e colocado em banho-maria a 100 °C por 3 minutos. As leituras de absorvância foram obtidas a 620 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose na concentração de 100 µg/mL. Os resultados foram expressos em g/100 g.

### 3.3.12 Açúcares redutores

Os açúcares redutores foram quantificados segundo Miller (1959). Prepararam-se os extratos das amostras, pesando-se 1,0 g do material e homogeneizou-se com água destilada até completar 25 mL, seguida de filtração em papel de filtro (80 g/m<sup>2</sup>). Depois, foi adicionada em tubo de ensaio uma alíquota do extrato juntamente com água destilada (totalizando 1500 µL) e 1000 µL de DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico), homogeneizado em misturador vórtex (60 Hz, Wincom, XH-C, Xangai, China) por 10 segundos e posto em banho-maria a 100 °C por 5 minutos. As leituras de absorvância foram realizadas a 540 nm em espectrofotômetro

(Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose na concentração de 2,5 µM/mL. Os resultados foram expressos em g/100 g.

### 3.3.13 Pectina

O método utilizado foi proposto por Carvalho, Fernandes e Pires (2006). O teor de pectina foi calculado por meio da Equação 3.

$$Pec = \frac{M_{pc} \times 100}{M} \quad (3)$$

Em que:

Pec – pectina (g de pectato de cálcio/100 g)

$M_{pc}$  – massa de pectato de cálcio (g);

M – massa da amostra (g).

### 3.3.14 Lipídios

A quantificação de lipídios seguiu metodologia descrita por Bligh e Dyer (1957). O método baseia-se na mistura de três solventes: clorofórmio, metanol e água, na proporção de 1:2:0,8 (v/v).

Os resultados foram calculados através da Equação 4.

$$LT = \frac{PL \times 4 \times 100}{P} \quad (4)$$

Em que:

LT – lipídeos totais (g/100 g)

PL - peso da cápsula após a estufa (g) - peso da cápsula vazia (g);

P - massa da amostra (g).

### 3.3.15 Ácido ascórbico

A determinação de ácido ascórbico (AA) foi de acordo com o protocolo de Oliveira, Godoy e Prado (2010). Para tal, foi pesado 0,5 g de amostra homogeneizada em 50 mL de ácido oxálico a 1% (refrigerado), seguida de filtração em papel de filtro (80 g/m<sup>2</sup>). O material resultante foi usado para titular uma solução composta por 2 mL de indicador 2,6-

diclorofenolindofenol sódio (DCFI) e 18 mL de água destilada. O ponto final da titulação foi definido no momento em que a solução titulada apresentou coloração igual à solução titulante, preservando-se por 15 segundos para a confirmação do ponto de viragem. A solução titulada (água + DCFI) foi padronizada com solução de 10 mg/100 mL de ácido ascórbico. O cálculo da quantidade de AA seguiu a Equação 5 e os resultados foram expressos em mg/100 g.

$$AA = \frac{(p \times c \times 50) \times 100}{v \times m} \quad (5)$$

Onde:

AA - ácido ascórbico (mg/100 g);

p - volume gasto de solução padrão de ácido L-ascórbico (mL);

c - concentração da solução padrão de ácido L-ascórbico (mg/mL);

m - massa da amostra (g);

v - volume gasto na titulação da amostra (mL);

### 3.3.16 Compostos fenólicos totais

Os teores dos compostos fenólicos totais (CFT) foram estimados pelo método Folin Ciocalteu descrito por Waterhouse (2006). Os extratos para análises foram compostos por 1,0 g da amostra, dissolvido em 50 mL de água destilada, deixando em repouso por 1 minuto, seguido de filtração em papel de filtro (80 g/m<sup>2</sup>). Posteriormente, foi adicionada em tubo de ensaio uma alíquota do extrato com água destilada (totalizando 2125 µL) e 125 µL de Folin-Ciocalteu, homogeneizado em vórtex (60 Hz, Wincom, XH-C, Xangai, China) por 10 segundos e repouso por 5 minutos. Foram acrescentados 250 µL de solução de carbonato de sódio (20%), seguido de agitação em vórtex (60 Hz, Wincom, XH-C, Xangai, China) por 10 segundos e aquecimento em banho-maria a 40 °C por 30 minutos. Os extratos não foram expostos à luz durante análise. As leituras de absorvância foram obtidas a 765 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico como padrão, na concentração de 100 µg/mL e os resultados expressos em mg EAG (equivalente de ácido gálico)/100 g.

### 3.3.17 Antocianinas totais

O teor de antocianinas totais foi estipulado pelo método de diferença de pH, conforme protocolo de Cohen et al. (2006). Foi utilizado para diferença de pH as soluções tampão de pH = 1 (solução de cloreto de potássio 0,025 M) e pH = 4,5 (solução de acetato de sódio 0,4 M). O extrato foi prontificado com 0,5 g da amostra e 25 mL de solução etanol (99%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15, homogeneizado em agitador magnético, reservado em refrigeração ( $8 \pm 1$  °C) por 24 horas e, em seguida, submetida à filtração em papel de filtro (80 g/m<sup>2</sup>). Na sequência, foram preparadas 2 diluições do filtrado, a primeira com 1,6 mL do tampão pH = 1 e 0,4 mL do filtrado, a segunda com 1,6 mL tampão pH = 4,5 e 0,4 mL do filtrado, seguido de agitação em vórtex (60 Hz, Wincom, XH-C, Xangai, China) por 10 segundos. O material foi reservado à temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) e na ausência da luz por 30 minutos para concluir a reação. Ao final, foram efetivadas as leituras no comprimento de onda a 510 nm e a 700 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A diferença de absorvância ( $\Delta A$ ) entre os sistemas de tampões foi calculada por meio da Equação 6.

$$\Delta A = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH}=1} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH}=4,5} \quad (6)$$

A concentração de pigmentos de antocianinas foi quantificada com base no volume de extrato e na massa da amostra e o cálculo dado pela Equação 7 com os resultados expressos como mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g.

$$AT = \frac{(\Delta A \times FD \times MM \times 100)}{(\epsilon \times b)} \quad (7)$$

Em que:

AT – antocianinas totais (mg/100 g);

$\Delta A$  - diferença de absorvância ( $A_{\text{pH}=1,0} - A_{\text{pH}=4,5}$ );

MM - massa molar do padrão (449,2 g/mol);

FD - fator de diluição.

$\epsilon$  - coeficiente de absorvância molar (26900) correspondente à cianidina-3-glicosídeo;

b - caminho óptico (espessura da cubeta utilizada para leitura no espectrofotômetro).

### 3.3.18 Flavonoides totais

Os flavonoides totais foram estabelecidos segundo método descrito por Francis (1982). Para tanto, o extrato foi produzido com 0,5 g da amostra e 25 mL de solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15, misturado em agitador magnético, submetido a 24 horas de repouso sob refrigeração ( $10 \pm 1$  °C) e, em seguida, filtrado em papel de filtro (80 g/m<sup>2</sup>). As leituras das absorvâncias feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 374 nm. O extrato não foi exposto à luz, durante o processo de análise. A concentração de flavonóides foi calculada através da Equação 8 e os resultados expressos em mg/100 g.

$$FT = \frac{(Fd \times abs)}{76,6} \quad (8)$$

Onde:

FT – flavonoides totais (mg/100 g)

Fd - 100/(massa<sub>(g)</sub>/volume da diluição<sub>(mL)</sub>);

Abs - leitura da absorvância.

### 3.3.19 Carotenoides totais

Os carotenoides totais foram estimados conforme metodologia de Lichtenthaler (1987). O procedimento consistiu em pesar 1 g do conteúdo, macerado em almofariz com 0,2 g de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e adicionado 20 mL de acetona, em ambiente com luz reduzida, transferido para tubo Falcon e prosseguido de homogeneização em em vórtex (60 Hz, Wincom, XH-C, Xangai, China) por 10 segundos. O extrato foi centrifugado por 10 minutos a 3000 rpm e o sobrenadante recolhido, sendo então lido em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) no comprimento de onda de 470 nm para carotenoides, tendo a acetona como branco. O teor de carotenoides foi calculado por meio da Equação 8 em mg/g e convertido em mg/100 g pela Equação 9.

$$CT \text{ (mg/g)} = \left[ \left( \frac{1000 \times A_{470} - 1,90 \times Ca - 63,14 \times Cb}{214} \right) / 1000 \right] \quad (9)$$

$$CT \text{ (mg/100 g)} = [(Ct \times diluição_{(mL)} / massa \text{ da amostra}_{(g)}) \times 100] \quad (10)$$



Onde:

CT – carotenoides totais;

Ca – clorofila a;

Cb – clorofila b;

Ct – carotenoides totais (mg/g);

A<sub>470</sub> - leitura da absorbância.

### 3.3.20 Taninos totais

Os taninos foram quantificados pelo método de Porter, Hrstich e Chan (1986), utilizando-se Folin-Denis como reagente. Para tal, foi preparado um extrato com 0,5 g da amostra e diluído em 25 mL de água destilada, deixando em repouso por 1 minuto, seguida de filtração em papel de filtro (80 g/m<sup>2</sup>). A reação deu-se pela mistura de uma alíquota do extrato com água destilada totalizando 2125 µL (água + extrato) e 125 µL de Folin-Denis, seguido de agitação em em vórtex (60 Hz, Wincom, XH-C, Xangai, China) por 10 segundos e repouso por 5 minutos. Após o tempo de reação acrescentou-se 250 µL de solução de carbonato de sódio (20%), seguido de nova agitação e colocado em banho-maria a 40 °C, por 30 minutos. Decorrido o tempo foi realizada as leituras em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 765 nm. A curva padrão foi construída com uma solução padrão de ácido tânico a 0,1 mg/mL. Os resultados expressos em mg EAT (equivalente de ácido tânico)/100 g.

### 3.3.21 Obtenção dos extratos fenólicos

Para produzir os extratos que foram utilizados para avaliação do perfil de fenólicos e da atividade antioxidante foram utilizados metanol, etanol e água. Os extratos fenólicos foram obtidos numa proporção amostra/mistura de solvente de 1:10 (amostra: etanol 50% acidificado) sob agitação mecânica (Tecnal<sup>®</sup>, Incubadora TE-420, Piracicaba, SP, Brasil) à temperatura ambiente (25 ± 2 °C) por 3 horas. Seguiu-se de uma centrifugação a 6000 rpm à 25 °C por 10 minutos, filtração à vácuo e secagem em estufa com circulação de ar a 40 °C overnight (15 horas). Os extratos secos foram adicionados à mistura de solventes na proporção de 5 mg do extrato seco/mL de metanol 50% ou etanol 50% acidificado, de acordo com a amostra e armazenados sob refrigeração (8 ± 1 °C) até o momento das análises.

### 3.3.22 Atividade antioxidante pelo poder redutor do ferro (FRAP)

A capacidade antioxidante de redução do ferro foi determinada pelo método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) (RUFINO et al., 2006), com adaptações. Na ausência de luz, o reagente FRAP foi preparado com tampão acetato 300 mmol/L (pH 3,6), 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazin (TPTZ) 10 mmol/L em uma solução de HCl 40 mmol/L e FeCl<sub>3</sub> a 20 mmol/L. Uma alíquota do extrato da amostra foi transferida para um tubo de ensaio e adicionados 0,27 mL de água ultrapura e 2,7 mL do reagente FRAP. A mistura foi agitada e mantida em banho durante 30 minutos a  $37 \pm 1$  °C. Após o resfriamento até temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C), amostras e padrões foram lidos em espectrofotômetro (Shimadzu, UV-VIS UV-1280, Barueri, SP, Brasil) a 595 nm. A curva padrão foi traçada usando sulfato de ferro II em concentrações que variaram entre 500 e 2000 µmol/L. Os resultados foram expressos em µmol de equivalente sulfato ferroso/g.

### 3.3.23 Atividade antioxidante pelo sequestro do radical livre DPPH'

A atividade de eliminação de radicais livres dos extratos das amostras foi determinada com base no método DPPH' (RUFINO et al., 2007), com modificações. Uma alíquota do extrato foi adicionada em 3,0 mL de solução diluída de DPPH' (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) em etanol (0,0236 mg/mL), agitada e incubada durante 30 minutos no escuro e a absorvância das amostras e padrões foi medida em espectrofotômetro (Shimadzu, UV-VIS UV-1280, Barueri, SP, Brasil) a 517 nm. A curva padrão foi realizada com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-ácido-2-carboxílico) (100-2000 µmol/L em etanol). Os resultados foram expressos em µmol equivalente Trolox/g.

### 3.3.24 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC) (Shimadzu, Barueri, SP, Brasil), equipado com um injetor automático Rheodyne 7125i e um detector UV-vis. Para a identificação dos compostos fenólicos individuais, utilizou-se a metodologia descrita por Meireles (2017). As colunas utilizadas foram uma coluna Shimadzu LC-18 (25 cm x 4,6 mm, tamanho da partícula 5 µm, Supelco, Bellefonte, PA, E.U.A) e uma pré-coluna C-18 ODS Shimadzu. As amostras foram eluídas com um sistema gradiente que consiste em solvente A (2% ácido acético, v/v) e solvente B

(acetonitrila:metanol, 2:1, v/v), utilizados como fases móveis, com um fluxo de 1 mL/min. A temperatura da coluna foi mantida a 25 °C e o volume de injeção foi de 20 µL. O sistema de gradiente iniciou-se a partir de 90% A a 0 minuto, 88% A em 3 minutos, 85% A em 6 minutos, 82% A em 10 minutos, 80% A em 12 minutos, 70% A em 15 minutos, 65% A em 20 minutos, 60% A em 25 minutos, 50% A em 30-40 minutos, 75% A em 42 minutos e 90% A em 44 minutos. A corrida cromatográfica total foi de 50 minutos. Os picos dos compostos fenólicos monitorizados a 280 nm. O software Labsolutions (Shimadzu) foi usado para controlar o sistema de LC-UV e de processamento de dados. Os compostos fenólicos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção com padrões de ácidos fenólicos e flavonoides, e para as amostras, analisadas sob as mesmas condições, sendo quantificados a partir de curvas de calibração e os cromatogramas foram registrados no software Labsolutions Data System. Os resultados foram expressos em mg/100 g.

### 3.4 Secagem em camada de espuma

#### 3.4.1 Preparo das formulações

Inicialmente foram preparadas formulações elaboradas com a polpa mista de jambolão e acerola (1:1) e com os aditivos em diferentes concentrações e combinações conforme Tabela 3. Os aditivos utilizados foram albumina (Infinity Pharma<sup>®</sup>, Campinas, SP, Brasil); carboximetilcelulose (Neon<sup>®</sup>, Suzano, SP, Brasil); goma guar e goma xantana (GastronomyLab<sup>®</sup>, Brasília, DF, Brasil). Tais aditivos foram utilizados por apresentarem propriedades emulsificantes e estabilizantes.

**Tabela 3** – Formulações com a concentração dos aditivos

Formulação	Concentração de aditivos (%)			
	Albumina	Goma xantana	Carboximetilcelulose	Goma guar
F1	1	0,5		
F2	1		0,5	
F3	1			0,5

A polpa mista foi misturada com os aditivos de acordo com cada formulação e submetida ao batimento em batedeira planetária na velocidade máxima (Arno<sup>®</sup>, Deluxe, 300

W, Itatiaia, RJ, Brasil), durante diferentes tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos). As formulações (F1, F2 e F3) foram analisadas quanto à densidade, expansão volumétrica (*overrun*) e a estabilidade em função de diferentes tempos de batimento e temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C).

O tratamento dos dados foi realizado usando-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial. Para as análises de densidade e expansão volumétrica (*overrun*) foi aplicado fatorial 3 x 6, com 3 formulações e 6 tempos de batimento e; para a estabilidade da espuma o fatorial 3 x 6 x 18, com 3 formulações, 6 tempos de batimento e 18 tempos de drenagem do líquido, aplicado para as temperaturas de secagem (50, 60, 70 e 80 °C). As análises foram realizadas em triplicata, os dados submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

#### 3.4.1.1 Densidade das espumas

As densidades das espumas para diferentes tempos de batimento foram determinadas através da relação entre a massa e o volume da amostra, colocada em um picnômetro de alumínio de 100 mL (25 °C). O picnômetro foi calibrado previamente com água destilada, as medidas verificadas em triplicata e os resultados expressos em g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.4.1.2 Expansão volumétrica (*overrun*)

A expansão volumétrica está relacionada com a quantidade de ar introduzido em uma solução, sendo determinada pelo aumento de volume da espuma. O *overrun* seguiu de acordo com Fellows (2006), para os diferentes tempos de batimento, considerando-se o volume da polpa mista e o volume da espuma e os resultados expressos em percentagem (%) de acordo com a Equação 11.

$$\text{Overrun (\%)} = \frac{\rho_p - \rho_e}{\rho_e} \times 100 \quad (11)$$

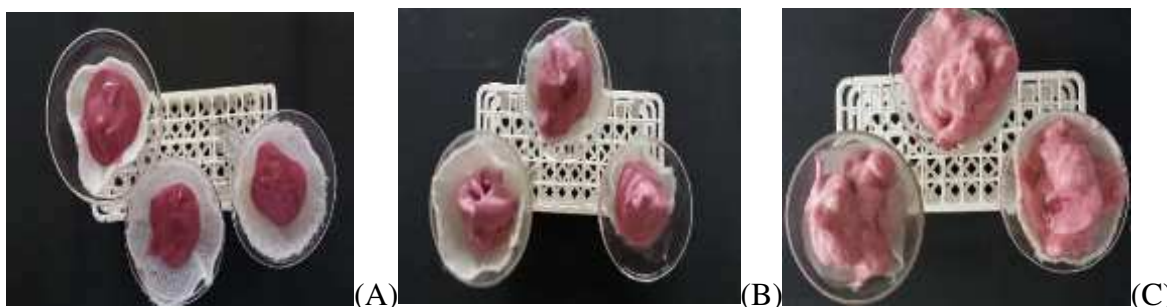
Em que:

$\rho_p$  – densidade da polpa mista (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_e$  – densidade da espuma (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.4.1.3 Estabilidade das espumas

O teste de estabilidade consiste em avaliar o volume de líquido drenado da suspensão. A estabilidade das espumas para cada formulação (F1, F2 e F3) foi determinada para cada tempo de batimento. Foi montado um sistema constituído de uma proveta de 25 mL, com um funil de vidro de haste curta de 50 mL acoplado e um filtro de nylon (Figura 4).



**Figura 4** – Teste de estabilidade das formulações: (A) F1 - 1% de albumina + 0,5% de goma xantana; (B) F2 - 1% de albumina + 0,5% de carboximetilcelulose; e (C) F3 - 1% de albumina + 0,5% de goma guar

Após o preparo, 15 g das espumas foram colocados nos funis com o filtro de tela na proveta e o sistema montado (Figura 3) colocado em estufa (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil) com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, efetuando-se a medida do volume de líquido drenado a cada 5 minutos durante 90 minutos. No final foi anotado o volume total de líquido drenado durante 90 minutos.

Os dados obtidos foram utilizados para construir as curvas de volume drenado (mL) em função do tempo (minutos) na estufa, em que a maior estabilidade é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado na proveta.

### 3.4.2 Seleção do tempo de batimento

Para avaliar o efeito do tempo de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos) sobre a formação das espumas foi construído um gráfico a partir das densidades e *overrun* das espumas obtidas em função de cada tempo de batimento.

A partir dos dados coletados, ficou definido o tempo de batimento que acarretava menor densidade e maior *overrun*.

### 3.4.3 Seleção da espessura da camada de espuma

Após o processo de seleção do tempo de batimento, a escolha da espessura da camada da espuma para o processo de secagem deu-se mediante os resultados do rendimento, do teor de água e do tempo de secagem da formulação. O processo consistiu em produzir espumas para cada formulação e as espumas foram dispostas em camadas de 0,5; 1,0 e 1,5 cm de espessura sobre bandejas de aço inoxidável, medidas com paquímetro digital (Onebycitess, DD2018011001, 0-6"/150 mm) e encaminhadas à secagem em estufa (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil) com circulação forçada de ar na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 1,0 m/s.

A perda de água foi acompanhada por meio da pesagem das bandejas em intervalos regulares de tempo, até que pesagens sucessivas não mais apresentassem variação. Após o processo de secagem, as bandejas foram pesadas para cálculo de rendimento, segundo a Equação 12, e deixadas em estufa a 105 °C até a massa constante para o cálculo do teor de água (%).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \quad (12)$$

Em que:

$M_f$  – massa final da amostra (g);

$M_i$  – massa inicial da amostra (g).

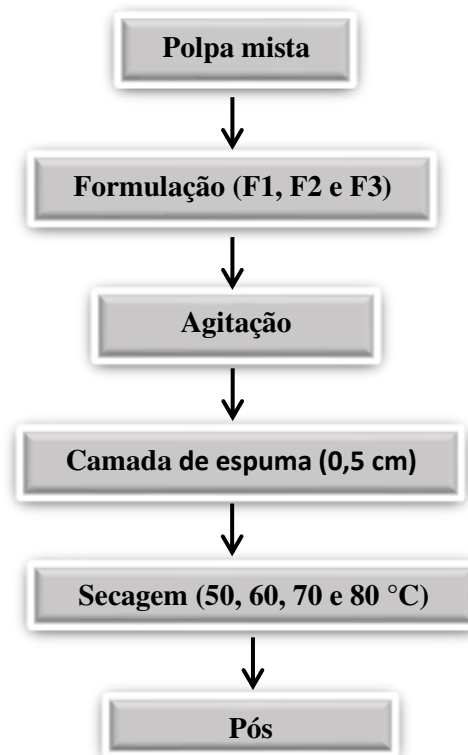
Os resultados foram obtidos em triplicata, submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, com o auxílio do software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

### 3.4.4 Cinética de secagem

Após a determinação da melhor espessura da camada de espuma (0,5 cm), seguiu-se a determinação, em triplicata, das curvas de cinética de secagem das espumas das três formulações (F1, F2 e F3) nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C em estufa com circulação forçada de ar a 1,0 m/s (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil).

O acompanhamento da perda de água deu-se através da pesagem periódica das suspensões, em intervalos de 5, 10, 20 e 30 minutos durante as 8 horas iniciais e a cada 60 minutos até atingir massa constante (variação de 0,01 g) em três pesagens consecutivas.

Atingido o término da secagem, as formulações foram raspadas das bandejas e trituradas em mini processador (Mallory, modelo Oggi<sup>+</sup>, Maranguape, CE, Brasil) para obtenção de material em pó para posterior caracterização física, química e físico-química. As etapas de obtenção dos pós estão mostradas na Figura 5.



**Figura 5** – Fluxograma das etapas de secagem em camada de espuma da polpa mista

Com os dados obtidos durante a perda de água das amostras nas diferentes condições de secagem calculou-se a razão do teor de água (RX), conforme a Expressão 13.

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (13)$$

Em que:

RX – razão do teor de água (adimensional);

X - teor de água no tempo t (base seca);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio (base seca);

X<sub>0</sub> - teor de água inicial (base seca).

As curvas de cinética de secagem foram traçadas partir dos valores de razão do teor de água (adimensional) em função do tempo de secagem (minutos).

### 3.4.5 Modelos matemáticos de secagem

Para a seleção dos modelos mais adequados à descrição do processo de secagem em camada de espuma, 12 modelos matemáticos foram ajustados às curvas de secagem (Tabela 4).

As análises de regressão não linear pelo método quase-newton foram realizadas utilizando o software Statistica versão 7.0.

**Tabela 4** – Modelos matemáticos para descrever as curvas de cinética de secagem

Modelo	Equação
Page	$RX = \exp(-k.t^n)$ (14)
Henderson e Pabis	$RX = a.\exp(-k.t)$ (15)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a.\exp(-k.t) + b.\exp(-k_0.t) + \exp(-k_1.t)$ (16)
Logarítmo	$RX = a.\exp(-k.t) + c$ (17)
Midilli et al.	$RX = a.\exp(-k.t^n) + b.t$ (18)
Verma	$RX = a.\exp(-k.t) + (1 - a) \exp(-k_1.t)$ (19)
Exponencial de dois termos	$RX = a.\exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.a.t)$ (20)
Aproximação da difusão	$RX = a.\exp(-k.t) + (1 - a) \exp(-k.b.t)$ (21)
Logistic	$RX = a_0/1.a.\exp(k.t)$ (22)
Dois termos	$RX = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$ (23)
Newton	$RX = \exp(-k.t)$ (24)
Thompson	$RX = \exp((-a.(a^2 + 4.b.t)^{0,5}) / 2.b)$ (25)

RX - razão de teor de água do produto, adimensional; k, k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub> – constantes de secagem (min<sup>-1</sup>); t – tempo de secagem (min); a, a<sub>0</sub>, b, c, n – constantes dos modelos (adimensionais).

Os ajustes dos modelos matemáticos testados foram avaliados por meio da comparação dos valores dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), qui-quadrados (χ<sup>2</sup>) e dos desvios quadráticos médios (DQM), segundo as Equações 26 e 27.

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2 \quad (26)$$

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{\text{pred}} - RX_{\text{exp}})^2}{n}} \quad (27)$$



Em que:

$\chi^2$  – qui-quadrado;

DQM - desvio quadrático médio;

$RX_{\text{pred}}$  - razão do teor de água predito pelo modelo;

$RX_{\text{exp}}$  - razão do teor de água experimental;

n - número de observações;

N - número de constantes do modelo.

### 3.4.6 Difusividade efetiva

A equação de difusão líquida (Equação 28) considerando a forma geométrica das amostras semelhante a uma placa plana infinita foi ajustada, com aproximação de quatro termos, as curvas de secagem sob diferentes condições de temperatura. A difusividade foi calculada adotando-se uma distribuição uniforme de teor de água inicial e ausência de resistência térmica.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ -(2n+1)^2 \pi^2 D_{\text{ef}} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (28)$$

Onde:

$D_{\text{ef}}$  - coeficiente de difusão efetivo ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

n - número de termos da equação;

L – meia espessura da camada (m);

t - tempo (s).

A equação de Arrhenius (Equação 29) foi usada para descrever a relação entre o coeficiente de difusão efetiva e as temperaturas de secagem das formulações.

$$D_{\text{ef}} = D_0 \exp \left( -\frac{E_a}{RT} \right) \quad (29)$$

Onde:

$D_{\text{ef}}$  - coeficiente de difusão efetiva ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$E_a$  - energia de ativação (kJ/mol);

R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K);

T – temperatura absoluta (K).

### 3.4.7 Propriedades termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas de variação de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs do processo de secagem das formulações em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) foram determinadas por meio das Equações 30, 31 e 32, respectivamente.

$$\Delta H = E_a RT \quad (30)$$

$$\Delta S = R \left[ \ln(D_0) - \ln\left(\frac{k_B}{h_p}\right) - \ln(T) \right] \quad (31)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (32)$$

Onde:

$\Delta G$  - energia livre de Gibbs (J/mol);

$\Delta H$  - entalpia específica (J/mol);

$\Delta S$  - entropia específica (J/mol K);

$k_B$  - constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K);

$h_p$  - constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J/s);

$T$  - temperatura absoluta (K).

### 3.5 Liofilização

Realizou-se a liofilização de 4 formulações (L0, L1, L2 e L3), compostas da polpa mista com diferentes concentrações de maltodextrina (DE 10 - MOR-REX<sup>®</sup> – Corn Products Brasil) (0, 10, 20 e 30%, respectivamente). As formulações passaram por homogeneização em liquidificador doméstico por 5 minutos até completa dissolução da maltodextrina.

Posteriormente, cada formulação foi distribuída em formas de gelo e congelada em freezer (-18 °C) por 48 horas. Após o congelamento, o material foi levado imediatamente ao liofilizador (Liobras<sup>®</sup>, modelo L101, São Carlos, SP, Brasil), permanecendo no equipamento por 72 horas a -50 °C. Em seguida, as amostras liofilizadas foram trituradas em mini processador (Mallory, modelo Oggi<sup>+</sup>, Maranguape, CE, Brasil) para obtenção dos pós.

### 3.6 Caracterização dos pós das secagens em camada de espuma e da liofilização

Os pós das secagens em camada de espuma e da liofilização foram caracterizados de acordo com as metodologias citadas no item 3.2, em quadruplicata, quanto aos parâmetros

de teor de água, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, Ratio SST/ATT, pH, cinzas, atividade de água, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, carotenoides, compostos fenólicos totais e taninos e os parâmetros físicos de acordo com as metodologias citadas a seguir.

### 3.6.1 Densidade aparente

A densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) dos pós foi determinada pesando-se uma massa da amostra em uma proveta graduada de 10 mL e posteriormente calculada a relação entre a massa da amostra e o volume da proveta ( $\text{g/cm}^3$ ), segundo Goula e Adamopoulos (2004), Equação 33.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (33)$$

Em que:

$\rho_{ap}$  - densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ );

$m$  - massa (g);

$V$  - volume ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.6.2 Densidade compactada

A massa de pó foi pesada até completar o volume de 10 mL na proveta graduada, seguida da compactação, batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada, a partir de uma altura aproximada de 5 cm. A densidade foi determinada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta ( $\text{g/cm}^3$ ), de acordo com Tonon et al. (2013).

### 3.6.3 Densidade absoluta

A estimativa da densidade absoluta foi determinada utilizando-se picnômetro e hexano como líquido imiscível, na temperatura de 25 °C. Pesou-se 1 g de polpa em pó no picnômetro e foi adicionado hexano até a aferição de 25 mL. A densidade absoluta foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras.

### 3.6.4 Fator de Hausner

O fator de Hausner foi calculado pela relação entre a densidade compactada e densidade aparente. Este fator correlaciona a fluidez de um pó, quantificado segundo a metodologia de Hausner (1967) e calculado conforme a Equação 34.

$$FH = \frac{\rho_{\text{compa}}}{\rho_{\text{aparente}}} \quad (34)$$

Onde:

FH - fator de Hausner (adimensional);

$\rho_{\text{compa}}$  - densidade compactada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_{\text{aparente}}$  - densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.6.5 Índice de compressibilidade ou índice de Carr

O índice de Carr (%) foi determinado conforme Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014). O índice de compressibilidade é um parâmetro relacionado à capacidade de empacotamento do pó. Este índice também foi calculado de acordo com a Equação 35.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (35)$$

Onde:

IC - índice de Carr (%);

$\rho_c$  - densidade compactada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_a$  - densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.6.6 Ângulo de repouso

Para a avaliação do ângulo de repouso ( $\Theta$ ) foi utilizada a metodologia descrita por Aulton (2005), em que o pó é escoado por um funil, sustentado por um suporte universal. A distância entre o orifício de descarga do funil e a base da superfície foi de 9 cm. Com isso, foram medidos a altura (h) e o diâmetro (D) do monte formado após o despejamento dos materiais através de paquímetro digital (Onebycitess, DD2018011001, 0-6"/150 mm), de acordo com a Equação 36.

$$\Theta = \frac{\arctg 2h}{D} \quad (36)$$

Em que:

$\Theta$  – ângulo de repouso (°);

h – altura da pilha (cm);

D – diâmetro (cm).

### 3.6.7 Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama de pó foi adicionado em 100 mL de água destilada agitando-se a mistura na velocidade máxima em um agitador magnético, durante 5 minutos. O pó disperso em água foi centrifugado a 2600 rpm por 5 minutos. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferido para uma cápsula de alumínio, previamente tarada e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. A solubilidade foi calculada pela Equação 37.

$$S = \left[ \left( \frac{M_s}{M_a} \right) \times 4 \right] \times 100 \quad (37)$$

Em que:

S – solubilidade (%);

M<sub>s</sub> – massa dos sólidos dissolvidos no sobrenadante (g);

M<sub>a</sub> – massa da amostra (g).

### 3.7 Seleção dos melhores pós

Foi realizada uma seleção do melhor pó da secagem em camada de espuma (PSCE) e do melhor pó da liofilização (PL) com base nos resultados das análises físico-químicas e compostos fitoquímicos.

### 3.8 Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água dos pós obtidos por liofilização e por secagem camada de espuma foram avaliadas adotando-se o método indireto dinâmico, descrito por

Crapiste e Rotstein (1982), na temperatura de 25 °C, com as leituras da atividade de água feitas em Aqualab modelo 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA).

O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 38).

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} \times 100 \quad (38)$$

Em que:

$X_e$  - teor de água de equilíbrio (% base seca);

$m_e$  - massa da amostra no equilíbrio (g);

$m_s$  - massa seca da amostra (g).

Os modelos matemáticos apresentados na Tabela 5 foram ajustados aos dados experimentais utilizando o programa computacional Statistica versão 7.0, através de regressão não linear pelo método Quase-Newton.

**Tabela 5** – Modelos matemáticos de isotermas de adsorção de água

Designação	Modelo	
GAB (Guggenheim, Anderson e Boer)	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$	(39)
Peleg	$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$	(40)
Oswin	$X_e = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$	(41)
Halsey	$X_e = \left[ -a / \ln a_w \right]^{\frac{1}{b}}$	(42)
Kuhn	$X_e = \left( A / \log a_w \right) + B$	(43)
Iglesias e Chirife	$X_e = A + \left[ B \left( a_w / 1 - a_w \right) \right]$	(44)

Obs:  $X_e$  - teor de água de equilíbrio;  $a_w$  - atividade de água;  $X_m$  - teor de água na monocamada molecular; C e K - parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - constantes dos modelos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio percentual médio (P) (Equação 45) foram os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos às isotermas de adsorção de água.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_{exp} - X_{pred})}{X_{exp}} \quad (45)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);

$X_{exp}$  - valores obtidos experimentalmente;

$X_{pred}$  - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

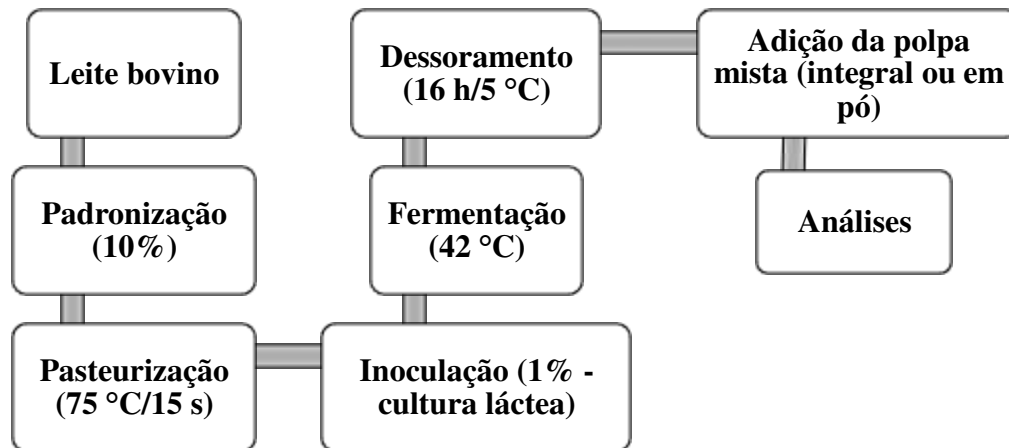
### 3.9 Armazenamento das polpas mistas em pó

Os dois pós selecionados PSCE (pó da secagem camada de espuma) e PL (pó da liofilização) foram acondicionados em embalagens flexíveis laminadas (composta de uma camada de PET transparente, metalização e filme de polietileno de baixa densidade - PEDB, com gramatura total nominal de 120 g/m<sup>2</sup>, taxa de transmissão de vapor de água de 5,38 g/m<sup>2</sup>/dia e taxa de permeabilidade ao oxigênio de 60 cc/m<sup>2</sup>/dia) com dimensões de 10 x 17,5 cm, contendo 20 g cada e armazenados em recipientes herméticos de vidro contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl) propiciando umidade relativa média de 83%. Estes recipientes com os pós embalados foram colocados em câmara do tipo BOD a 25 e 40 °C. Os pós foram submetidos às análises físicas, químicas e físico-químicas no início (tempo zero) e a cada 30 dias quanto ao teor de água, pH, acidez total titulável, atividade de água, compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas, ácido ascórbico, solubilidade, densidade aparente, compactada e absoluta, fator de Hausner e índice de Carr, durante 180 dias de conservação, de acordo com as metodologias citadas anteriormente. A análise estatística dos dados foi realizada no programa computacional Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016), em delineamento inteiramente casualizado por meio de análise de regressão polinomial na análise de variância, sendo selecionadas as equações significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para representar os dados avaliados durante a armazenagem dos pós da polpa mista.

### 3.10 Elaboração do iogurte concentrado

Foi utilizada a cultura láctica termofílica liofilizada (*stater*) composta por *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Yolac Y 70 A, Vilac Foods Tecnologia Ingredientes Ltda., Macaíba, RN, Brasil). Inicialmente, foi inoculada 1 g da cultura liofilizada em 1000 mL de leite pasteurizado (75 °C/15 s), dividido em tubos de Falcon de 50 mL e congelado em freezer vertical a -18 °C,

conforme instruções do fabricante, para ser utilizado na etapa de fermentação. Na Figura 6 está representado o fluxograma de processamento do iogurte concentrado.



**Figura 6** – Fluxograma de produção do iogurte concentrado

No processo de elaboração do iogurte, o leite *in natura* foi padronizado em 10% de sólidos totais com a adição de leite em pó integral (Ninho<sup>®</sup> Forti+ integral, Nestlé, Brasil), com o objetivo de melhorar a viscosidade do produto final, em seguida foi adicionado 15% (m/m) de açúcar cristal comercial (Estrela<sup>®</sup>, Arês, RN, Brasil), dissolvidos manualmente. Logo após, submetido à pasteurização rápida a (75 °C/15 s), resfriado até 45 °C e inoculado com 1% (em relação ao volume do leite) da cultura previamente preparada e incubado a 42 ±1 °C.

Para o acompanhamento da cinética do processo fermentativo uma porção do leite inoculado foi subdividida em tubos tipo Falcon (24 x 200 mm) e incubado juntamente com o restante do material em estufa a 42 ±1 °C. Em intervalos de 30 minutos uma alíquota foi retirada para determinar o pH e a acidez até atingir pH 4,6 e 0,65% de ácido láctico. Após o final da fermentação, o produto foi resfriado em banho de gelo e armazenado em câmara fria à temperatura de 5 ±1 °C até atingir temperatura ambiente (2 a 3 horas).

O coágulo foi transferido cuidadosamente para sacos de algodão esterilizados (autoclave - 121 °C/15 min) e colocados sob resfriamento em câmara fria a 5 ±1 °C por 16 horas para drenagem parcial do soro do leite. Após esse período, a massa foi retirada, homogeneizada manualmente e dividida em porções para a elaboração das seguintes formulações: F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de



maltodextrina liofilizada; e F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose).

Em seguida, os iogurtes foram acondicionados em recipientes de polipropileno de 50 mL, fechados com tampa termossoldável e conservados a  $5\pm 1$  °C para manter a temperatura de refrigeração durante as análises.

### 3.10.1 Avaliação microbiológica

Foram realizadas análises de coliformes totais e coliformes a 45 °C pelo método do número mais provável (NMP/g), bolores e leveduras pelo método em superfície (UFC/g), *Salmonella* spp. (presença ou ausência) em 25 g de iogurte, conforme as metodologias propostas pela American Public Health Association (APHA, 2001).

Os resultados foram verificados com os padrões estabelecidos pela RDC n° 331, de 23 de dezembro de 2019, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (BRASIL, 2019) e de acordo com a instrução normativa n°46 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA que estabelece os padrões de identidade e qualidade de leites fermentados (BRASIL, 2007).

### 3.10.2 Avaliação físico-química

A avaliação da qualidade do iogurte foi determinada pelas análises de atividade de água, pH, acidez total titulável (% de ácido láctico), lipídios, proteínas, teor de água, cinzas, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, compostos fenólicos totais, taninos, flavonoides e antocianinas, de acordo com o protocolo descrito no item 3.2.

A capacidade de retenção de água foi medida por meio de centrifugação (QUIMIS, modelo Q222TM2, Diadema, SP, Brasil) de 10 g do iogurte a 3.500 rpm por 15 minutos (HARTE et al., 2003), calculada de acordo com a Equação 46.

$$\text{CRA (\%)} = [(1 - (\text{massa do sobrenadante}/\text{massa da amostra})) \times 100] \quad (46)$$

A sinérese foi realizada com base no método da centrifugação utilizado por Gauche et al. (2009). As amostras (10 g) foram pesadas em tubo falcon (15 mL) e centrifugadas a 3000 rpm por 15 minutos. A porcentagem de sinérese foi calculada pela massa de soro de

leite separada da rede de gel após a centrifugação. O soro sobrenadante foi retirado com auxílio de uma seringa.

O resultado foi calculado pela Equação 47.

$$\text{SINÉRESE (\%)} = [(\text{massa do soro de leite}/\text{massa da amostra de iogurte}) \times 100] \quad (47)$$

### 3.10.3 Análise sensorial

O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Campina Grande e após aprovação (parecer nº 3.692.447/2019 – Anexo A), foram convidados 110 provadores não treinados, de ambos os sexos, entre acadêmicos e colaboradores da instituição, consumidores de iogurte concentrado, na faixa etária de 15 a 68 anos.

No laboratório de análise sensorial, os participantes foram acomodados em cabines individuais, orientados sobre as contraindicações (alergia ou problema de saúde) de algum dos ingredientes usados, preencheram o termo de assentimento livre e esclarecido – TALE (Apêndice A) e o termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE (Apêndice B), só então receberam os iogurtes.

As amostras foram servidas em copos descartáveis contendo 25 mL de cada iogurte (F1, F2, F3, F4 e F5) a aproximadamente 10 °C, codificados com números aleatórios de três dígitos, sempre duas horas anteriores ou depois das refeições, no período mais adequado para realização desta avaliação. Os julgadores foram orientados a fazerem a utilização da água à temperatura ambiente (25 ±1 °C) entre as amostras, para a completa limpeza do palato.

Para avaliar a aceitação dos iogurtes os atributos sensoriais sabor, cor, aroma, consistência, aparência e impressão global foram avaliados utilizando-se uma ficha com escala hedônica estruturada de nove pontos (Anexo B) ancorada nos extremos do teste de “desgostei muitíssimo” (nota 1) a “gostei muitíssimo” (nota 9) (DUTCOSKY, 2013). Os iogurtes foram considerados aceitos quando tiveram média igual ou superior a 5,0 (termo hedônico “nem gostei/nem desgostei”).

A intenção de compra foi avaliada usando escala hedônica estruturada de 5 pontos (Anexo B), com notas variando de 1 (com certeza não compraria) a 5 (com certeza compraria) (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1991).

### **3.10.4 Perfil de textura instrumental**

A análise do perfil de textura (APT), em triplicata, foi avaliada em texturômetro universal (TA-XT plus, Stable Micro Systems, UK, Inglaterra) com software Exponent Stable Micro Systems integrado, utilizando-se o probe P-36R Back Extrusion Cell (A/BE), para a obtenção dos atributos de firmeza (N), consistência (N/s), coesividade (N) e índice de viscosidade (N/s). Os parâmetros de teste foram os seguintes: diâmetro da sonda do cilindro de 35 mm, velocidade de pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade de teste de 1,0 mm/s, distância de penetração de 20 mm e velocidade pós teste de 10,0 mm/s. O iogurte foi homogeneizado manualmente e transferido com o auxílio de espátula para um béquer com capacidade para 50 mL para realização da análise.

### **3.10.5 Análise estatística**

As análises foram conduzidas utilizando-se 3 repetições. Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as diferenças significativas entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho proporcionaram a elaboração seguintes artigos:

**ARTIGO 1** - Caracterização físico-química e bioativa de polpa mista de jambolão e acerola

**ARTIGO 2** - Formulações de polpa mista de jambolão e acerola para o processo de secagem em camada de espuma

**ARTIGO 3** - Comportamento higroscópico e cinética de secagem em camada de espuma da polpa mista de jambolão e acerola

**ARTIGO 4** - Secagem em camada de espuma de polpa mista de jambolão e acerola: efeito de aditivos e da temperatura

**ARTIGO 5** - Efeito da adição de maltodextrina na liofilização de polpa mista de jambolão e acerola

**ARTIGO 6** - Estabilidade do pó da polpa mista de jambolão e acerola durante o armazenamento

**ARTIGO 7** - Elaboração de iogurte concentrado com adição de pós de jambolão e acerola

**PATENTE 1** - Polpa mista de jambolão e acerola em pó (Anexo C)

**PATENTE 2** - Iogurte concentrado adicionado de polpa mista de jambolão e acerola integral ou em pó (Anexo D)

## ARTIGO 1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E BIOATIVA DE POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA

### Resumo

A acerola e o jambolão apresentam elevada concentração de ácido ascórbico e outros compostos bioativos de origem fenólica e carotenoides. Os teores elevados em cada fruta individualmente pressupõe que a combinação de ambas compõe uma polpa mista ainda rica em princípios nutricionais e bioativos, porém com composição mais equilibrada e aparência atrativa. O trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar uma polpa mista de jambolão e acerola e caracterizar as polpas isoladamente e a polpa mista. A polpa mista foi preparada com a mistura de 50% de cada polpa procedendo-se a homogeneização e avaliações físico-químicas, colorimétricas e fitoquímicas nas polpas isoladamente e na polpa mista. A polpa de jambolão superou a de acerola nos teores de sólidos solúveis, açúcares, lipídios e proteínas; a acerola demonstrou teores mais elevados de ácido ascórbico, compostos fenólicos, taninos e flavonoides, enquanto o jambolão contém mais antocianinas e carotenoides; o jambolão contém teores mais elevados de ácidos fenólicos, exceto o salicílico, catequina e rutina; a polpa mista apresentou composição intermediária, coordenadas cromática vermelha e azul e alta capacidade antioxidante.

**Palavras-chave:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; bioativos; compostos fenólicos, capacidade antioxidante.

### Abstract

Acerola and jambolão have a high concentration of ascorbic acid and other bioactive compounds of phenolic and carotenoid origin. The high levels in each fruit individually assume that the combination of both makes up a mixed pulp still rich in nutritional and bioactive principles, but with a more balanced composition and attractive appearance. The work was carried out with the objective of making a mixed pulp of *jambolão* and *acerola* and characterizing each pulp separately and the mixed pulp. The mixed pulp was prepared with a mixture of 50% of each pulp, proceeding with homogenization and physical-chemical, colorimetric and phytochemical evaluations in the pulps alone and in the mixed pulp. The *jambolão* pulp surpassed that of acerola in terms of soluble solids, sugars, lipids and proteins; acerola showed higher levels of ascorbic acid, phenolic compounds, tannins and flavonoids, while *jambolão* contains more anthocyanins and carotenoids; *jambolão* contains higher levels of phenolic acids, except salicylic, catechin and rutin; the mixed pulp presented intermediate composition, red and blue chromatic coordinates and high antioxidant capacity.

**Keywords:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; bioactive; phenolic compounds, antioxidant capacity.

## 1 Introdução

Inúmeros trabalhos têm sido dedicados a estudar o conteúdo de compostos polifenólicos em frutas e vegetais e seu impacto na saúde. Trata-se de um esforço que se alia ao crescente interesse por um estilo de vida ativo e saudável e que traz como consequência maior demanda por alimentos naturais (MAJERSKA; MICHALSKA; FIGIEL, 2019).

Donado-Pestana et al. (2018) reiteram o foco de diversos estudos na avaliação da composição de fitoquímicos em matrizes alimentares que podem ter efeitos benéficos para a saúde, bem como os mecanismos envolvidos.

Tais estudos relacionam o consumo regular de frutas e vegetais a uma baixa incidência de doenças crônicas, como obesidade, diabetes, hipertensão, doenças cardiovasculares, alergias, entre outras. A hipótese bem aceita para explicar esse efeito o identifica nos compostos fitoquímicos, como vitamina C, antocianinas e carotenoides, que possuem importantes propriedades biológicas relacionadas à sua capacidade antioxidante (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2017).

O jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) é uma fonte de compostos fenólicos, como os flavonoides e antocianinas. Também contém taninos hidrolisáveis, que podem ser os principais compostos fenólicos responsáveis pela adstringência da fruta (TAVARES et al., 2016). O sabor adstringente é por vezes não preferido pelos consumidores, de forma que sua redução ou mascaramento obtido ao se proceder a mistura com outras frutas é uma estratégia simples e prática para aumentar a aceitabilidade do produto.

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) é uma fruta tropical originária da América Central e do Sul (NÓBREGA et al., 2014). Notabiliza-se pelo alto teor de ácido ascórbico, que desempenha um papel importante na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo (NOGUEIRA et al., 2019). Além da vitamina C, a acerola apresenta outros compostos químicos com potencial benéfico à saúde, entre eles fibras, minerais e bioativos.

A mistura de diferentes frutas é um procedimento na agroindústria que vem ganhando destaque pela possibilidade de elaboração de produtos ricos em vitaminas e com maior diversidade de compostos bioativos e de minerais, além de permitir combinações interessantes e inusitadas do ponto de vista sensorial. Conforme Carvalho, Mattietto e Beckman (2017) é uma prática que visa a superar o alto custo de algumas frutas exóticas, escassez ou disponibilidade sazonal, balanceamento de sabores, acidez ou amargor.

Os biocompostos com atividade antioxidante contidos nas frutas têm demonstrado propriedades terapêuticas, anti-inflamatórias e anticancerígenas, sendo relevantes para os campos médicos, farmacêuticos e para a indústria alimentícia (SILVA et al., 2016).

O desenvolvimento de uma polpa mista de jambolão e acerola constitui uma combinação promissora, tanto do ponto de vista nutricional, tendo em vista os altos teores de ácido ascórbico da acerola e de pigmentos de origem fenólica do jambolão, como sob o aspecto sensorial, ao combinar o sabor ácido da acerola com o adocicado adstringente do jambolão, além dos princípios aromáticos muito particulares de cada espécie. Desta forma,

o presente trabalho teve como objetivo elaborar e caracterizar polpa mista de jambolão e acerola quanto aos aspectos físico-químicos, colorimétricos e compostos bioativos.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Matérias-primas**

Foram utilizados, para a realização deste trabalho frutos de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), coletados em 2018, no município de Macaíba, estado do Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m). Os frutos estavam completamente maduros, com coloração vermelha para acerola e violácea quase negra para jambolão.

### **2.2 Processamento dos frutos e elaboração da polpa mista**

Os frutos foram selecionados e higienizados por imersão em água clorada (50 ppm) por 15 minutos e imersos novamente em água potável por mais cinco minutos para enxágue. Em seguida, foi realizado o despulpamento em despulpadora horizontal (Itametal, modelo compacta, Itabuna, BA, Brasil), provida de peneira com malha de 4 mm de abertura, seguido de refinamento em peneira com malha de 2 mm de abertura para eliminar pequenas frações de fibras não trituradas e resíduos grosseiros. Posteriormente, ambas as polpas (jambolão e acerola) foram envasadas em embalagens de polietileno de baixa densidade medindo 10 x 25 cm, com capacidade para 200 g e armazenadas em freezer com temperatura controlada de -18 °C, até o momento da elaboração da polpa mista. Para polpa mista de jambolão e acerola procedeu-se a homogeneização das polpas integrais na proporção de 1:1(g/g) em liquidificador doméstico durante 1 minuto.

### **2.3 Caracterização físico-química**

As análises físico-químicas realizadas, em quadruplicata, nas polpas de jambolão, acerola e na polpa mista foram expressos em base úmida (bu): pH por leitura direta em pHmetro digital (Tecnal, modelo TEC-2, Piracicaba, SP, Brasil); acidez total titulável (ATT) por titulação com NaOH 0,1 mol/L até pH 8,1 (g ácido cítrico/100 g); sólidos solúveis totais - SST (°Brix) em refratômetro portátil (Instrutherm, RT – 30 ATC, São Paulo, SP, Brasil);

teor de água, por meio de secagem em estufa a vácuo (QUIMIS, Q319V, Diadema, SP, Brasil) a 70 °C até massa constante; resíduo mineral, obtido pela calcinação em mufla a 550 °C; e conteúdo proteico pelo método micro Kjeldahl. Tais análises seguiram as metodologias recomendadas pela AOAC (2016). A razão SST/ATT foi estimada pelo quociente dos valores de sólidos solúveis totais e acidez total titulável.

As medidas da atividade de água ( $a_w$ ) foram determinadas por leitura direta a 25 °C em higrômetro Aqualab 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA). Para determinação de lipídios seguiu-se a metodologia proposto por Bligh e Dyer (1959). O método utilizado na extração e quantificação de pectina foi proposto por Carvalho, Fernandes e Pires (2006) e expresso em g pectato de cálcio/100 g.

O teor total de açúcares solúveis (g/100 g) foi medido pelo método de antrona (YEMM; WILLIS, 1954). As leituras de absorvância foram obtidas a 620 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão, na concentração de 100 µg/mL. O conteúdo de açúcares redutores (g/100 g) foi quantificado pelo método colorimétrico usando ácido 3,5-dinitrosalicílico (MILLER, 1959). As leituras de absorvância foram realizadas a 540 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão na concentração de 2,5 µM/mL.

## 2.4 Análise colorimétrica

A cor das polpas integrais e mista foi determinada no sistema CIELAB, utilizando colorímetro portátil MiniScan Hunter Lab XE Plus (Hunter Associates Laboratory, modelo 4500 L, Reston, Virgínia, EUA). O equipamento foi calibrado com placa branca ( $X = 80,5$ ;  $Y = 85,3$ ;  $Z = 90,0$ ) e equipado com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°.

No sistema CIELAB, o  $L^*$  representa a luminosidade, que varia de 0 a 100, sendo o zero correspondente ao preto total e 100, ao branco total,  $a^*$  é o eixo de cromaticidade que varia do verde (-) ao vermelho (+) e  $b^*$  é o eixo de cromaticidade que varia do azul (-) ao amarelo (+).

Além das coordenadas de cores, também foi realizada os cálculos dos parâmetros de croma [ $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ], que representa a pureza da cor e a medida do ângulo hue [ $h^* = \text{tg}^{-1}(b^*/a^*)$ ], que representa a tonalidade da cor.



## 2.5 Compostos fitoquímicos

A determinação do ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/100 g) foi realizada de acordo com o protocolo de Oliveira, Godoy e Prado (2010), através da titulação com 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI).

O teor dos compostos fenólicos totais (CFT) nos extratos foi quantificado pelo método espectrofotométrico com o reagente Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006). As leituras de absorvância foram obtidas a 765 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados em mg EAG (equivalente de ácido gálico) /100 g. A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico como padrão, na concentração de 100 µg/mL.

A concentração de taninos totais foi quantificada pelo método de Porter, Hrstich e Chan (1986), utilizando-se o reagente Folin-Denis. As leituras foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 765 nm. A curva padrão foi construída com solução padrão de ácido tânico a 0,1 mg/mL e os resultados expressos em mg equivalente de ácido tânico por 100 g da amostra (mg EAT/100 g).

O método pela diferença de pH foi utilizado para medir o teor total de antocianinas (COHEN et al., 2006). Duas diluições da mesma amostra foram feitas em soluções tampão de pH = 1 (cloreto de potássio 0,025 M) e pH = 4,5 (acetato de sódio 0,4 M). O extrato foi produzido com solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. A absorvância de cada diluição foi medida a  $\lambda = 510$  e 700 nm contra um branco de água destilada usando um espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo por 100 g da amostra.

Os flavonoides totais (mg/100 g) foram estabelecidos segundo método descrito por Francis (1982), no qual, o extrato foi produzido com solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. As leituras das absorvâncias foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 374 nm.

Os carotenoides totais (mg/100 g) foram estimados conforme metodologia descrita por Lichtenthaler (1987), utilizando-se acetona como solvente, lido em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) no comprimento de onda 470 nm.

## 2.6 Obtenção dos extratos fenólicos

Para produzir os extratos que foram utilizados para avaliação do perfil de fenólicos e da atividade antioxidante foram utilizados metanol, etanol e água. Os extratos fenólicos

foram obtidos numa proporção amostra/mistura de solvente de 1:10 (amostra: etanol 50% acidificado) sob agitação mecânica (Tecnal<sup>®</sup>, Incubadora TE-420, Piracicaba, SP, Brasil) à temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) por 3 horas. Seguiu-se de uma centrifugação a 6000 rpm à 25 °C por 10 minutos, filtração à vácuo e secagem em estufa com circulação de ar a 40 °C overnight (15 horas). Os extratos secos foram adicionados à mistura de solventes na proporção de 5 mg do extrato seco/mL de metanol 50% ou etanol 50% acidificado, de acordo com a amostra e armazenados sob refrigeração ( $8 \pm 1$  °C) até o momento das análises.

## 2.7 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC) (Shimadzu, Barueri, SP, Brasil), equipado com um injetor automático Rheodyne 7125i e um detector UV-vis. Para a identificação dos compostos fenólicos individuais, utilizou-se a metodologia descrita por Meireles (2017). As colunas utilizadas foram uma coluna Shimadzu LC-18 (25 cm x 4,6 mm, tamanho da partícula 5 µm, Supelco, Bellefonte, PA, E.U.A) e uma pré-coluna C-18 ODS Shimadzu. As amostras foram eluídas com um sistema gradiente que consiste em solvente A (2% ácido acético, v/v) e solvente B (acetonitrila:metanol, 2:1, v/v), utilizados como fases móveis, com um fluxo de 1 mL/min. A temperatura da coluna foi mantida a 25 °C e o volume de injeção foi de 20 µL. O sistema de gradiente iniciou-se a partir de 90% A a 0 minuto, 88% A em 3 minutos, 85% A em 6 minutos, 82% A em 10 minutos, 80% A em 12 minutos, 70% A em 15 minutos, 65% A em 20 minutos, 60% A em 25 minutos, 50% A em 30-40 minutos, 75% A em 42 minutos e 90% A em 44 minutos. A corrida cromatográfica total foi de 50 minutos. Os picos dos compostos fenólicos monitorizados a 280 nm. O software Labsolutions (Shimadzu) foi usado para controlar o sistema de LC-UV e de processamento de dados. Os compostos fenólicos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção com padrões de ácidos fenólicos e flavonoides, e para as amostras, analisadas sob as mesmas condições, sendo quantificados a partir de curvas de calibração e os cromatogramas foram registrados no software Labsolutions Data System. Os resultados foram expressos em mg/100 g.

## 2.8 Atividade antioxidante pelo poder redutor do ferro (FRAP)

A capacidade antioxidante de redução do ferro foi determinada pelo método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) (RUFINO et al., 2006), com adaptações. Na ausência

de luz, o reagente FRAP foi preparado com tampão acetato 300 mmol/L (pH 3,6), 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazin (TPTZ) 10 mmol/L em uma solução de HCl 40 mmol/L e FeCl<sub>3</sub> a 20 mmol/L. Uma alíquota do extrato da amostra foi transferida para um tubo de ensaio e adicionados 0,27 mL de água ultrapura e 2,7 mL do reagente FRAP. A mistura foi agitada e mantida em banho durante 30 minutos a  $37 \pm 1$  °C. Após o resfriamento até temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C), amostras e padrões foram lidos em espectrofotômetro (Shimadzu, UV-VIS UV-1280, Barueri, SP, Brasil) a 595 nm. A curva padrão foi traçada usando sulfato de ferro II em concentrações que variaram entre 500 e 2000 µmol/L. Os resultados foram expressos em µmol de equivalente sulfato ferroso/g.

### **2.9 Atividade antioxidante pelo sequestro do radical livre - DPPH'**

A atividade de eliminação de radicais livres dos extratos das amostras foi determinada com base no método DPPH' (RUFINO et al., 2007), com modificações. Uma alíquota do extrato foi adicionada em 3,0 mL de solução diluída de DPPH' (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) em etanol (0,0236 mg/mL), agitada e incubada durante 30 minutos no escuro e a absorvância das amostras e padrões foi medida em espectrofotômetro (Shimadzu, UV-VIS UV-1280, Barueri, SP, Brasil) a 517 nm. A curva padrão foi realizada com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-ácido-2-carboxílico) (100-2000 µmol/L em etanol).

Os resultados foram expressos em µmol equivalente Trolox/g.

### **2.10 Análise estatística**

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com resultados submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%, com o auxílio do software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## **3 Resultados e discussão**

### **3.1 Parâmetros físico-químicos, cor e fitoquímicos**

Na Tabela 1 têm-se os parâmetros físico-químicos das polpas integrais de jambolão e acerola e da polpa mista. O teor de água e a atividade de água de ambas as polpas se

apresentam elevadas, como é comum entre as polpas de frutas, com a polpa de jambolão demonstrando menor conteúdo de água do que a de acerola ( $p < 0,05$ ). O teor de água da polpa mista resultou em valor intermediário comparado com as polpas integrais ( $p < 0,05$ ). Reis et al. (2017) ao caracterizarem no fruto de acerola da cultivar ‘Flor Branca’ reportaram teor de água de 90,7 g/100 g. Alamar et al. (2016) determinaram em polpa de goiaba (*Psidium guajava*) teor de 90,9 g/100 g. Resultados aproximados também foram relatados por Magalhães et al. (2019) em polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*), cujos valores variaram de 80,1 a 87,1 g/100 g. Branco et al. (2016) relataram teor de água de 84,76 e 86,07 g/100 g em polpa de jambolão pasteurizada e não pasteurizada, respectivamente. Seraglio et al. (2018) verificaram na caracterização de frutos maduros de jambolão teor de água de 84,74 g/100 g. Reis et al. (2017) na avaliação de frutos de acerola ‘Flor Branca’ maduros determinaram teor de água de 90,75% e Souza et al. (2020) na análise de composição química da polpa de acerola relataram teor de água de 92,28%.

**Tabela 1** – Caracterização físico-química das polpas integrais de jambolão e acerola e da polpa mista

Parâmetros	Jambolão	Acerola	Mista
<b>Teor de água<sup>1</sup></b>	83,20±0,08c	92,44±0,06a	88,86±0,08b
<b>a<sub>w</sub></b>	0,989±0,001b	0,995±0,001a	0,990±0,001b
<b>pH</b>	3,71±0,01a	3,18±0,00c	3,41±0,01b
<b>Acidez total titulável<sup>3</sup> (ATT)</b>	0,68±0,01c	1,20±0,01a	0,96±0,01b
<b>Sólidos solúveis totais<sup>2</sup> (SST)</b>	11,40±0,00a	7,00±0,00c	9,40±0,00b
<b>Ratio (SST/ATT)</b>	16,63±0,06a	5,86±0,07c	9,73±0,12b
<b>Açúcares totais<sup>4</sup></b>	7,89±0,01a	3,26±0,00c	5,30±0,00b
<b>Açúcares redutores<sup>4</sup></b>	0,03±0,00a	0,01±0,00c	0,02±0,00b
<b>Açúcares não redutores<sup>5</sup></b>	7,47±0,01a	3,08±0,00c	5,02±0,01a
<b>Cinzas<sup>1</sup></b>	0,44±0,01a	0,27±0,01c	0,40±0,0b
<b>Lipídios<sup>1</sup></b>	0,35±0,02a	0,11±0,01c	0,19±0,02b
<b>Proteínas<sup>1</sup></b>	0,93±0,01a	0,84±0,01b	0,80±0,02b
<b>Pectina<sup>1</sup></b>	0,06±0,01c	0,16±0,01a	0,12±0,01b

<sup>1</sup> g/100 g; <sup>2</sup> °Brix; <sup>3</sup> g ácido cítrico/100 g; <sup>4</sup> g glicose/100 g; <sup>5</sup> g sacarose/100 g. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p \geq 0,05$ ).

Todas as amostras apresentaram elevada atividade de água ( $a_w > 0,98$ ), indicando que possuem alta quantidade de água disponível para reações bioquímicas e microbiológicas, com a polpa de jambolão não apresentando diferença significativa em relação à polpa mista

e a polpa de acerola obteve a maior  $a_w$ . Mussi et al. (2015) na avaliação físico-química das partes do jambolão, verificaram  $a_w$  de 0,998 na polpa do fruto e de 0,989 na parte comestível (polpa + casca). Borges et al. (2016) em estudo com a polpa de jambolão quantificaram  $a_w$  de 0,980 e Lemos et al. (2019) constataram para a polpa de acerola  $a_w$  de 0,989.

Verifica-se o pH baixo em ambas as frutas, menor ainda na polpa de acerola ( $p < 0,05$ ). Araújo et al. (2015) verificaram pH em suco de acerola de 3,26. Prakash et al. (2016) reportaram pH de 3,6 em combinação de polpas de tomate e acerola. Hoffmann et al. (2017) avaliando a estabilidade na polpa de butiá (*Butia odorata*) determinaram pH de 3,4, igual ao da polpa mista. Junqueira et al. (2015), estudando duas espécies do gênero *Syzygium*, observaram pH de 3,69 para polpa de *Syzygium cumini* (L.) Skeels.

A acidez seguiu o comportamento inverso do pH, de forma que o menor pH da acerola correspondeu a uma acidez 76% maior do que a acidez do jambolão ( $p < 0,05$ ). Ácidos orgânicos frequentemente tendem a diminuir com a maturação por causa de seu uso como substrato na respiração ou sua conversão em açúcares, o que também leva a um aumento no teor de sólidos solúveis totais (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Magalhães et al. (2018) ao realizarem análise em 20 genótipos de aceroleiras no município de Sete Lagoas, Minas Gérias, observaram que a acidez total variou entre 0,72 e 1,17 g/100 g. O teor de acidez da polpa mista desta pesquisa foi próximo ao encontrado por Nazareno, Acevedo e Cardoso (2019) em polpa de acerola (1,02 g/100 g). Saurabh, Barman e Singh (2019) em estudo sobre a qualidade do jambolão durante o armazenamento em condições ambientais, verificaram teor de acidez de 0,30 g/100 g após 6 dias de armazenamento.

Os teores de sólidos solúveis totais (SST) do jambolão e da acerola corroboram a impressão sensorial de fruta mais doce do jambolão em relação à acerola, com 63% a mais de SST comparado a esta. Chen e Martynenko (2017) ao estudarem a polpa de cranberry obtiveram valor de sólidos solúveis totais de 10,8 °Brix, similar ao jambolão. Prakash et al. (2016), no desenvolvimento de ketchup enriquecido com polpa de acerola, encontraram pH de 7,2 °Brix. Na avaliação de 25 variedades de tangerina (*Citrus reticulata*), Neves et al. (2018) reportaram valores médios de 11,0 °Brix. Péroumal et al. (2017) determinaram uma faixa de sólidos solúveis totais entre 9 e 13 °Brix em polpas de seis acessos de abricó-dopará (*Mammea americana* L.). Mariano-Nasser et al. (2017) ao avaliarem as características físico-químicas de frutos de oito cultivares de aceroleira, relataram valores de sólidos solúveis de 6,66 a 8,36 °Brix. Coelho et al. (2016) verificaram teor de sólidos solúveis de 12,9 °Brix na polpa de jambolão.

Como consequência do maior teor de sólidos solúveis totais e da menor acidez, o jambolão apresentou um ratio 2,8 vezes superior ao da acerola ( $p < 0,05$ ), representando uma relação SST/ATT com predominância mais adocicada do que a da acerola e a polpa mista. Coelho et al. (2019), reportaram em laranjas (*Citrus sinensis*) da cultivar 'Pêra', cultivadas em sistema orgânico e convencional, valores de ratio entre 16,3 e 18,7, respectivamente.

Os açúcares totais se apresentaram mais elevados no jambolão ( $p < 0,05$ ), sendo mais de duas vezes superiores ao valor encontrado na polpa de acerola, acompanhando os maiores teores dos SST. Sandri et al. (2017), em estudo com polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*) verificaram valores de 7,3 g/100 g de açúcares totais, semelhante ao jambolão. Monteiro et al. (2018) relataram conteúdo de açúcares totais de 4,2 g/100 g em sapota-do-Solimões (*Quararibea cordata* Vischer). Araújo et al. (2016) ao estudarem a pasteurização do suco de acerola encontraram teor de açúcares redutores variando entre 4,19-5,30 g/100 g e de açúcares não redutores entre 2,64-3,75 g/100 g. Hemavathi et al. (2018) no estudo para melhorar a qualidade do fruto através da aplicação foliar de micronutrientes em jambolão, verificaram alto teor de açúcares totais (8,16 g/100 g), açúcares redutores (6,54 g/100 g) e açúcares não redutores (1,72 g/100 g).

Entre açúcares redutores e não redutores estes últimos predominaram de forma completa sobre os redutores, praticamente ausente nas duas polpas. Khalid et al. (2017), estudando a qualidade físico-química de tangerina 'Kinnow', reportaram valores para açúcares totais de 7,5 g/100 g e de açúcares não redutores de 5,3 g/100 g, resultados similares aos das polpas de jambolão e mista, respectivamente. Oliveira-Folador et al. (2018), ao avaliarem a qualidade de polpa de maracujá, verificaram média de açúcares não redutores de 3,7 g/100 g, comparável ao resultado aferido na polpa de acerola.

O teor de cinzas da polpa mista superou ( $p < 0,05$ ) o da acerola em cerca de 48%, refletindo a característica de material com teor mais elevado de minerais. Buchmann, Peres e Simões (2019) reportaram teor de cinzas médio com valor de 0,4 g/100 g na biomassa de açaí e cupuaçu, aproximados ao de jambolão e da polpa mista. Sousa et al. (2020) na avaliação físico-química de polpas de acerola produzidas e comercializadas em Santarém-PA verificaram teor de cinzas entre 0,24-0,25 g/100 g. Gajera et al. (2018) ao determinarem o perfil nutricional de seis cultivares de jambolão, encontraram teor de cinzas na faixa de 0,93 a 1,02 g/100 g.

Os teores de lipídios determinados nas polpas têm valores reduzidos, como é comum na maioria das frutas, embora os lipídios do jambolão superem em aproximadamente três vezes o da acerola e duas vezes o da polpa mista ( $p < 0,05$ ). Schiassi et al. (2018), em

trabalho sobre o valor nutricional em cajá (*Spondias mombin* L.), relataram teor de lipídios de 0,48 g/100 g. Prakash e Baskaran (2018) relataram teor de lipídios médio de 0,30 g/100 g ao estudarem a composição de macro e micronutrientes de acerolas maduras.

Assim como na maioria dos demais sólidos, o teor de proteínas do jambolão superou significativamente o da acerola e da polpa mista, mas sem que em nenhuma das polpas esses teores se apresentem em percentuais nutricionalmente relevantes, como se observa na maioria das frutas. Farias et al. (2018) encontraram teor aproximado de proteínas de 0,9 g/100 g na casca de noni (*Morinda citrifolia*), intermediário, portanto, aos de jambolão e acerola. Sabino, Brito e Silva Júnior (2018) relataram na caracterização química do fruto de jambolão teor de 1,4 g/100 g de proteínas, já Prakash e Baskaran (2018) quantificaram 0,40% de proteínas para acerola.

Superando o conteúdo do jambolão em mais de 2 vezes, o teor de pectina da acerola e da polpa mista apresentam valor igualmente reduzido. Guavita-Vargas et al. (2018) em estudo com quatro variedades de goiabas (*Psidium guajava* L.) maduras, consideradas ricas em pectina, encontraram valor médio de 1,7 g/100 g.

Para todos os parâmetros de cor houve diferença estatística significativa entre as amostras, conforme mostrado na Tabela 2. No jambolão têm-se valores de luminosidade e de intensidade de vermelho inferiores aos de acerola ( $p < 0,05$ ) que, no caso desta, apresenta quase o dobro da intensidade de vermelho aferida no jambolão. No caso da coordenada  $b^*$ , a acerola se apresenta na região do amarelo, como a maioria das frutas, enquanto o jambolão situa-se na região do azul.

O conjunto dos três parâmetros reitera a impressão sensorial causada pelas duas frutas, em que a acerola se apresenta clara e com predominância do vermelho, enquanto o jambolão apresenta-se escuro e com matiz azulado.

No trabalho de Glicerina et al. (2019) verificou-se valores de luminosidade em maçã (*Malus domestica*) de  $L^* = 20$  e em uva  $L^* = 22$  equivalentes aos verificado na polpa de jambolão e mista, respectivamente. Palonen e Weber (2019), ao avaliarem as framboesas (*Rubus idaeus*) verificaram valores de  $L^* = 32$  e de  $a^* = 36$ , similares à polpa de acerola. Supapvanich, Mitsang e Youryon (2017) obtiveram resultados de  $a^* = 20,0$  e croma = 23,4 em jambo (*Syzygium samarangense*) cv. 'Taaptipjaan', semelhantes aos determinados na polpa de jambolão.

Silva et al. (2020) encontraram para a polpa de jambolão, valores dos parâmetros de cor na amostra controle de  $L^* = 10,42$ ,  $a^* = 22,48$ ,  $b^* = 5,71$  e  $C^* = 23,19$ .

**Tabela 2** – Caracterização colorimétrica das polpas de acerola e jambolão integral e polpa mista

Parâmetros	Jambolão	Acerola	Mista
<b>Luminosidade (L*)</b>	20,13±0,11c	33,31±0,07a	22,18±0,11b
<b>Intensidade de vermelho (+a*)</b>	20,70±0,12c	38,77±0,15a	34,27±0,09b
<b>Intensidade de azul (-b*) e amarelo (+b*)</b>	-9,64±0,17c	28,28±0,13a	-0,91±0,12b
<b>Croma (c*)</b>	22,84±0,07c	47,99±0,15a	34,29±0,08b
<b>Ângulo de tonalidade - h* (°)</b>	335,04±0,49b	36,10±0,16c	358,47±0,21a

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p \geq 0,05$ ).

Dependendo da amostra e possivelmente do grau de maturação, têm-se variações apreciáveis dos parâmetros de cor, como se observa do trabalho de Jaeschke, Marczak e Mercali (2016), que ao avaliarem a polpa de acerola verificaram valores para  $a^* = 20,6$ ,  $b^* = 25,0$  e  $L^* = 39,9$ .

Constata-se que a polpa de acerola, dentre as polpas avaliadas, possui a cor mais intensa, com o maior valor de  $C^*$  seguida da polpa mista ( $p < 0,05$ ). De acordo com Pathare et al. (2013) o croma ( $C^*$ ) é considerado um atributo quantitativo da cor e usado para determinar o grau de diferença de uma tonalidade em comparação com uma cor cinza com a mesma luminosidade. Quanto mais altos os valores de croma, maior é a intensidade da cor das amostras percebidas pelos seres humanos.

Observa-se que o ângulo hue, que é um atributo qualitativo da cor, para a polpa de jambolão e da polpa mista se encontram no quarto quadrante do círculo de cor, com valores entre a tonalidade azul ( $270^\circ$ ) e vermelha ( $360^\circ$ ); e a polpa de acerola situa-se no primeiro quadrante entre a tonalidade vermelha ( $0^\circ$ ) e a amarela ( $90^\circ$ ). Valores próximos ao da polpa mista e de jambolão do ângulo hue foram verificados por Soares e Pereira (2020) para a polpa de jambolão integral e filtrada proveniente de três regiões da cidade de Campos dos Goytacazes, com valores variando entre  $327,5$  a  $346,3^\circ$ ; e por Faria et al. (2011) em extratos de polpa de jambolão com  $h^*$  de  $340$  e  $354^\circ$ .

Na Tabela 3 é apresentada a caracterização fitoquímica das polpas de jambolão, acerola e mista. Observa-se que as médias de todos os parâmetros avaliados apresentaram diferenças significativas entre as polpas avaliadas, sendo que a polpa de acerola apresentou os maiores valores de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, taninos e flavonoides ( $p < 0,05$ ) e a polpa de jambolão as maiores médias de antocianinas e carotenoides ( $p < 0,05$ ), e como esperado a polpa mista obteve valores intermediários.



**Tabela 3** – Caracterização fitoquímica das polpas integrais de acerola e jambolão e a polpa mista

Parâmetros	Jambolão	Acerola	Mista
Ácido ascórbico <sup>1</sup>	38,34±0,00c	2054,42±0,00a	1014,97±0,00b
Compostos fenólicos totais <sup>2</sup>	188,38±0,23c	1706,84±0,00a	873,36±1,18b
Taninos <sup>3</sup>	189,03±0,20c	1808,46±2,06a	989,50±0,00b
Flavonoides totais <sup>1</sup>	12,14±0,00c	16,16±0,06a	14,26±0,03b
Antocianinas <sup>4</sup>	90,01±0,63a	17,96±0,82c	67,42±1,03b
Carotenoides totais <sup>1</sup>	4,74±0,02a	2,17±0,01c	2,83±0,00b

<sup>1</sup> - mg/100 g; <sup>2</sup> – mg EAG / 100 g; <sup>3</sup> – mg EAT/100 g, <sup>4</sup> - mg equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p \geq 0,05$ ).

O teor de ácido ascórbico no jambolão pode ser considerado um valor médio, sem especial destaque. A polpa mista apresentou valor superior a 1000 mg/100 g mesmo após a combinação com 50% com a polpa de jambolão. Cunha-Santos et al. (2019) encontraram valores de ácido ascórbico igualmente altos, de 1914,6 mg/100 g, em polpa de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) do Peru. Malegori et al. (2017), ao determinarem os teores de ácido ascórbico em acerolas no decorrer do amadurecimento, reportaram valor de 2844 mg/100 g. Souza et al. (2017), a estudando a qualidade pós-colheita de acerolas do clone BRS, tratadas com ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), relataram para a amostra controle teor de vitamina C de 1724 mg/100 g. Babu, Raghavendra e Tamadaddi (2019) verificaram na caracterização de frutos de jambolão a faixa de 25 a 44,67 mg/100 g de ácido ascórbico.

O teor de compostos fenólicos totais (CFT) da acerola se destacou em relação ao jambolão ( $p < 0,05$ ), com valor de CFT nove vezes superior ao do jambolão, conferindo, após mistura, um teor ainda elevado na polpa mista, ou, conforme alguns autores, mediano. De acordo com a classificação sugerida por Vasco; Ruales; Kamal-Eldin (2008), os níveis de compostos fenólicos totais podem ser divididos em três categorias: baixa, quando o conteúdo de polifenóis está abaixo de 500 mg EAG/100 g; intermediário, quando eles variam entre 500 e 2500 mg EAG/100 g; e alta, quando eles são maiores que 2500 mg EAG/100 g. Portanto, as polpas de acerola e mista podem ser classificadas como com teor intermediário de compostos fenólicos totais e a polpa de jambolão como tendo um baixo teor desses compostos.

Farahani et al. (2019), trabalharam com a caracterização química de amoras (*Morus alba*), constatando que os fenólicos totais variaram de 134,7 a 922,6 mg/100 g de massa fresca, enquanto Hosseini et al. (2018) determinaram em frutos de amoreira-preta (*Morus*

*nigra*) compostos fenólicos na faixa de 232,2 a 1777,7 mg/100 g. Em trabalho com cravinho (*Syzygium aromaticum*), Cortés-Rojas, Souza e Oliveira (2014) relataram que os frutos representam uma fonte de compostos fenólicos, com valor médio de 783,5 mg EAG/100 g. Alvarez-Suarez et al. (2017) determinaram em acerolas de Cuba teor de compostos fenólicos totais de 1640 mg/100 g, flavonoides de 37 mg/100 g e antocianinas de 12 mg/100 g. Carvalho et al. (2017) encontraram em frutos de jambolão o conteúdo de 122 mg/100 g de compostos fenólicos totais.

Também no teor de taninos, a acerola apresentou valor muito superior ao do jambolão ( $p < 0,05$ ), superando-o por um fator de 9,6 vezes, de forma que mesmo a polpa mista seja uma fonte de taninos. Tian et al. (2019), em estudo com a polpa de uva Sauvignon Blanc durante o amadurecimento, verificaram que o conteúdo de taninos das amostras estava no intervalo de 143 a 286 mg/100 g, intervalo em que se situa o teor encontrado na polpa de jambolão.

Muniyandi et al. (2019), analisando a três espécies do gênero *Rubus* verificaram teores de taninos na faixa de 829 a 1865 mg/100 g, valores aproximados aos da polpa mista e de acerola, respectivamente.

No teor de flavonoides as polpas integrais e a polpa mista apesar de apresentarem valores próximos, são estatisticamente diferentes, apresentando a acerola um teor 33% maior do que o jambolão.

Zeghad et al. (2019) determinaram o teor de flavonoides em frutos de quatro espécies distintas: em uvas (*Vitis vinífera*), romã (*Punica granatum*), laranja azeda (*Citrus aurantium*) e figo-da-índia (*Opuntia ficus indica*), da Argélia, reportando valores de 1430 mg/100 g, 1290 mg/100 g, 720 mg/100 g e 130 mg/100 g, respectivamente.

Acerola et al. (2019) também determinaram concentrações mais elevadas de flavonoides em cerejas (*Prunus avium* L.) das variedades Van e Pico, com valores de 180,5 e 186,8 mg/100 g, respectivamente.

O jambolão apresentou um teor de antocianinas cinco vezes maior que o valor determinado na acerola. Entre as frutas de consumo tradicional, associadas a cores violáceo-azuladas, as antocianinas estão presentes em uvas e figos, entre outras. Conforme Khandaker et al. (2015) os pigmentos de antocianinas são responsáveis pelas cores vermelha, roxa e azul de muitas frutas, vegetais e flores.

Segundo Patel e Rao (2014), o teor de antocianinas aumenta acentuadamente quando o jambolão está totalmente amadurecido, apresentando cor roxo escuro. Tais autores

relataram maior conteúdo de antocianinas (7,3 mg ECG/100 g) no jambolão amadurecido em relação aos demais estágios de crescimento.

Horvitz, Chanaguano e Arozarena (2017) encontraram em amoras pretas (*Rubus glaucus* Benth) andinas, colhidas no estágio de maturação vermelho claro e armazenadas a frio ( $8 \pm 1$  °C), resultados de antocianinas de 67,1 mg/100 g valor similar ao da polpa mista. Souza et al. (2017) reportaram um teor de antocianinas de 6,80 e 6,31 mg/100 g durante o armazenamento de acerolas do clone BRS 236, tratadas com ácido giberélico (GA<sub>3</sub>).

Pereira et al. (2018), estudando frutos de calabura (*Muntingia calabura* L.) verificaram teores de antocianinas de 17,1 mg/100 g, semelhantes aos encontrados na polpa de acerola.

O teor de carotenoides do jambolão superou em mais de duas vezes o determinado na acerola e polpa mista. Os carotenoides são os precursores da vitamina A, entre estes pode destacar o  $\beta$ -caroteno, a sua quantificação em frutos é utilizada para representar o teor de carotenoides. Os teores de carotenoides tanto do jambolão quanto da acerola estão acima do verificado por Bordiga et al. (2018) na caracterização de caquis cultivados na Itália, durante o amadurecimento, de 1,33 mg/100 g.

Na Tabela 4 são apresentadas a identificação e a concentração dos compostos fenólicos dos extratos das polpas integrais e mista de jambolão e acerola.

O perfil cromatográfico obtido para a polpa de acerola apresentou os principais compostos fenólicos a catequina e o ácido *p*-cumárico; e nas polpas de jambolão e mista a catequina, o ácido 3,4-dihidroxibenzoico, o ácido 4-hidroxibenzoico e o ácido vanílico. Estes compostos fenólicos majoritários representaram mais de 70% do total de fenólicos presentes nas polpas integrais e mista. Os ácidos vanílico e ácido 3,4-dihidroxibenzoico não foram identificados, em valores quantificáveis no extrato de acerola, o mesmo ocorrendo com o ácido salicílico no extrato de jambolão. O ácido cinâmico, ácido salicílico e rutina estão presentes em menores níveis.

A polpa de jambolão apresentou os maiores teores dos todos os compostos ( $p > 0,05$ ), com exceção do ácido *p*-cumárico que se apresentou maior na polpa de acerola. A polpa mista apresentou médias intermediárias entre as amostras analisadas.

Tavares et al. (2016), detectaram cerca de 74 compostos fenólicos nas partes comestíveis do jambolão, incluindo 9 antocianinas, 9 flavonóis, 19 flavanonóis, 8 flavan-3-ol monómeros, 13 galotaninos e 13 elagitaninos, juntamente com algumas proantocianidinas e ácido gálico.

**Tabela 4** - Perfil dos compostos fenólicos presentes nas polpas integrais e mista de jambolão e acerola

Parâmetros (mg/100 g)	Jambolão	Acerola	Mista
<b>Ácidos fenólicos</b>			
Ácido <i>p</i> -cumárico	4,09±0,00b	21,37±0,00a	2,20±0,00c
Ácido 3,4-dihidroxibenzoico	32,75±0,00a	ND	23,14±1,10b
Ácido 4-hidroxibenzoico	39,68±0,00a	1,19±0,00c	35,82±1,45b
Ácido salicílico	ND	9,50±0,00a	6,61±3,12b
Ácido trans cinâmico	2,20±0,00a	1,19±0,00	2,05±0,00b
Ácido vanílico	40,78±1,56a	ND	26,61±0,00b
<b>Total de ácidos fenólicos</b>	<b>119,50±1,02</b>	<b>33,25±1,18</b>	<b>96,43±0,00</b>
<b>Flavonoides</b>			
Catequina	38,54±0,3a	21,96±0,60c	35,27±8,8b
Rutina	5,12±1,00a	2,97±0,60c	4,04±0,00b
<b>Total de flavonoides</b>	<b>43,66±1,37</b>	<b>24,93±1,18</b>	<b>39,31±4,41</b>
<b>Total dos compostos fenólicos</b>	<b>163,16±0,35</b>	<b>58,18±0,00</b>	<b>135,74±4,41</b>

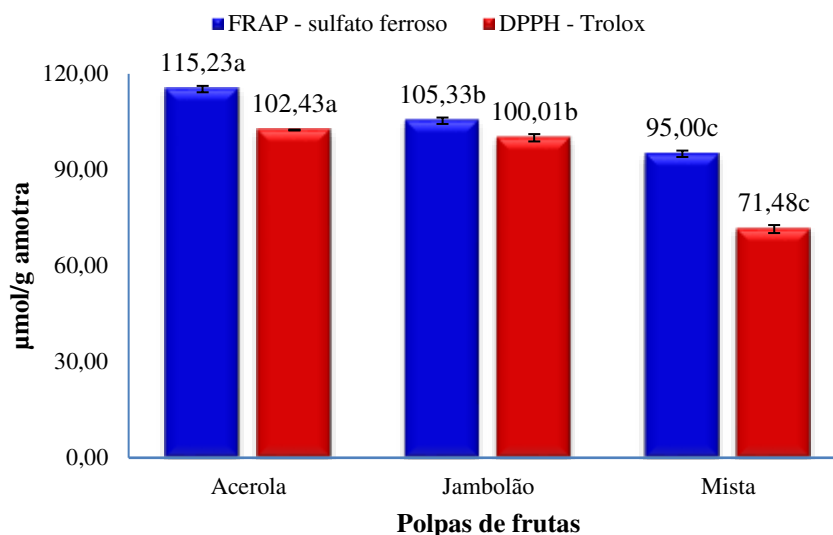
ND – não detectado. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p \geq 0,05$ ).

Seraglio et al. (2018), também identificaram em polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) a catequina, ácido cumárico, ácido salicílico, ácido vanílico e ácido 3,4-dihidroxibenzoico. A concentração da soma de compostos fenólicos verificada pelos autores foi de 11,60 a 22,14 mg/100 g, inferior aos teores verificados nas polpas analisadas no presente trabalho.

Zeghad et al. (2019) encontraram como principais compostos fenólicos os ácidos cumárico, cinâmico, vanílico, rutina e catequina em uvas, romã, laranja azeda (*Citrus aurantium*) e figo-da-índia (*Opuntia ficus indica*).

Pereira et al. (2018) identificaram a concentração de compostos fenólicos em exemplares de calabura (*Muntingia calabura* L.), constatando de um modo geral que os ácidos fenólicos cumárico, vanílico, 4-hidroxibenzoico, hidroxibenzoico e hidroxicinâmicos, foram os mais abundantes em todas as frações fenólicas. Juárez-Trujillo et al. (2018) identificaram e quantificaram os compostos rutina, ácido cumárico, vanílico e 4-hidroxibenzoico em diferentes extratos de polpa de *Randia monantha*.

Os resultados das análises de capacidade antioxidante por DPPH• e FRAP dos extratos das polpas integrais e mista de jambolão e acerola estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1** – Capacidade antioxidante por DPPH e FRAP dos extratos das polpas integrais e mista

A capacidade antioxidante, algumas vezes, pode apresentar resultados reduzidos pela interferência de não refletir todo o potencial antioxidante de uma amostra, de forma que somente combinando os resultados de diferentes ensaios, é possível obter informações de maior confiabilidade sobre a atividade antioxidante dos compostos presentes nas amostras.

O teste por DPPH<sup>\*</sup> indica maior capacidade antioxidante quanto maior for o seu valor, de forma que a polpa de acerola apresentou melhores resultados, seguida pela polpa de jambolão ( $p < 0,05$ ).

No teste FRAP, em que maiores valores indicam maior atividade antioxidante, as polpas isoladas apresentaram melhores resultados, destacando-se a polpa de acerola, cuja maior capacidade de sequestrar os radicais livres DPPH<sup>\*</sup> pode ser atribuída ao alto teor de ácido ascórbico, capaz de reduzir o complexo férrico. A atividade antioxidante das polpas também está relacionada ao conteúdo de fenóis totais e flavonoides totais.

Os resultados deste estudo corroboram com Dong et al. (2019), que identificaram na atividade antioxidante de polpas de limões [*Citrus limon* (L.) Burm. f.], valores pelo método de FRAP de 5,51 a 7,30  $\mu\text{mol/g}$  e DPPH<sup>\*</sup> de 3,48 a 6,04  $\mu\text{mol/g}$ . Xu et al. (2020) mostraram que a acerola possui capacidade de eliminação de DPPH<sup>\*</sup> com 108,66  $\mu\text{M/g}$ . Cruz et al. (2018) em extrato de acerola madura reportaram valor de 1641,72  $\mu\text{mol/100 mL}$  para eliminação do radical DPPH<sup>\*</sup>. Em ensaio FRAP, Seraglio et al. (2018) encontraram valores mais para o jambolão de 13777,52  $\mu\text{mol Fe}^{+2}/100\text{g}$  base seca.

#### 4 Conclusões

Com relação as características físico-químicas a polpa de jambolão apresentou-se menos ácida, com maiores teores de sólidos solúveis e açúcares, lipídios, proteínas e menor pectina que as demais. A cor da polpa de acerola tem maior luminosidade, maior intensidade de vermelho e intensidade de amarelo e o jambolão, assim como a polpa mista tem coordenadas cromáticas vermelha e azul. Em relação ao teor de compostos bioativos, a polpa de acerola apresentou maiores teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, taninos e flavonoides e o jambolão maior teor de antocianinas e carotenoides, apresentando todos os ácidos fenólicos, exceto o salicílico, catequina e rutina em maior quantidade que a acerola.

A polpa mista apresentou características intermediárias às polpas de jambolão e acerola, justificando-se por manter altos teores de compostos bioativos, com a contribuição de ambas as frutas, altos teores de ácido ascórbico, de compostos fenólicos e capacidade antioxidante.

#### 5 Referências bibliográficas

- ACERO, N.; GRADILLAS, A.; BELTRAN, M.; GARCÍA, A.; MUÑOZ MINGARRO, D. Comparison of phenolic compounds profile and antioxidant properties of different sweet cherry (*Prunus avium* L.) varieties. **Food Chemistry**, v. 279, p. 260–271, 2019.
- ALAMAR, P. D.; CARAMÊS, E. T. S.; POPPI, R. J.; PALLONE, J. A. L. Quality evaluation of frozen guava and yellow passion fruit pulps by NIR spectroscopy and chemometrics. **Food Research International**, v. 85, p. 209-214, 2016.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; GIAMPIERI, F.; GASPARRINI, M.; MAZZONI, L.; SANTOS-BUELGA, C., GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; FORBES-HERNENDEZ, T. Y.; AFRIN, S.; PAEZ-WATSON, T.; QUILES-MORALES, J. L.; BATTINO, M. The protective effect of acerola (*Malpighia emarginata*) against oxidative damage in human dermal fibroblasts through the improvement of antioxidant enzyme activity and mitochondrial functionality. **Food & Function**, v. 8, n. 9, p. 3250-3258, 2017.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 20th. ed. Washington: AOAC, 2016. 3100 p.
- ARAÚJO, A. D. A.; COELHO, R. M. D.; FONTES, C. P. M. L.; SILVA, A. R. A.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S. Production and spouted bed drying of acerola juice containing oligosaccharides. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, n. 2, p. 565–571, 2015.

- ARAÚJO, A. P. O.; SANTOS, E. C. C.; DAMASCENO, F. S.; DEBONI, T. M.; CUEVAS, M. S.; MOTA, R. V. Utilização de planejamento experimental no estudo da pasteurização do suco de acerola. **Scientia Plena**, v. 12, n. 6, e069930, 2016.
- BABU, P.; RAGHAVENDRA, S.; TAMADADDI, B. L. Physico-chemical characterization of jamun (*Syzygium cumini* Skeels) seedling genotypes. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 4, p. 300-303, 2019.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.
- BORDIGA, M.; TRAVAGLIA, F.; GIUFFRIDA, D.; MANGRAVITI, D.; RIGANO, F.; MONDELLO, L.; ARLORIO, M.; COÏSSON, J. D. Characterization of peel and pulp proanthocyanidins and carotenoids during ripening in persimmon “Kaki Tipo” cv, cultivated in Italy. **Food Research International**, v. 120, p. 800-809, 2018.
- BORGES, K. C.; BEZERRA, M. D. F.; ROCHA, M. P.; SILVA, E. S. D.; FUJITA, A.; GENOVESE, M.; PINTO, R. T. C. Fresh and spray dried pitanga (*Eugenia uniflora*) and jambolan (*Syzygium cumini*) pulps are natural sources of bioactive compounds with functional attributes. **Journal of Probiotics & Health**, v. 4, n. 2, e1000145, 2016.
- BRANCO, I. G.; MORAES, I. C. F.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MADRONA, G. S.; SANTOS, C.; RUIZ, L. T. G.; CARVALHO, J. E.; HAMINIUK, C. W. I. Influence of pasteurization on antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit pulp. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 225-230, 2016.
- BUCHMANN, G. A. A.; PERES, L. A.; SIMÕES, D. L. V. Avaliação físico-química e microbiológica de biomassa funcional de frutos amazônicos. **Brazilian Journal of health Review**, v. 2, n. 4, p. 2974-2980, 2019.
- CARVALHO, G. G. P.; FERNANDES, F. É. P.; PIRES, A. J. V. Métodos de determinação dos teores de amido e pectina em alimentos para animais. **Revista Eletrônica de Veterinária – REDVET**, v. 7, n. 1, p. 10-11, 2006.
- CARVALHO, A.V.; MATTIETTO, R.A.; BECKMAN, J.C. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, e2016023, 2017.
- CARVALHO, T. I. M.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32-42, 2017.

- CHEN, Y.; MARTYNENKO, A. Storage stability of cranberry puree products processed with hydrothermodynamic (HTD) technology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 79, p. 543-553, 2017.
- COELHO, B. E. S.; DUARTE, V. M.; SILVA, L. F. M.; SOUSA, K. S. M.; FIGUEIREDO NETO, A. Atributos físico-químicos de frutos de laranja 'Pêra' produzidos sob sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 128-137, 2019.
- COELHO, E. M.; AZEVÊDO, L. C.; CORRÊA, L. C.; BORDIGNON-LUZ, M. T.; LIMA, M. S. Phenolic profile, organic acids and antioxidant activity of frozen pulp and juice of the jambolan (*Syzygium cumini*). **Journal of Food Biochemistry**, v. 40, n. 2, p. 211-219. 2016.
- COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PALLET, J. P. D.; MONTE, D. C. Quantificação do teor de antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações de açazeiro. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2006. 15 p.
- CORTÉS-ROJAS, D. F.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Clove (*Syzygium aromaticum*): a precious spice. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v.4, n. 2, p. 90-96, 2014.
- CRUZ, R. G.; BENEY, L.; GERVAIS, P.; LIRA, S. P.; VIEIRA, T. M. F. S.; DUPONT, S. Comparison of the antioxidant property of acerola extracts with synthetic antioxidants using an in vivo method with yeasts. **Food Chemistry**, v. 277, p. 698-705, 2018.
- CUNHA-SANTOS, E. C. E.; VIGANÓ, J.; NEVES, D. A.; MARTÍNEZ, J.; GODOY, H. T. Vitamin C in camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh]: Evaluation of extraction and analytical methods. **Food Research International**, v. 115, p. 160-166, 2019.
- DONADO-PESTANA, C. M.; MOURA, M. H. C.; ARAUJO, R. L.; SANTIAGO, G. L.; BARROS, H. R. M.; GENOVESE, M. I. Polyphenols from razilian native Myrtaceae fruits and their potential health benefits against obesity and its associated complications. **Current Opinion in Food Science**, v. 19, p. 42-49, 2018.
- DONG, X.; HU, Y.; LI, Y.; ZHOU, Z. The maturity degree, phenolic compounds and antioxidant activity of Eureka lemon [*Citrus limon* (L.) Burm. f.]: A negative correlation between total phenolic content, antioxidant capacity and soluble solid content. **Scientia Horticulturae**, v. 243, n. 2, p. 281-289, 2019.
- FARAHANI, M.; SALEHI-ARJMAND, H.; KHADIVI, A.; AKRAMIAN, M. Chemical characterization and antioxidant activities of *Morus alba* var. *nigra* fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 120-127, 2019.



- FARIA, A. F.; MARQUES, M. C.; MERCADANTE, A. Z. Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. **Food Chemistry**, v. 126, n. 4, p. 1571-1578, 2011.
- FARIAS, L. L.; LOSS, R. A.; SILVA, S. S.; PUTON, B. M. S.; PAROUL, N.; CANSIAN, R. L.; GUEDES, S. F. Potencial antimicrobiano e avaliação físico-química da casca, polpa e biomassa do noni (*Morinda citrifolia* Linn). **Global Science Technology**, v. 11, n. 2, p. 247-255, 2018.
- FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.
- GAJERA, H. P.; GEVARIYA, S. N.; PATEL, S. V.; GOLAKIYA, B. A. Nutritional profile and molecular fingerprints of indigenous black jamun (*Syzygium cumini* L.) landraces. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 2, p. 730-739, 2018.
- GLICERINA, V.; TYLEWICZ, U.; CANALI, G.; SIROLI, L.; ROSA, M. D.; LANCIOTTI, R.; ROMANI, S. Influence of two different cocoa-based coatings on quality characteristics of fresh-cut fruits during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 101, p. 152-160, 2018.
- GUAVITA-VARGAS, J.; AVELLANEDA-TORRES, L. M.; SOLARTE, M. E.; MELGAREJO, L. M. Carotenoides, clorofilas y pectinas durante la maduración de variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) de Santander, Colombia. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 12, n. 2, p. 379-389, 2018.
- HEMAVATHI, G. N.; PATIL, S. V.; SWAMY, G. S. K.; SHANKRAPP, T. H.; TULSIRAM, K. Effect of zinc and boron on physical parameters of fruit, seed and quality of jamun (*Syzygium cumini* Skeels). **International Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 1, p. 2410-2413, 2019.
- HOFFMANN, J. F.; ZANDONÁ, G. P.; SANTOS, P. S.; DALLMANN, C. M.; MADRUGA, F. B.; ROMBALDI, C. V.; CHAVES, F. C. Stability of bioactive compounds in butiá (*Butia odorata*) fruit pulp and nectar. **Food Chemistry**, v. 237, p. 638-644, 2017.
- HORVITZ, S.; CHANAGUANO, D.; AROZARENA, I. Andean blackberries (*Rubus glaucus* Benth) quality as affected by harvest maturity and storage conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 293-301, 2017.
- HOSSEINI, A.-S.; AKRAMIAN, M.; KHADIVI, A.; SALEHI-ARJMAND, H. Phenotypic and chemical variation of black mulberry (*Morus nigra*) genotypes. **Industrial Crops and Products**, v. 117, n. 1, p. 260-271, 2018.

- JAESCHKE, D. P.; MARCZAK, L. D. F.; MERCALI, G. D. Evaluation of non-thermal effects of electricity on ascorbic acid and carotenoid degradation in acerola pulp during ohmic heating. **Food Chemistry**, v. 199, p. 128-134, 2016.
- JUÁREZ-TRUJILLO, N.; MONRIBOT-VILLANUEVA, J. L.; ALVARADO-OLIVAREZ, M.; LUNA-SOLANO, G.; GUERRERO-ANALCO, J. A.; JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ, M. Phenolic profile and antioxidative properties of pulp and seeds of *Randia monantha* Benth. **Industrial Crops and Products**, v. 124, p. 53-58, 2018.
- JUNQUEIRA, P. R.; CARDOSO, M. G.; VILAS BOAS, E. V. B.; PEREIRA, R. J. Aspectos de qualidade e composição centesimal dos frutos de *Syzygium cumini* (L.) Skeels e *Syzygium paniculatum* Gaertn. **Revista Cereus**, v. 7, n. 1, p. 60-74, 2015.
- KHALID, S.; MALIK, A. U.; KHAN, A. S.; KHAN, M. N.; ULLAH, M. I.; ABBAS, T.; KHALID, M. S. Tree age and fruit size in relation to postharvest respiration and quality changes in “Kinnow” mandarin fruit under ambient storage. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 183-192, 2017.
- KHANDAKER, M. M.; ALEBIDI, A. I.; HOSSAIN, A. B. M. S.; MAT, N.; BOYCE, A. N. Physiological and biochemical properties of three cultivars of wax apple (*Syzygium samarangense* [Blume] Merrill & L.M. Perry) fruits. **Journal of Sustainability Science and Management**, v. 10, n. 1, p. 66-75, 2015.
- LEMONS, D. M.; ROCHA, A. P. T.; GOUVEIA, J. P. G.; OLIVEIRA, E. N. A.; SOUSA, E. P.; SILVA, S. F. Elaboration and characterization of jaboticaba and acerola prebiotic jelly. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018098, 2019.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. **Methods in enzymology**. London: Academic Press, 1987. v. 148, p. 350-382.
- MAGALHÃES, D. S.; RUFINI, J. C. M.; FAGUNDES, M. C. P.; ALBUQUERQUE, A. S.; RAMOS, M. C. P. Análise descritiva e dissimilaridade genética entre acessos de aceroleiras. **Scientific Electronic Archives**, v. 11, n. 6, p. 10-16, 2018.
- MAGALHÃES, D. S.; RAMOS, J. D.; PIO, L. A. S.; VILAS BOAS, E. V. B.; PASQUAL, M.; RODRIGUES, F. A.; RUFINIC, J. C. M.; SANTOS, V. A. Physical and physicochemical modifications of white-fleshed pitaya throughout its development. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 537-543, 2019.
- MAJERSKA, J.; MICHALSKA, A.; FIGIEL, A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 88, p. 207-219, 2019.

- MALEGORI, C.; NASCIMENTO MARQUES, E. J.; FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUINI, C.; CASIRAGHI, E. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. **Talanta**, v. 165, p. 112–116, 2017.
- NAZARENO, L. S. Q.; ACEVEDO, A. K. O. S.; CARDOSO, E. R. C. Characterization and quality assessment of frozen tropical fruit pulp. **Revista Agro@ambiente**, v. 13, p. 287-294, 2019.
- MARIANO-NASSER, F. A. C.; NASSER, M. D.; FURLANETO, K. A.; RAMOS, J. A.; VIEITES, R. L.; PAGLIARINI, M. K. Bioactive compounds in different acerola fruit cultivares. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2505-2514, 2017.
- MEIRELES, B. R. L. A. **Potencial nutricional e antioxidante do fruto do catolé (*Syagrus Cearensis*)**. 2017. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. João Pessoa – PB, 2017.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MONTEIRO, S. S.; RIBEIRO, S. R.; SOQUETTA, M. B.; PIRES, F. J.; WAGNER, R.; ROSA, C. S. Evaluation of the chemical, sensory and volatile composition of sapota-do-Solimões pulp at different ripening stages. **Food Research International**, v. 109, p. 159-167, 2018.
- MUNIYANDI, K.; GEORGE, E.; SATHYANARAYANAN, S.; GEORGE, B. P.; ABRAHAMSE, H.; THAMBURAJ, S.; THANGARAJ, P. Phenolics, tannins, flavonoids and anthocyanins contents influenced antioxidant and anticancer activities of Rubus fruits from Western Ghats, India. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, p. 73-81, 2019.
- MUSSI, L. P.; GUIMARÃES, A. O.; FERREIRA, K. S.; PEREIRA, N. R. Spouted bed drying of jambolão (*Syzygium cumini*) residue: Drying kinetics and effect on the antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 80-88, 2015.
- NEVES, C. G.; AMARAL, D. O. J.; PAULA, M. F. B.; NASCIMENTO, L. S.; COSTANTINO, G.; PASSOS, O. S.; SANTOS, M. A.; OLLITRAULT, P.; GESTEIRA, A. S.; LURO, F.; MICHELI, F. Characterization of tropical mandarin collection: Implications for breeding related to fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 289-299, 2018.
- NÓBREGA, E. M.; OLIVEIRA, E. L.; GENOVESE, M. I.; CORREIA, R. T. P. The impact of hot air drying on the physical-chemical characteristics, bioactive compounds and

- antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 2, p. 131-141, 2014.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.
- OLIVEIRA-FOLADOR, G.; BICUDO, M. O.; ANDRADE, E. F.; RENARD, C. M.-G. C.; BUREAU, S.; CASTILHOS, F. Quality traits prediction of the passion fruit pulp using NIR and MIR spectroscopy. **LWT- Food Science and Technology**, v. 95, p. 172-178, 2018.
- OLIVEIRA, R. G.; GODOY, H. T.; PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 244-249, 2010.
- PALONEN, P.; WEBER, C. Fruit color stability, anthocyanin content, and shelf life were not correlated with ethylene production rate in five primocane raspberry genotypes. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 9-16, 2019.
- PATEL, P. R.; RAO, T. V. R. Growth and ripening in black plum [*Syzygium cumini* (L.) Skeels]. **International Journal of Fruit Science**, v. 14, n. 2, p. 147-156, 2014.
- PEREIRA, G. A.; ARRUDA, H. S.; MORAIS, D. R.; EBERLIN, M. N.; PASTORE, G. M. Carbohydrates, volatile and phenolic compounds composition, and antioxidant activity of calabura (*Muntingia calabura* L.) fruit. **Food Research International**, v. 108, p. 264-273, 2018.
- PÉROUMAL, A.; ADENET, S.; ROCHEFORT, K.; FAHRASMANE, L.; AURORE, G. Variability of traits and bioactive compounds in the fruit and pulp of six mamey apple (*Mammea americana* L.) accessions. **Food Chemistry**, v. 234, p. 269-275, 2017.
- PORTER, L. H.; HRSTICH, L.N.; CHAN, B. C. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, n. 1, p. 223-230, 1986.
- PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: A review on latest frontiers. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 3373-3384, 2018.
- PRAKASH, A.; PRABHUDEV, S. H.; VIJAYALAKSHMI, M. R.; PRAKASH, M.; BASKARAN, R. Implication of processing and differential blending on quality characteristics in nutritionally enriched ketchup (Nutri-Ketchup) from acerola and tomato. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 8, p. 3175-3185, 2016.
- REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A.V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 10, e2015083, 2017.

- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Comunicado técnico - Embrapa Agroindústria Tropical**, v. 125, p. 1-4, 2006.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico – Embrapa Agroindústria Tropical**, v. 127, p. 1-4, 2007.
- SABINO, L. B. S.; BRITO, E. S.; SILVA JÚNIOR, I. J. Jambolan - *Syzygium jambolanum*. In: RODRIGUES, S.; SILVA, E. O.; BRITO, E. S. **Exotic fruits: reference guide**. 1ed. Cambridge: Academic Press, 2018, p. 251-256.
- SANDRI, D. D. O.; XISTO, A. L. R. P.; RODRIGUES, E. C.; MORAIS, E. C. D.; BARROS, W. M. D. Antioxidant activity and physicochemical characteristics of buriti pulp (*mauritia flexuosa*) collected in the city of diamantino – mts1. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 3, e864, 2017.
- SAURABH, V.; BARMAN, K.; SINGH, A. K. Synergistic effect of salicylic acid and chitosan on postharvest life and quality attributes of jamun (*Syzygium cumini* Skeels) fruit. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n. 6, p. 89, 2019.
- SCHIASSI, M. C. E. V.; SOUZA, V. R.; LAGO, A. M. T.; CAMPOS, L. G.; QUEIROZ, F. Fruits from the Brazilian Cerrado region: physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food Chemistry**, v. 245, p. 305-311, 2018.
- SERAGLIO, S. K. T.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; BETTA, F. D.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Determinação de compostos fenólicos por LC-MS/MS e capacidade antioxidante de acerola em três estádios de maturação comestíveis. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos – CSBEA**, v. 4, n. 1, p. 96-110, 2018.
- SERAGLIO, K. T. S.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; DELLA BETTA, F.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649-656, 2018.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

- SILVA, L. B.; QUEIROZ, M. B.; FADINI, A. L.; FONSECA, R. C. C.; GERMER, S. P. M.; EFRAIM, P. Chewy candy as a model system to study the influence of polyols and fruit pulp (açai) on texture and sensorial properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 268-274, 2016.
- SILVA, V. M. A.; SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; RIBEIRO, V. H. A.; SILVA, L. R. I.; QUEIROGA, A. P. R.; NOGUEIRA, H. C. N. Efeito do tempo e temperatura do ultrassom na cor instrumental da polpa de jambolão (*Syzygium jambolanum*). In: FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. M. A.; SANTOS, N. C. **Estudos e Inovações na Engenharia e Agronomia**. Campina Grande: EPTEC, 2020. v. 2, cap. 4, p. 31-35.
- SOARES, A. C.; PEREIRA, N. R. Secagem da polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) em secador de leite de jorro: efeito da clara de ovo como agente carreador de secagem na qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019075, 2020.
- SOUSA, Y. A.; BORGES, M. A.; VIANA, A. F. S.; DIAS, A. L.; SOUSA, J. J. V.; SILVA, B. A.; SILVA, S. K. R. S.; AGUIAR, F. S. Avaliação físico-química e microbiológica de polpas de frutas congeladas comercializadas em Santarém-PA. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 23, e2018085, 2020.
- SOUZA, K. O.; MOURA, C. F. H.; LOPES, M. M. A.; RABELO, M. C.; MIRANDA, M. R. A. Quality of acerola (*Malpighia emarginata*) treated with gibberelic acid and stored under refrigeration. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 4, e574, 2017.
- SOUZA, J. F.; SANTANA, E. A.; SILVA, A. S. S.; SOUZA, A. C. F. Avaliação físico-química de acerola, *Malpighia emarginata* DC., proveniente de Macapá-Amapá. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 16, n. 2, p. 156-176, 2020.
- SUPAPVANICH, S.; MITSANG, P.; YOURYON, P. Preharvest salicylic acid application maintains physicochemical quality of “Taaptimjaan” wax apple fruit (*Syzygium samarangense*) during short-term storage. **Scientia Horticulturae**, v. 215, p. 178-183, 2017.
- TAVARES, I. M. C.; LAGO-VANZELA, E. S.; REBELLO, L. P. G.; RAMOS, A. M., GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E.; SILVA, R.S.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, v. 82, p. 1-13, 2016.
- TIAN, B.; HARRISON, R.; MORTON, J.; JASPERS, M. Changes in pathogenesis-related proteins and phenolics in *Vitis vinifera* L. cv. “Sauvignon Blanc” grape skin and pulp during ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 78-83, 2019.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 816-823, 2008.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

XU, M.; SHEN, C.; ZHENG, H.; XU, Y.; XUE, C.; ZHU, B.; HU, J. Metabolomic analysis of acerola cherry (*Malpighia emarginata*) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity. **Food Research International**, v. 130, 108915, 2020.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-515, 1954.

ZEGHAD, N.; AHMED, E.; BELKHIRI, A.; HEYDEN, Y. V.; DEMEYER, K. Antioxidant activity of *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Citrus aurantium* and *Opuntia ficus indica* fruits cultivated in Algeria. **Heliyon**, v. 5, n. 4, e01575, 2019.

## ARTIGO 2 - FORMULAÇÕES DE POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA PARA O PROCESSO DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

### Resumo

O jambolão é uma fruta com sabor doce, levemente amargo e adstringente, de coloração arroxeada. A acerola é uma fruta popular no Brasil, rica em vitamina C. Ambas se destacam pelo alto teor de compostos antioxidantes, cuja importância tem gerado interesse crescente. Diante disto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de se elaborar formulações com a polpa mista de jambolão e acerola, incorporar aditivos promotores de espuma para secagem pelo método de secagem em camada de espuma e avaliá-las quanto ao tempo de batimento, densidade, expansão volumétrica (*overrun*) e estabilidade da espuma em função do tempo de batimento e características físico-químicas. Foram elaboradas três formulações com a polpa mista, todas contendo 1% de albumina combinada com 0,5% de goma xantana (F1), 0,5% de carboximetilcelulose - CMC (F2) e 0,5% de goma guar (F3). As formulações foram analisadas quanto à estabilidade, densidade, expansão volumétrica (*overrun*), tempo de batimento, entre 5 e 30 minutos, espessura de camada, teor de água e volume drenado sob temperaturas de 50 a 80 °C. As formulações foram avaliadas quanto às características físico-químicas e compostos bioativos. Todas as espumas elaboradas apresentaram-se adequadas para secagem pelo processo em camada de espuma; os melhores resultados de densidade, tempo de batimento, *overrun*, estabilidade (volume drenado), tempo de secagem e rendimento foram obtidos com a combinação albumina/goma guar, seguida por albumina/CMC; a incorporação dos aditivos e o batimento para formação de espuma alteraram a composição das formulações em relação à polpa mista (controle), elevando a razão SST/ATT, o teor de proteínas e reduzindo os teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos, taninos, flavonoides e carotenoides, rendimento, menor tempo de secagem, teor de água em base seca (%) e base úmida (%).

**Palavras-chave:** *Syzygium cumini*; *Malpighia emarginata*; secagem em leito de espuma; carboximetilcelulose; goma; xantana; guar.

### Abstract

Jambolão is a fruit with a sweet, slightly bitter and astringent flavor, with a purple color. Acerola is a popular fruit in Brazil, rich in vitamin C. Both stand out for their high content of antioxidant compounds, whose importance has generated growing interest. In view of this, the present work performed had the objective of elaborating formulations with the mixed pulp of jambolão and acerola, incorporating foam-promoting additives for drying by the foam layer drying method and evaluating them for the beat time, density, volumetric expansion (*overrun*) and foam stability in function of the beat time and physicochemical characteristics. The three formulations made with the mixed pulp, contain 1% albumin combined with 0.5% xanthan gum (F1), 0.5% carboxymethylcellulose - CMC (F2) and 0.5% guar gum (F3). The formulations were analyzed for stability, density, volume expansion (*overrun*), beating time, between 5 and 30 minutes, layer thickness, water content and volume drained at temperatures of 50 to 80 °C. The formulations evaluated the physical-chemical characteristics and bioactive compounds. All the elaborated foams were suitable for drying by the foam layer process; the best results of density, beating time, *overrun*, stability (volume drained), drying time and yield obtained from the albumin/guar gum combination, followed by albumin/CMC. The incorporation of additives and the foaming mixture changed the composition of the formulations in relation to the mixed pulp (control), increasing the SST/ATT ratio, the protein content and reducing the levels of ascorbic acid,



phenolic compounds, tannins, flavonoids and carotenoids, yield, shorter drying time, water content in dry base (%) and wet base (%).

**Keywords:** *Syzygium cumini*; *Malpighia emarginata*; foam mat drying; carboxymethylcellulose; gum; xanthan; guar.

## 1 Introdução

A demanda do consumidor por alimentos saudáveis tem levado a agroindústria de frutas a ampliar sua oferta com vistas a atender a esse novo mercado, que tem como exigência, além da palatabilidade, a capacidade dos produtos de suprir os requisitos nutricionais. A classe dos princípios bioativos, característica de polpas de frutas, possui, conforme Chhikara et al. (2019) a capacidade de eliminar os radicais livres de oxigênio, e assim proteger as células do estresse oxidativo.

O jambolão (*Syzygium cumini* L.) é uma árvore que teve sua origem na Ásia tropical, especificamente na Índia, África Oriental e América do Sul (SERAGLIO et al., 2018). O fruto, quando maduro, tem uma cor púrpura brilhante, combinação de sabor doce, suavemente amargo e aromático (BALIGA et al., 2011). Possui macro e micronutrientes, e compostos bioativos relacionados aos pigmentos fenólicos (PANGHAL et al., 2019).

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) é uma fruta tropical originária da América Central e do Sul, também conhecida como cereja de Barbados, rica em vitamina C e compostos bioativos (NOGUEIRA et al., 2019). O Brasil é considerado um grande produtor de acerola na América do Sul, favorecido pelas suas características edafoclimáticas (MALEGORI et al., 2017).

Tanto o jambolão quanto a acerola são frutas altamente perecíveis, com cascas finas e delicadas, que se rompem facilmente e precisam ser submetidas a processo de conservação para se obter produtos com um bom alcance de comercialização. O processamento de frutas transformando-as em produtos secos é uma estratégia que permite torná-las disponíveis durante todo o ano, conservá-las por prazos longos, bem como reduzir as perdas pós-colheita (CHHIKARA et al., 2018).

A secagem em camada de espuma (*foam mat drying*) é uma técnica de secagem utilizada em alimentos sensíveis ao calor, viscosos e com altos níveis de açúcar, como polpas e sucos de frutas. A eficiência deste método é explicada em razão das bolhas de ar aumentarem a área de superfície interna, criando uma estrutura menos resistente ao

transporte de massa de vapor de água, que propicia redução da temperatura e do tempo de desidratação (FREITAS et al., 2018).

Neste método, os alimentos líquidos ou semilíquidos são batidos mecanicamente até a formação de uma espuma, em seguida a espuma é submetida a secagem para produzir alimentos em pó.

Para obter uma espuma estável, vários agentes espumantes e estabilizantes, como albumina de ovo, isolado de proteína de soja, metilcelulose, proteínas do leite, entre outros, têm sido utilizados (ABBASI; AZIZPOUR, 2016). Os agentes de formação da espuma podem ajudar a evitar o colapso da bolha durante a secagem e aumentar a temperatura de transição vítrea da amostra (OZCELIK et al., 2019).

Para as secagens em camada de espuma, diferentes parâmetros como temperatura de secagem, concentração e natureza do agente de expansão, quantidade de ar aprisionado, tamanho e distribuição das bolhas, tensão superficial, tempo de agitação requerido, densidade, espessura da camada de espuma e sua composição devem ser levados em consideração, com vistas em atender a qualidade do produto final (HARDY; JIDEANI, 2015).

A densidade da espuma é um parâmetro que identifica a aptidão do material para a desidratação. Baixa densidade de espuma significa mais ar incorporado dentro da estrutura. A densidade é geralmente usada para avaliar o melhor tempo de agitação, já que períodos menores ou acima do tempo ideal tem efeitos negativos na textura e estabilidade da espuma. Espumas de baixa densidade são mais estáveis e podem ser mais facilmente secas a baixas temperaturas (DABESTANI; YEGANEHZAD, 2018).

Expansão volumétrica ou *overrun* é uma medida da incorporação de ar na fase contínua. Espumas com maior fração de ar são consideradas mais estáveis. À medida que a quantidade de ar cresce a expansão da espuma também aumenta. A quantidade máxima de fração de ar pode ser utilizada para determinar a concentração ideal do agente espumante. Além disso, as propriedades dos aditivos são geralmente avaliadas pela capacidade de formação da espuma (DEHGHANNYA et al., 2018), além da sua estabilidade.

A estabilidade da espuma é a sua capacidade de manter o ar durante certo período de tempo. Uma técnica para verificar a estabilidade é medindo o volume de drenagem de líquido. A estabilidade final da espuma aumenta à medida que a drenagem diminui. Espumas que são termicamente estáveis podem manter sua estrutura porosa, preservar a cor, a textura, o sabor e conferir boa reidratação ao produto final (BUCHMANN et al., 2019).

Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo elaborar espumas a partir de formulações com a polpa mista de jambolão e acerola e aditivos, avaliá-las quanto às características físicas, físico-químicas e compostos bioativos e determinar o tempo de agitação e espessura de camada.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Matérias-primas

Foram utilizados exemplares maduros de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), coletados no município de Macaíba, estado do Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m). Foram selecionados, lavados, sanitizados por imersão em água clorada (50 ppm) durante 15 min e enxaguados em água corrente.

O despulpamento foi realizado em despulpadora horizontal (Itametal®, modelo compacta, Itabuna, BA, Brasil), com peneira com malha de 4 mm de abertura, seguido de refinamento em peneira com malha de 2 mm de abertura para eliminar pequenas frações de resíduos. Posteriormente, ambas as polpas foram envasadas em embalagens de polietileno e armazenadas em freezer a -18 °C.

### 2.2 Preparo das formulações e espumas

As polpas de jambolão e acerola foram descongeladas e elaboradas a polpa mista de jambolão e acerola integral misturando-se partes iguais das duas polpas (1:1 m/m) homogeneizando-as em liquidificador doméstico durante 1 minuto.

O aditivo utilizado como agente formador de espuma nas formulações foi albumina (Infinity Pharma®, Campinas, SP, Brasil) e como estabilizantes, carboximetilcelulose (CMC) (Neon®, Suzano, SP, Brasil), goma guar (GastronomyLab®, Brasília, DF, Brasil) e goma xantana (GastronomyLab®, Brasília, DF, Brasil).

Três formulações foram preparadas com a polpa mista e os aditivos: F1 (polpa mista + 1,0% albumina + 0,5% goma xantana); F2 (polpa mista + 1,0% albumina + 0,5% CMC); F3 (polpa mista + 1,0% albumina + 0,5% goma guar). As formulações foram batidas nos tempos de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min em batedeira planetária na velocidade máxima (Arno®, Deluxe, 300 W, Itaitiaia, RJ, Brasil) para formar as espumas.

## 2.3 Propriedades físicas das espumas

### 2.3.1 Densidade

As densidades das espumas, em triplicata, para os tempos de batimento de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, foram determinadas pela relação entre a massa e o volume da espuma, colocada em um picnômetro de alumínio de 100 mL ( $25 \pm 1$  °C). O picnômetro foi preenchido até o menisco com a espuma e pesado à temperatura ambiente. Os resultados foram expressos em  $\text{g/cm}^3$ .

### 2.3.2 Expansão volumétrica (*overrun*)

A expansão volumétrica está relacionada com a quantidade de ar introduzido em uma solução, sendo determinada pelo aumento de volume da espuma. Foi calculada para os tempos de batimento, considerando-se a densidade da polpa mista e da espuma de acordo com a Equação 1 (ASOKAPANDIAN et al., 2015).

$$\text{Overrun} = \frac{\rho_p - \rho_e}{\rho_e} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

*Overrun* – expansão volumétrica (%)

$\rho_p$  – densidade da polpa mista ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_e$  – densidade da espuma ( $\text{g/cm}^3$ ).

### 2.3.3 Estabilidade das espumas

O teste de estabilidade consiste em avaliar o volume de líquido drenado da espuma. A estabilidade das espumas para cada formulação foi determinada, em triplicata, segundo a técnica descrita por Karim e Wai (1999), para cada tempo de batimento. Foi montado um sistema constituído de proveta de 25 mL, funil de vidro de haste curta de 50 mL e filtro de nylon.

Colocou-se 15 g da espuma no filtro do sistema e levado o conjunto para estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, efetuando-se a medida do volume de líquido drenado após 90 min. Os dados obtidos foram utilizados para construir as

curvas de volume drenado (mL) em função do tempo (min), em que a maior estabilidade é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado na proveta.

#### **2.4 Análises físico-químicas e compostos bioativos da polpa mista e das espumas**

As análises físico-químicas e compostos bioativos foram realizados, em quadruplicata, na polpa mista e nas espumas e expressos em base úmida.

Seguindo as metodologias recomendadas pela AOAC (2016), foram determinados pH (Tecnal, modelo TEC-2, Piracicaba, SP, Brasil), acidez total titulável (ATT), por titulação potenciométrica com NaOH 0,1 M padronizado até a solução atingir pH = 8,2-8,4 (g ácido cítrico/100 g), sólidos solúveis totais – SST (°Brix), teor de água (g/100 g), por gravimetria, utilizando estufa convencional a 105 °C até massa constante, cinzas obtida pela calcinação em mufla a 550 °C e proteínas, pelo método de micro “Kjeldahl”. A razão SST/ATT foi estimada pelo quociente dos valores de sólidos solúveis totais e acidez total titulável.

As medidas da atividade de água ( $a_w$ ) foram determinadas por leitura direta a 25 °C em higrômetro Aqualab 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA).

O teor total de açúcares solúveis foi medido pelo método de antrona (YEMM; WILLIS, 1954). As leituras de absorvância foram obtidas a 620 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão, na concentração de 100 µg/mL. O conteúdo de açúcares redutores foi quantificado pelo método colorimétrico, usando ácido 3,5-dinitrosalicílico (MILLER, 1959) com as leituras de absorvância realizadas a 540 nm em espectrofotômetro e os resultados expressos em g/100 g bu. A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão na concentração de 2,5 µM/mL.

A determinação do ácido ascórbico foi realizada de acordo com o protocolo de Oliveira, Godoy e Prado (2010), por titulação com 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI). O resultado foi expresso em mg/100 g bu.

O teor total de fenólicos nas amostras foi quantificado pelo método espectrofotométrico com Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006). As leituras de absorvância foram obtidas a 765 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em mg EAG (equivalente de ácido gálico)/100 g bu. A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico na concentração de 100 µg/mL.

A concentração de taninos totais foi quantificada pelo método de Porter, Hrstich e Chan (1986), utilizando-se Folin-Denis como reagente. As leituras foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 765 nm. A curva padrão foi construída com solução padrão de ácido tânico a 0,1 mg/mL e os resultados expressos em mg EAT (equivalente de ácido tânico)/100 g bu.

O método pela diferença de pH foi utilizado para medir o teor total de antocianinas (COHEN et al., 2006). Duas diluições da mesma amostra foram feitas em soluções tampão de pH = 1 (cloreto de potássio 0,025 M) e pH = 4,5 (acetato de sódio 0,4 M). O extrato foi produzido com solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. A absorbância de cada diluição foi medida a  $\lambda = 510$  e 700 nm contra um branco de água destilada usando um espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil), após 24 horas de repouso em refrigeração ( $8 \pm 1$  °C) e os resultados expressos em mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g bu.

Os flavonoides totais foram estabelecidos segundo método descrito por Francis (1982). No qual, o extrato foi produzido com solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. As leituras das absorbâncias foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 374 nm, após 24 horas de repouso em refrigeração ( $8 \pm 1$  °C). A concentração de flavonoides foi expressa em mg/100 g bu.

Os carotenoides totais foram estimados conforme metodologia descrita por Lichtenthaler (1987). Utilizando-se acetona como solvente, sendo as amostras lidas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) no comprimento de onda de 470 nm para carotenoides. Os resultados foram expressos em mg/100 g bu.

## **2.5 Avaliação da espessura da camada de espuma**

As espumas das formulações F1, F2 e F3, em triplicata, foram espalhadas em bandejas de aço inoxidável em camadas com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 1,0 m/s (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil).

A perda de água durante a secagem foi acompanhada por meio da pesagem das bandejas em intervalos regulares de tempo, até que pesagens sucessivas não apresentassem variação de massa. Após o processo de secagem as amostras secas foram raspadas, com espátula, das bandejas, com espátula, das bandejas, trituradas em mini processador (Mallory,

modelo Oggi<sup>+</sup>, Maranguape, CE, Brasil) e calculadas o teor de água, em estufa a 105 °C até massa constante, e o rendimento do pó (Equação 2).

$$R = \frac{(P_f - P_i)}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

R – rendimento (% m/m)

P<sub>f</sub> - massa da amostra seca (g);

P<sub>i</sub> - massa da espuma (g).

A seleção da melhor espessura da camada da espuma para a secagem foi avaliada mediante os valores do rendimento, teor de água e tempo de secagem de cada formulação.

## 2.6 Análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 6 (3 formulações e 6 tempos de batimento) com três repetições para as análises de densidade e expansão volumétrica (*overrun*).

As análises dos parâmetros físico-químicos e compostos bioativos foram realizados em triplicata e os dados submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Propriedades físicas das espumas

#### 3.1.1 Densidade

A densidade média da polpa mista de jambolão e acerola foi igual a 1,04 ± 0,01 g/cm<sup>3</sup>, sendo semelhante à da polpa de acerola com 1,038 g/cm<sup>3</sup> (MATTOS; MEDEROS, 2008) e ao fruto de jambolão de 1,04 g/cm<sup>3</sup> (SOARES, 2015).

As densidades das espumas das formulações em função do tempo de batimento são mostradas na Tabela 1.

As médias das densidades variaram significativamente entre as formulações e entre os tempos de agitação. Observou-se que a espuma F3 (polpa mista + 1% de albumina + 0,5% goma guar), dentre as formulações testadas, apresentou as menores densidades em todos os tempos de batimento, com o menor valor no tempo de 5 minutos de agitação ( $p < 0,05$ ). Para a espuma F2 a menor densidade ocorreu após 20 minutos de agitação e para F1 após 30 minutos. Industrialmente, menores tempos de batimento são desejáveis por conduzirem a maior produtividade e menores gastos energéticos.

**Tabela 1** – Valores médios da densidade das espumas das formulações (F1; F2 e F3) em função do tempo de batimento

Tempo de batimento (min)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		
	F1	F2	F3
5	0,81±0,01aA	0,78±0,00aB	0,21±0,00dC
10	0,74±0,01bA	0,63±0,01bB	0,24±0,00cC
15	0,72±0,00cA	0,52±0,01cB	0,30±0,01bC
20	0,55±0,00dA	0,39±0,00fB	0,30±0,01bC
25	0,55±0,01dA	0,41±0,01eB	0,31±0,01bC
30	0,47±0,01eB	0,50±0,01dA	0,34±0,00aC

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV – Coeficiente de variação

DMS para colunas = 0,01; DMS para linhas = 0,01; MG = 0,49 g/cm<sup>3</sup>; CV = 1,41%

Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

Para Soares et al. (2001), os valores de densidade considerados ideais para a secagem em camada de espuma estão entre 0,1 e 0,6 g/cm<sup>3</sup>, pois espuma com menor densidade permanece estável por um maior período, reduzindo assim o tempo de secagem. Diante destes valores, constata-se que todas as formulações testadas atingiram valores de densidade satisfatória.

Verifica-se que para F1 houve tendência de redução da densidade com o tempo de batimento; para F2 a diminuição ocorreu até o tempo de 20 minutos seguido de aumento ( $p < 0,05$ ). Essa diminuição do valor da densidade das espumas ocorre devido à incorporação de ar durante a etapa de agitação, uma vez que a alta velocidade de agitação promove um aumento na taxa de cisalhamento, favorecendo a divisão das bolhas de ar e redução da tensão interfacial e da tensão superficial do líquido para formar um filme interfacial (HARDY; JIDEANI, 2015).



Na formulação F3, já no tempo de batimento de 5 min, a espuma apresentou densidade inferior a  $0,6 \text{ g/cm}^3$ , apresentando após esse tempo uma tendência de aumento com o tempo de batimento ( $p < 0,05$ ). Dabestani e Yeganehzad (2018) relataram que o tempo de batimento apropriado pode ter um efeito positivo no volume e na estabilidade da espuma, já o tempo de batimento excessivo acarreta no afinamento da lamela, alterações no formato da bolha e ruptura da lamela. O tempo de batimento apropriado para cada solução é função das propriedades químicas das moléculas de surfactante, juntamente com a tensão superficial e a viscosidade total.

Valores de densidade próximos para a secagem em camada de espuma foram encontrados por Franco et al. (2015) para a espuma do suco de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) com ovoalbumina (10-20%), que apresentou densidades de  $0,16$  a  $0,83 \text{ g/cm}^3$ ; por Pinto et al. (2018) para os extratos de carotenoides do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) com Emustab<sup>®</sup> (2,5-10,0%), com as densidades entre  $0,20$  e  $0,30 \text{ g/cm}^3$ , valores similares aos encontrados na F3; por Araújo et al. (2017) para a espuma de polpa de acerola (*Malpighia emarginata* DC) com albumina (2-10%), com densidades na faixa de  $0,53$  a  $0,74 \text{ g/cm}^3$ .

Salahi, Mohebbi e Taghizadeh (2014) ao adicionarem albumina e goma xantana a polpa de melão cantaloupe para formação de espuma verificaram que o aumento de albumina de 1 para 3% provocou redução significativa na densidade e o aumento de goma xantana (0,05 para 0,2%) teve um efeito adverso na expansão da espuma elevando a densidade da espuma. Relataram que a goma xantana pode aumentar a viscosidade do líquido dificultando a incorporação de ar conseqüentemente diminuindo a expansão volumétrica. Este comportamento também ficou demonstrado pela maior densidade da espuma F1 e maior tempo de batimento.

### **3.1.2 Expansão volumétrica (overrun)**

No que se refere à expansão volumétrica das espumas, é perceptível a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as três formulações e entre os tempos de batimentos (Tabela 2).

Observa-se que a espuma F3 (1% de albumina + 0,5% de goma guar) apresentou os maiores valores de expansão volumétrica em relação às demais formulações.

**Tabela 2** – Valores médios da expansão volumétrica (*overrun*) das espumas das formulações (F1; F2 e F3) em função do tempo de batimento

Tempo de batimento (min)	Expansão volumétrica (%)		
	F1	F2	F3
5	28,01±2,00dB	33,86±0,55eB	377,43±4,17aA
10	40,19±1,48cC	65,25±1,90dB	321,11±7,31bA
15	44,06±0,93cC	99,70±3,22cB	245,10±7,05cA
20	86,96±1,60bC	168,12±2,27aB	245,92±7,43cA
25	87,97±2,91bC	153,12±3,24bB	234,71±7,60dA
30	119,26±2,78aB	107,71±3,54cC	202,07±4,22eA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

DMS – Desvio mínimo significativo; MG – Média geral; CV – Coeficiente de variação

DMS para colunas = 10,35; DMS para linhas = 8,40; MG = 147,81%; CV = 2,85%

Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

Verifica-se que a espuma F3 obteve maior *overrun* (377,43%) no menor tempo de agitação (5 minutos), seguido da espuma F2 (168,12%) aos 20 minutos e a espuma F1 (119,26%) aos 30 minutos de agitação. O *overrun* é um parâmetro usado para indicar a quantidade de ar incorporado durante a formação da espuma, está correlacionado à densidade da espuma, quanto menor a densidade maior será a expansão volumétrica. A presença numerosa de bolhas de ar, pequenas e uniformes, é capaz de manter a estrutura da espuma durante a secagem (FRANCO et al., 2016).

Verifica-se elevação da expansão volumétrica com aumento do tempo de batimento para as formulações F1 e F2. No entanto, a formulação F3 apresentou comportamento contrário, ou seja, redução na expansão volumétrica com o incremento do tempo. De acordo com Blasco et al. (2011), as proteínas se ligam à interface ar-líquido e interagem ainda com a lamela (parede da bolha) por meio de forças eletrostáticas ou hidrofóbicas, pontes de hidrogênio ou ligações covalentes. Essa interação leva à formação de filmes viscoelásticos coesos que são capazes de suportar a espessura do filme, resultando em espuma com maior percentual de expansão volumétrica.

Os valores encontrados de *overrun* estão para alguns tempos de batimento e formulações dentro da faixa observada por Ozcelik et al. (2019) para as espumas da polpa de framboesa com proteína de batata, maltodextrina e pectina (79,19 a 447,48%); por Affandi et al. (2017) para as espumas de cominho preto (*Nigella sativa*) com albumina de ovo e metilcelulose (45 e 328%), atingindo as maiores percentagens após 5 e 8 minutos de

batimento análogo ao observado na espuma F3; por Varhan, Elmas e Koç (2019) para as espumas de figo (*Ficus carica* L.) com adição de clara de ovo, carboximetilcelulose e maltodextrina (133,35 a 424,79%).

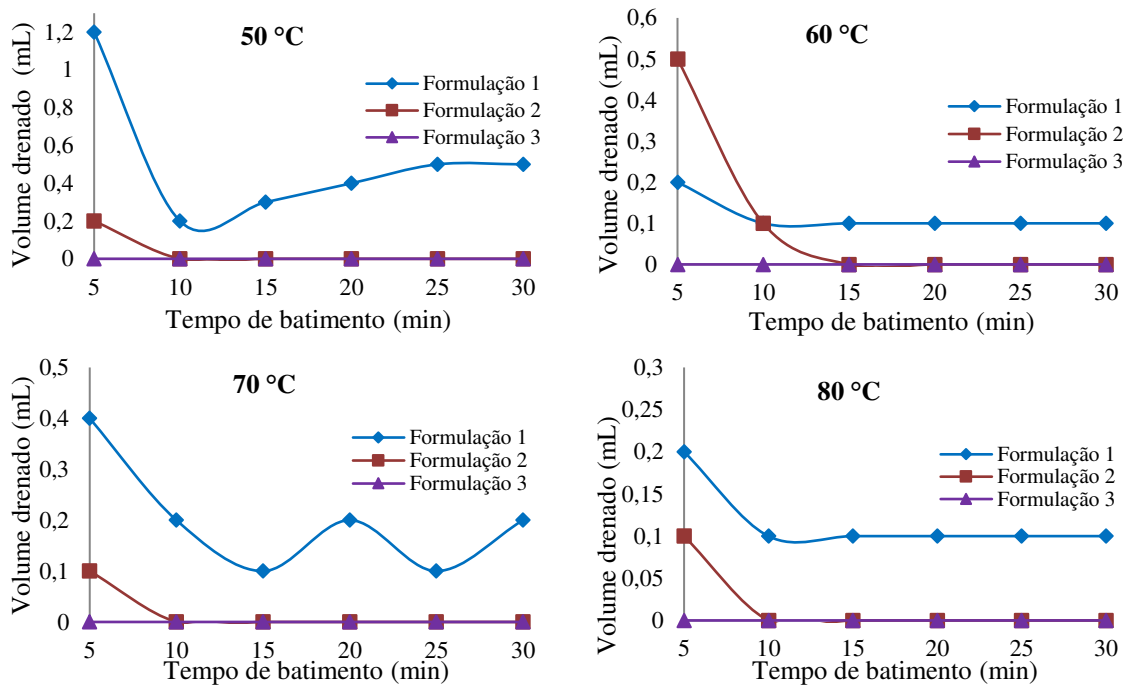
Tan e Sulaiman (2019), ao avaliarem as espumas de vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.) com adição de albumina de ovo (5 a 20% m/m) verificaram *overrun* de 100 a 283%, proporcionado pela alta concentração do agente espumante. Valores superiores foram encontrados para F3 nos tempos de 5 e 10 minutos, com apenas 1% de albumina e 0,5% de goma guar. De acordo com Ospina et al. (2012), devido à alta afinidade da goma guar com a água, esta fornece uma viscosidade muito alta em sistemas aquosos, mesmo em doses baixas e em pouco tempo. A expansão da espuma se deve à presença de proteínas como a albumina, que no momento do batimento sofrem desnaturação na interface e interação entre si para formar um filme interfacial estável (THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2012).

### 3.1.3 Estabilidade das espumas

Na Figura 1 são mostradas as curvas da estabilidade das espumas submetidas a diferentes temperaturas na estufa (50, 60, 70 e 80 °C) durante 90 minutos, expressas em termos de volume de líquido drenado da espuma em função do tempo de batimento. Os resultados demonstraram a eficácia dos hidrocoloides (goma xantana, CMC e goma guar) na estabilidade das espumas, mesmo nas concentrações relativamente baixas utilizadas, provavelmente relacionada ao aumento da viscosidade que contribui para a retenção da fase líquida na estrutura da espuma.

Geralmente, as espumas são sistemas termodinamicamente instáveis e, portanto, além de sua capacidade de incorporar ar, é importante avaliar sua estabilidade, ou seja, sua capacidade de manter o ar por um determinado período de tempo (DABESTANI; YEGANEHZAD, 2018).

Observa-se que a formulação F1 apresentou os maiores volumes de líquido drenado (0,1 a 1,2 mL) desfavorecendo a goma xantana na estabilidade da espuma com relação aos outros hidrocoloides utilizados, seguida pela formulação F2 (0,1 a 0,5 mL). Já a formulação F3 não apresentou líquido drenado (0 mL) independentemente do tempo de agitação e da temperatura, devido a grande capacidade pseudoplástica da goma guar, uma característica muito importante na estabilização de suspensões e emulsões.



Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

**Figura 1** – Volume de líquido drenado das espumas das formulações (F1, F2 e F3) em função do tempo de batimento em diferentes temperaturas

De forma geral, os volumes de líquido drenado das formulações testadas foram pequenos, indicando estabilidade das mesmas. Volumes superiores (3,3–28,7 mL) foram encontrados por Abbasi e Azizpour (2016) ao avaliarem o efeito da concentração de albumina e metilcelulose na estabilidade da espuma de cereja (*Prunus cerasus* L.); por Dabestani e Yeganehzad (2018) ao avaliarem o efeito da adição em diferentes concentrações da goma persa (0,05; 0,1 e 0,15) e da goma xantana (0,05; 0,1 e 0,15) nas espumas da clara de ovo pasteurizada verificando volume de líquido drenado de 30-70 mL e de 0-60 mL, respectivamente, com 5 minutos de batimento.

Benković et al. (2019) obtiveram estabilidade de 87 a 100% na espuma de cacau enriquecido com hortelã-pimenta (*Mentha piperita* L.), confirmando que a clara de ovo é um agente espumante adequado à secagem em camada de espuma.

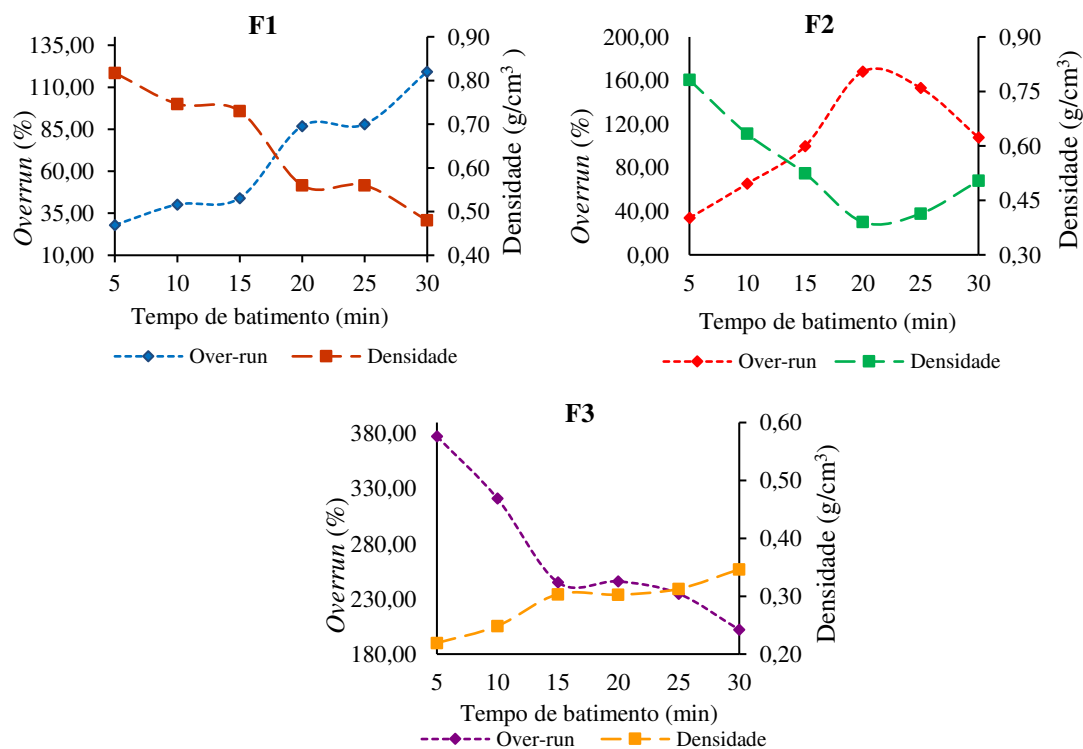
Ng e Sulaiman (2018) estudaram o efeito do tipo de proteína (albumina de ovo e gelatina de peixe) na estabilidade da espuma de beterraba (*Beta vulgaris*), verificando que a espuma produzida com albumina apresentou estabilidade de 82,5 a 97,5% após 180 minutos e quando as formulações de beterraba são batidas aparecem pequenas bolhas na superfície

devido a proteína aumentar a espessura do filme interfacial que ajuda a revestir e estabilizar as bolhas de ar.

Buljat et al. (2019) constataram para a espuma de cacau enriquecida com extrato de lavanda (*Lavandula×hybrida* L.) com adição de clara de ovo e gelatina (0,5%) estabilidade da espuma após 120 minutos de 99,99% para todas as amostras, indicando que a clara de ovo é um excelente agente espumante e que o tempo de batimento de 4 minutos foi suficiente para obter uma espuma estável.

### 3.1.4 Densidade versus *overrun*

A Figura 2 apresenta os dados experimentais de densidade das espumas com os de *overrun* (expansão volumétrica) em função dos tempos de batimento das formulações F1; F2 e F3. Com base no menor valor de densidade e do maior *overrun* selecionou-se os melhores tempos de agitação. Assim sendo, o tempo de 30 minutos foi considerado adequado para o batimento da formulação F1 (1% albumina + 0,5% goma xantana), 20 minutos para formulação F2 (1% albumina + 0,5% CMC) e 5 minutos para a formulação F3 (1% albumina + 0,5% goma guar). Durante o batimento da formulação o ar é incorporado formando bolhas de ar e conseqüentemente formando a espuma.



**Figura 2** – Médias da densidade e expansão volumétrica em função do tempo de batimento das Formulações F1; F2 e F3

O tempo de batimento também pode afetar o conteúdo de compostos voláteis e, quanto maior o tempo de batimento, maiores as perdas desses compostos ocasionado pela incorporação de oxigênio (THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2012).

Shaari et al. (2017) ao determinarem o efeito do tempo de batimento (10, 20 e 30 min) na espuma de abacaxi (*Ananas comosus*) com albumina (5, 10 e 20%) verificaram a menor densidade (0,28 g/cm<sup>3</sup>) e o maior *overrun* (79,20%) foi para o tempo de batimento de 10 minutos.

Tempo de batimento de 5 minutos para formação de espuma foi utilizado por Maciel et al. (2017) para a preparar as espumas de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) com albumina (4 e 8%) e por Marques, Arruda e Silva (2016) para a formação das espumas de caldo de cana com a combinação dos aditivos Emustab<sup>®</sup>, Super Liga Neutra<sup>®</sup> e carbonato de cálcio.

Freitas et al. (2018) agitaram a formulação da polpa de cajá (*Spondias mombin*) com Emustab<sup>®</sup> (5%) durante 20 minutos.

### 3.2 Propriedades físico-químicas e compostos bioativos das espumas

As composições da polpa mista de jambolão e acerola, assim como das formulações F1, F2 e F3 estão apresentadas na Tabela 3.

As amostras formuladas apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) no teor de água em relação à polpa mista, mas com diferença máxima inferior a 1,4 g/100 g. Darniadi, Ho e Murray (2017) avaliaram o efeito da maltodextrina e de isolado de proteína de soro de leite nas propriedades de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) antes da desidratação, em que a amostra apresentou 89,78 g/100 g de teor de água, análogo ao encontrado na polpa mista e formulações. Santos, Andrade e Gouveia (2017), estudando a polpa de maracujá de caatinga (*Passiflora cincinnata* Mast.) pasteurizada determinaram teor de água de 88,22 g/100 g. Mohammad e Ding (2019), em trabalho com frutos de *Carissa congesta* relataram teor de água de 87,85 g/100 g. Branco et al. (2016) detectaram teor de água de 84,76 e 86,07 g/100 g em polpa de jambolão pasteurizada e não pasteurizada, respectivamente e Seraglio et al. (2018) verificaram em frutos maduros de jambolão teor de água de 84,74 g/100 g. Reis et al. (2017) na avaliação de frutos de acerola cv. 'Flor Branca' maduros determinaram teor de água de 90,75% e Souza et al. (2020) na polpa de acerola relataram teor de água de 92,28%.

**Tabela 3** – Caracterização físico-química da polpa mista e das formulações de espuma

Parâmetro	Polpa mista	F1	F2	F3
Teor de água <sup>1</sup>	88,86±0,09a	87,66±0,02b	87,47±0,05c	87,49±0,09c
a <sub>w</sub>	0,990±0,001ab	0,989±0,001b	0,991±0,001ab	0,990±0,001a
Proteínas <sup>1</sup>	0,80±0,02c	1,97±0,02b	2,04±0,02a	2,00±0,01b
pH	3,65±0,00ab	3,32±0,00b	3,90 ±0,00a	3,70±0,00ab
Sólidos solúveis totais <sup>2</sup>	9,41±0,01b	8,61±0,01c	9,41±0,01b	9,61±0,01a
Acidez total titulável <sup>3</sup>	0,97±0,01a	0,82 ±0,01b	0,82 ±0,01b	0,80±0,01b
Ratio (SST/ATT)	9,73±0,12d	10,53±0,06c	11,51±0,07b	11,95±0,06a
Cinzas <sup>1</sup>	0,40±0,01a	0,31±0,01c	0,39±0,01a	0,38±0,01b
Açúcares totais <sup>1</sup>	5,30±0,01c	4,68±0,01d	7,27±0,06a	6,98±0,01b
Açúcares redutores <sup>1</sup>	0,02±0,00c	0,04±0,00a	0,03±0,00b	0,03±0,00ab
Açúcares não redutores <sup>1</sup>	5,02±0,01c	4,042±0,01d	6,80±0,06a	6,53±0,01b
Ácido ascórbico <sup>4</sup>	1014,98±00a	714,02±00d	716,69±01c	721,46±01b
Compostos fenólicos totais <sup>5</sup>	875,30±0,68a	798,08±0,56c	796,83±0,00d	828,79±0,00b
Taninos <sup>6</sup>	989,50±1,05a	948,88±2,06b	947,60±1,00b	932,55±0,59c
Flavonoides <sup>4</sup>	14,27±0,03a	13,75±0,06b	9,39±0,03d	10,90±0,03c
Antocianinas <sup>7</sup>	67,42±1,03a	60,63±0,54b	66,72±0,32a	64,94±0,24a
Carotenóides <sup>4</sup>	2,83±0,01a	1,44±0,01b	1,35±0,02d	1,41±0,01c

<sup>1</sup> – g/100 g bu; <sup>2</sup> - °Brix; <sup>3</sup> – g ácido cítrico/100 g bu; <sup>4</sup> – mg/100 g bu; <sup>5</sup> – mg equivalente ácido gálico/100 g bu; <sup>6</sup> – mg equivalente ácido tânico/100 g bu; <sup>7</sup> – mg equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g bu.

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

Todas as amostras apresentaram elevada atividade de água ( $a_w > 0,97$ ), com as formulações não apresentando diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação à polpa mista e indicando que possuem alta quantidade de água disponível para reações bioquímicas e microbiológicas. Glicerina et al. (2019) reportaram  $a_w$  em torno de 0,986 em amostras de maçã e uva. Mussi et al. (2015), na avaliação físico-química das partes do jambolão, verificaram  $a_w$  de 0,998 na polpa do fruto e  $a_w$  de 0,989 na parte comestível (polpa + casca) e Borges et al. (2016) observaram na polpa de jambolão  $a_w$  de 0,980. Lemos et al. (2019) determinaram na polpa de acerola  $a_w$  de 0,989, que corrobora com a polpa mista e as formulações.

Verifica-se que a polpa mista tem baixo teor de proteínas e alto teor de água, com isso a polpa mista não consegue formar espuma sem a adição de agentes espumantes e estabilizantes. Segundo Asokapandian et al. (2015), um agente espumante é um material surfactante, usado para reduzir a tensão superficial entre dois líquidos e assim facilitar a

formação de espuma. As proteínas são consideradas boas agentes espumantes por criar uma camada densa ao redor das bolhas de ar incorporadas, reduzindo a tensão superficial e também proporcionando alta estabilidade por meio de sua hidrofobicidade e seus rearranjos, que permitem a rápida adsorção na interface ar-água. Os teores de proteínas das formulações são próximos entre si e supera o da polpa mista, resultado da utilização da albumina na elaboração das espumas. Nascimento et al. (2019), estudando polpas de cupuaçu industrial e artesanal reportaram valores de 2,59 g/100 g para polpa industrial e 2,72 g/100 g para polpa artesanal, tratando-se de uma polpa com teor proteico superior ao da maioria das frutas. Sabino, Brito e Silva Júnior (2018) relataram para o jambolão teor de proteínas de 1,4 g/100 g e Prakash; Baskaram (2018) quantificaram para a acerola 0,40% de proteína.

A polpa mista e as formulações foram classificadas como muito ácidas ( $\text{pH} < 4,0$ ), de acordo com Franco e Landgraf (2016). O pH de todas amostras apresentaram pouca variação entre a polpa mista e as formulações, cujos aditivos não acarretaram alterações mensuráveis na acidez. Mariano-Nasser et al. (2017), ao avaliarem as características físico-químicas de frutos de oito cultivares de aceroleira, relataram valores de pH de 2,8 a 3,4. Junqueira et al. (2015) estudando duas espécies do Gênero *Syzygium*, observaram pH de 3,69 para polpa de *Syzygium cumini* (L.) Skeels.

Os valores de sólidos solúveis totais nas formulações e na polpa foram muito próximos com pequenas diferenças significativas. Morais et al. (2017) encontraram resultados semelhantes em polpas de araticum (*Annona crassiflora*) *in natura* e pasteurizada, com valores médios de 9,57 e 9,23 °Brix, respectivamente. Silva et al. (2018) avaliaram polpas de bocaiuva (*Acrocomia aculeata*) de colorações alaranjada e amarelada encontraram valores de 9,27 e 9,10 °Brix, respectivamente. Sousa et al. (2020) verificaram em polpas de acerola produzidas e comercializadas em Santarém-PA, valor de 10,24 °Brix. Seraglio et al. (2018) verificaram sólidos solúveis totais de 10,50 °Brix em jambolão maduro.

Para a acidez titulável não houve diferença significativa entre as formulações, mas as médias das três foram inferiores e diferiram estatisticamente da polpa mista ( $p < 0,05$ ). Valor similar ao da polpa mista e das formulações foi verificada na polpa de acerola (0,90 g/100 g) por Prakash et al. (2016). Coelho et al. (2016) encontraram acidez total de 2,0% na polpa de jambolão. Uma variação de ácido cítrico nas frutas entre 0,08 a 1,95 g/100 g implica em um sabor suave com boa aceitação pelo consumidor. Além disso, alguns ácidos orgânicos presentes nas frutas são voláteis, o que contribui para um aroma mais agradável (CHITARRA; CHITARRA, 2005).



A relação SST/ATT é uma das formas mais utilizadas para avaliação do sabor, sendo mais representativa que a medição isolada de açúcares ou da acidez. Foram verificadas diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre o ratio de todas as amostras, com menores valores para polpa mista e maiores à formulação F3. Machado, Monteiro e Tiecher (2019) estudando a polpa de *Physalis peruviana L.* não pasteurizada durante 120 dias de armazenamento a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  verificaram variação no ratio com intervalo de 8,78 a 11,07.

As formulações e a polpa mista apresentaram variação nos teores de cinzas, com diferenças estatísticas não associadas aos aditivos. Santos et al. (2019) ao avaliarem as polpas de abacaxi, ameixa, caqui, laranja, maçã, mamão, melão e morango observaram variações nos valores entre 0,26 e 0,47 g/100 g.

Os açúcares totais apresentaram diferenças significativas entre a polpa e formulações, mas em percentuais que excedem o que poderia ser atribuído à adição dos promotores de espuma, devendo ser explicada pela variabilidade natural das amostras de polpa mista. Sandri et al. (2017), em estudo com polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*), encontraram valor de açúcares totais de 7,3 g/100 g. Monteiro et al. (2018), estudando sapota-do-Solimões (*Quararibea cordata* Vischer) reportaram conteúdo de açúcares totais de 4,2 g/100 g, situando as amostras de polpa mista e das três formulações entre valores comuns determinados em polpas de frutas.

Os teores de açúcares redutores, apesar de diferenças significativas entre si, tiveram valores absolutos pouco expressivos, constituindo fração de menor importância em todas as amostras. Oliveira et al. (2019) determinaram açúcares redutores em frutos de híbridos de melancia, reportando valores entre 2,90 e 3,16 g/100 g. Helt, Navas e Gonçalves (2018) observaram, em estudos com pitanga (*Eugenia uniflora*) da cor laranja e vermelha, teores de açúcares redutores de 1,86 g/100 g e 1,72 g/100 g, respectivamente.

Os açúcares não redutores acompanharam o mesmo comportamento relativo dos açúcares totais, com maior valor na amostra F2, seguindo-se a F3, polpa mista e F1, confirmando a diferença entre as amostras. Khalid et al. (2017), em trabalho com tangerineira 'Kinnow', encontraram para açúcares não redutores valor de 5,3 g/100 g.

A concentração de ácido ascórbico da polpa mista foi reduzida em cerca de 30% nas três formulações, que apresentaram valores idênticos entre si, degradação provavelmente associada à incorporação de ar no processo de agitação, promovendo a degradação oxidativa. Cruz et al. (2018), ao comparar a atividade antioxidante de extratos de acerola maduros e verdes com antioxidantes sintéticos (BHA e BHT), verificaram teores de ácido ascórbico de 298,93 a 566,86 mg/100 mL. O teor de ácido ascórbico da polpa mista desta pesquisa foi

semelhante ao encontrado por Nazareno, Acevedo e Cardoso (2019) em polpa de acerola (1015,42 mg/100 g). Babu, Raghavendra e Tamadaddi (2019) verificaram na caracterização de jambolão teor de ácido ascórbico na faixa de 25 a 44,67 mg/100 g.

A concentração de compostos fenólicos foi reduzida de forma estatisticamente significativa entre a polpa mista e as formulações, e estas entre si, todavia, essa diferença não ultrapassou 9%, entre a polpa mista e a formulação F2. Croda et al. (2017), estudando suco misto de juçara (*Euterpe edulis*) e guaraná (*Bunchosia glandulífera*), antes e após pasteurização, determinaram concentrações de compostos fenólicos com teores de 679,72 mg/100 mL e 679,67 mg/100 mL, respectivamente. Diferenças entre os teores de fenólicos reportados entre trabalhos diversos podem estar relacionadas com o tipo de extração, o tipo de solvente utilizado com diferentes polaridades e a concentração de cada extrato (ROCHA et al., 2013). Carvalho et al. (2017) encontraram em frutos de jambolão o conteúdo de 122 mg/100 g de compostos fenólicos. Brandão et al. (2019), estudando a concentração de solvente (etanol e metanol, diluído em água) no processo de extração de compostos fenólicos em polpa de jambolão, conseguiram quantificar a faixa entre 126,8 a 214,6 mg EAG/100 g. Rezende, Nogueira e Narain (2017), ao compararem a extração convencional e a extração assistida por ultrassom para os compostos bioativos do resíduo de acerola verificaram a faixa de compostos fenólicos de 470 a 1280 mg EAG/100 g. Mariano-Nasser et al. (2017), ao avaliarem a composição de frutos de oito cultivares de aceroleira, relataram valores de compostos fenólicos totais de 914,2 a 2428,3 mg EAG/100 g.

O teor de taninos totais da polpa mista superou os das polpas formuladas em percentuais entre 4,1 e 5,76%, com diferenças significativas entre todas as amostras. Muniyandi et al. (2019), analisando a capacidade antioxidante de espécies de *Rubus*, verificaram teores de taninos entre 777 e 62832 mg/100 g. Azevêdo et al. (2017), ao analisarem o teor de taninos condensados na casca de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), encontraram valores de 17600 a 21900 mg/100 g.

Todas as amostras apresentaram flavonoides com diferenças estatisticamente significativas entre si, com a polpa mista sem aditivos superando as formulações, seguida pela amostra F1 e, com diferenças mais acentuadas, as formulações F1 e F2. Tavares et al. (2019), trabalhando com uva BRS violeta encontraram teor de flavonoides totais de 76,00 mg/L bu. Souza et al. (2020) ao avaliarem a composição de polpa de acerola apontaram teores de flavonoides de 15,46 mg/100 g similar à polpa mista.

O teor de antocianinas se manteve em valores estatisticamente semelhantes entre três das quatro amostras, com maior valor absoluto na amostra de polpa mista e superando a

formulação F1 em 11%. Orsavová et al. (2019), estudando a composição de groselhas (*Ribes L.*), reportaram valores de antocianinas de 68,68 mg/100 g (ECG) em cultivar Black Negus e de 60,34 mg/100 g na cultivar NS 11.

No teor de carotenoides a incorporação dos aditivos os reduziu em relação à polpa mista, atingindo 50% ou menos, da amostra F2, reduções provavelmente decorrentes da incorporação de bolhas de ar no processo de agitação. Para Chen et al. (2014), a oxidação é a principal causa de perdas de carotenoides, estimulada pelo ar, luz, enzimas e metais, formando compostos de menor peso molecular. Irías-Mata et al. (2018) verificaram o total de carotenoides na polpa de murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth), encontrando teor de 39,4 µg/100 g na polpa amarela e de 31,4 µg/100 g na polpa vermelha. Vergara et al. (2018), estudando polpas de duas variedades de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine), determinaram valores de carotenoides de 1,14 mg/100 g (amarela) e 1,46 mg/100 g (vermelha).

### 3.3 Influência da espessura da camada de espuma

Na Tabela 4 têm-se os resultados dos tempos de secagem, rendimento dos pós e teor de água das formulações após as secagens em camada de espuma com três espessuras da camada (0,5; 1,0 e 1,5 cm) na temperatura de 70 °C.

**Tabela 4** – Tempo de secagem, rendimento de pó e teor de água das formulações nas diferentes espessuras de camada de espuma

Formulação	Espessura da camada (cm)	Tempo (min)	Rendimento (%)	Teor de água (% bu)	Teor de água (% bs)
F1	0,5	300	10,63±0,17a	9,04±0,65c	11,04±0,78c
	1,0	390	10,57±0,10c	11,54±0,32b	13,50±0,43b
	1,5	750	10,43±0,08b	12,20±0,24a	14,76±0,35a
F2	0,5	330	11,27±0,10a	12,64±0,31b	14,47±0,41b
	1,0	390	11,15±0,92a	15,16±0,30a	17,88±0,41a
	1,5	870	10,45±0,05a	15,85±0,43a	18,84±0,61a
F3	0,5	210	11,36±0,02a	10,95±0,14c	12,29±0,18c
	1,0	240	10,45±0,09c	12,89±0,51b	14,80±0,67b
	1,5	510	10,82±0,02b	14,57±0,23a	17,05±0,31a

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. bu – base úmida; bs – base seca

Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

Constata-se que houve influência significativa da espessura da camada da espuma sobre os parâmetros avaliados, com a camada de 0,5 cm de espessura proporcionando os maiores rendimentos e os menores tempos de secagem e teores de água em todas as formulações.

Observa-se que a formulação F3 obteve os menores tempos de secagem, e a F1 os menores teores de água. Dehghannya et al. (2018) ao investigarem o efeito da espessura da camada de espuma (0,4; 0,5 e 0,6 cm) na secagem em camada de espuma de suco de limão observaram que o aumento da espessura levou a uma redução de 3,11% no índice de solubilidade do pó em água e de 33,33% na taxa de secagem. Além de diminuir a qualidade do produto final, afetando os aspectos de cor, índice de croma e índice de escurecimento.

A camada com espessura de 0,5 cm foi utilizada por Carvalho et al. (2017) na secagem em camada de espuma a 60, 70 e 80 °C de polpa de jambolão [*Syzygium cumini* (L.)] com Emustab®, Super Liga Neutra® e maltodextrina como aditivos. Hamzeh et al. (2019) no processo de secagem em camada de espuma de puré de camarão utilizaram espessuras de 0,4 e 0,8 cm observando também que o aumento na espessura aumentou o tempo de secagem e que uma camada mais fina proporcionou uma maior penetração de calor e uma transferência mais rápida de água da fase líquida para o ar quente.

#### 4 Conclusões

As espumas elaboradas com polpa mista de jambolão e acerola adicionadas de albumina combinada com gomas xantana, guar e carboximetilcelulose apresentaram-se adequadas para secagem pelo processo de secagem em camada de espuma.

A espuma elaborada com a combinação de polpa mista adicionada de albumina mais goma guar apresentou os melhores valores de densidade – no menor tempo –, *overrun*, relação densidade × *overrun*, menor volume drenado nas temperaturas de 50 a 80 °C; com esta formulação também se obteve a melhor combinação de tempo de secagem, espessura de camada e rendimento; em todos esses critérios a combinação albumina mais CMC apresentou resultados intermediários e a albumina mais goma xantana, os menos favoráveis.

A incorporação dos aditivos e o batimento para formação de espuma alteraram a composição das formulações em relação à polpa mista (testemunha), elevando o ratio, o teor de proteínas e reduzindo os teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, taninos, flavonoides e carotenoides.

## 5 Referências bibliográficas

- ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, n. 1, p. 105-110, 2016.
- AFFANDI, N.; ZZAMAN, W.; YANG, T.; EASA, A. Production of *Nigella sativa* beverage powder under foam mat drying using egg albumen as a foaming agent. **Beverages**, v. 3, n. 4, p. 1-15, 2017.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 20th. ed. Washington: AOAC, 2016. 3100 p.
- ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. DO N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. e2016152, 2017.
- ASOKAPANDIAN, S.; VENKATACHALAM, S.; SWAMY, G. J.; KUPPUSAMY, K. Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 6, p. 692-701, 2015.
- AZEVÊDO, T. K. B.; PAES, J. B.; CALEGARI, L.; SANTANA, G. M. Teor de taninos condensados presente na casca de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) em função das fenofases. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00026613, 2017.
- BABU, P.; RAGHAVENDRA, S.; TAMADADDI, B. L. Physico-chemical characterization of jamun (*Syzygium cumini* Skeels) seedling genotypes. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 4, p. 300-303, 2019.
- BALIGA, M. S.; BHAT, H. P.; BALIGA, B. R. V.; WILSON, R.; PALATTY, P. L. Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): a review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1776-1789, 2011.
- BENKOVIĆ, M.; PIŽETA, M.; TUŠEK, A. J.; JURINA, T.; KLJUSURIĆ, J. G.; VALINGER, D. Optimization of the foam mat drying process for production of cocoa powder enriched with peppermint extract, **LWT - Food Science and Technology**, v. 115, p. 1-24, 2019.
- BLASCO, L.; VINAS, M.; VILLA, T. G. Proteins influencing foam formation in wine and beer: the role of yeast. **International Microbiology**, v. 14, n. 2, p. 61-71, 2011.
- BORGES, K. C.; BEZERRA, M. D. F.; ROCHA, M. P.; SILVA, E. S. D.; FUJITA, A.; GENOVESE, M.; PINTO, R. T. C. Fresh and spray dried pitanga (*Eugenia uniflora*) and jambolan (*Syzygium cumini*) pulps are natural sources of bioactive compounds with functional attributes. **Journal of Probiotics & Health**, v. 4, n. 2, e1000145, 2016.

- BRANCO, I. G.; MORAES, I. C. F.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MADRONA, G. S.; SANTOS, C.; RUIZ, L. T. G.; CARVALHO, J. E.; HAMINIUK, C. W. I. Influence of pasteurization on antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit pulp. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 225-230, 2016.
- BRANDÃO, T. S. O.; PINHO, L. S.; TESHIMA, E.; DAVID, J. M.; RODRIGUES, M. I. Optimization of a technique to quantify the total phenolic compounds in jambolan (*Syzygium cumini* Lamark) pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018158, 2019.
- BUCHMANN, L.; BERTSCH, P.; BÖCKER, L.; KRÄHENMANN, U.; FISCHER, P.; MATHYS, A. Adsorption kinetics and foaming properties of soluble microalgae fractions at the air/water interface. **Food Hydrocolloids**, v. 97, p. 105-182, 2019.
- BULJAT, A. M.; JURINA, T.; TUŠEK, A. J.; VALINGER, D.; KLJUSURIĆ, J. G.; BENKOVIĆ, M. Applicability of foam mat drying process for production of instant cocoa powder enriched with lavender extract. **Food Technology and Biotechnology**, v. 57, n. 2, p. 159-170, 2019.
- CARVALHO, T. I. M.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32-42, 2017.
- CHEN, L.; BAI, G.; YANG, R.; ZANG, J.; ZHOU, T.; ZHAO, G. Encapsulation of  $\beta$ -carotene within ferritin nanocages greatly increases its water-solubility and thermal stability. **Food Chemistry**, v. 149, p. 307-312, 2014.
- CHHIKARA, N.; KUSHWAHA, K.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: a critical review. **Food Chemistry**, v. 272, p. 192-200, 2019.
- CHHIKARA, N.; KAUR, R.; JAGLAN, S.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds, pharmacological and food application of *Syzygium cumini*-a review. **Food & Function**, v. 9, n. 12, p. 6096-6115, 2018.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2005, 783 p.
- COELHO, E. M.; AZEVÊDO, L. C.; CORRÊA, L. C.; BORDIGNON-LUZ, M. T.; LIMA, M. S. Phenolic profile, organic acids and antioxidant activity of frozen pulp and juice of the jambolan (*Syzygium cumini*). **Journal of Food Biochemistry**, v. 40, n. 2, p. 211-219. 2016.

- COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PALLET, J. P. D.; MONTE, D. C. Quantificação do teor de antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações de açazeiro. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2006. 15 p.
- CRODA, M. F.; CARVALHO, D.; FRAGA, S.; ESPINDOLA, J. S.; MOURA, N. F. Bioactive compounds in a mixed juice of *Euterpes edulis* and *Bunchosia glandulifera*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016147, 2017.
- CRUZ, R. G.; BENEY, L.; GERVAIS, P.; LIRA, S. P.; VIEIRA, T. M. F. S.; DUPONT, S. Comparison of the antioxidant property of acerola extracts with synthetic antioxidants using an in vivo method with yeasts. **Food Chemistry**, v. 277, p. 698-705, 2018.
- DABESTANI, M.; YEGANEHZAD, S. Effect of persian gum and xanthan gum on foaming properties and stability of pasteurized fresh egg white foam. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 550-560, 2018.
- DARNIADI, S.; HO, P.; MURRAY, B. S. Comparison of blueberry powder produced via foam-mat freeze-drying versus spray-drying: Evaluation of foam and powder properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 5, p. 2002–2010, 2017.
- DEGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. Influence of foam thickness on production of lime juice powder during foam-mat drying: experimental and numerical investigation. **Powder Technology**, v. 328, p. 470-484, 2018.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.
- FRANCO, T. S.; ELLENDERSEN, L. N.; FATTORI, D.; GRANATO, D.; MASSON, M. L. Influence of the addition of ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam mat drying process. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 10, p. 2012-2026, 2015.
- FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 503-513, 2016.
- FREITAS, B. S. M.; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; SILVA, R. M.; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430-435, 2018.
- GLICERINA, V.; TYLEWICZ, U.; CANALI, G.; SIROLI, L.; ROSA, M. D.; LANCIOTTI, R.; ROMANI, S. Influence of two different cocoa-based coatings on quality characteristics

- of fresh-cut fruits during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 101, p. 152-160, 2018.
- HAMZEH, S.; MOTAMEDZADEGAN, A.; SHAHIDI, S.A.; AHMADI, M.; REGENSTEIN, J. M. Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 28, n. 7, p. 1-12, 2019.
- HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560–2572, 2015.
- HELT, K. M. P.; NAVAS, R.; GONÇALVES, E. M. Características físico-químicas e compostos antioxidantes de frutos de pitanga da região de Capão Bonito, SP. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 97-102, 2018.
- IRÍAS-MATA, A.; JIMÉNEZ, V. M.; STEINGASS, C. B.; SCHWEIGGERT, R. M.; CARLE, R.; ESQUIVEL, P. Carotenoids and xanthophyll esters of yellow and red nance fruits (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth) from Costa Rica. **Food Research International**, v. 111, p. 708-714, 2018.
- JUNQUEIRA, P. R.; CARDOSO, M. G.; VILAS BOAS, E. V. B.; PEREIRA, R. J. Aspectos de qualidade e composição centesimal dos frutos de *Syzygium cumini* (L.) Skeels e *Syzygium paniculatum* Gaertn. **Revista Cereus**, v. 7, n. 1, p. 60-74, 2015.
- KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree: Stability and air-drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.
- KHALID, S.; MALIK, A. U.; KHAN, A. S.; KHAN, M. N.; ULLAH, M. I.; ABBAS, T.; KHALID, M. S. Tree age and fruit size in relation to postharvest respiration and quality changes in “Kinnow” mandarin fruit under ambient storage. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 183-192, 2017.
- LEMO, D. M.; ROCHA, A. P. T.; GOUVEIA, J. P. G.; OLIVEIRA, E. N. A.; SOUSA, E. P.; SILVA, S. F. Elaboration and characterization of jaboticaba and acerola prebiotic jelly. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018098, 2019.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. **Methods in enzymology**. London: Academic Press, 1987. v. 148, p. 350-382.
- MACHADO, T. F.; MONTEIRO, E. R.; TIECHER, T. Chemical, physicochemical and antioxidant stability of freezing pasteurized and unpasteurized pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2017149, 2019.



- MACIEL, R. M. G.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; SEVERO, L. S.; LIMA, N. D. Mathematical modeling of the foam-mat drying curves of guava pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 721-725, 2017.
- MALEGORI, C.; MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUINI, C.; CASIRAGHI, E. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. **Talanta**, v. 165, p. 112-116, 2017.
- MARIANO-NASSER, F. A. C.; NASSER, M. D.; FURLANETO, K. A.; RAMOS, J. A.; VIEITES, R. L.; PAGLIARINI, M. K. Bioactive compounds in different acerola fruit cultivares. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2505-2514, 2017.
- MARQUES, G. M. R.; ARRUDA, R. S.; SILVA A. A. L. Secagem de caldo de cana em leite de espuma e caracterização físico-química do produto. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 7, n. 2, p. 16-29, 2016.
- MATTOS, J. S.; MEDEROS, B. J. T. Densidade de polpas de frutas tropicais: banco de dados e determinação experimental. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 2, n. 2, p. 109-118, 2008.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOHAMMAD, M.; DING, P. Physico-textural and cellular structure changes of *Carissa congesta* fruit during growth and development. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 380-389, 2019.
- MONTEIRO, S. S.; RIBEIRO, S. R.; SOQUETTA, M. B.; PIRES, F. J.; WAGNER, R.; ROSA, C. S. Evaluation of the chemical, sensory and volatile composition of sapota-do-Solimões pulp at different ripening stages. **Food Research International**, v. 109, p. 159-167, 2018.
- MORAIS, E. C.; PATIAS, S. G. O.; FERREIRA, N. S. S.; PIKANÇO, N. F. M.; RODRIGUES, E. C.; NASCIMENTO, E.; FARIA, R. A. P. G. Bioactive compounds and physicochemical characteristics of in natura and pasteurized araticum pulp. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, e2016142, 2017.
- MUNIYANDI, K.; GEORGE, E.; SATHYANARAYANAN, S.; GEORGE, B. P.; ABRAHAMSE, H.; THAMBURAJ, S.; THANGARAJ, P. Phenolics, tannins, flavonoids and anthocyanins contents influenced antioxidant and anticancer activities of Rubus fruits from Western Ghats, India. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, n. 1, p. 73-81, 2019.

- MUSSI, L. P.; GUIMARÃES, A. O.; FERREIRA, K. S.; PEREIRA, N. R. Spouted bed drying of jambolão (*Syzygium cumini*) residue: Drying kinetics and effect on the antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 80-88, 2015.
- NASCIMENTO, J. F.; SILVA JÚNIOR, A. C. S.; TOSTES, E. S. L.; SILVA, A. S. S. Avaliação físico-química de polpas de cupuaçu, *Theobroma grandiflorum* Schum, industriais e artesanais. **PUBVET**, v. 13, n. 3, p. 1-6, 2019.
- NAZARENO, L. S. Q.; ACEVEDO, A. K. O. S.; CARDOSO, E. R. C. Characterization and quality assessment of frozen tropical fruit pulp. **Revista Agro@ambiente**, v. 13, p. 287-294, 2019.
- NG, M. L.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 80-86, 2018.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.
- OLIVEIRA, R. G.; GODOY, H. T.; PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 244-249, 2010.
- OLIVEIRA, M. M. T.; ALVES, R. E.; SILVA, L. R.; ARAGÃO, F. A. S. Qualidade de frutos de híbridos de melancia com sementes. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 118, n. 1, p. 77-83, 2019.
- ORSAVOVÁ, J.; HLAVÁČOVÁ, I.; MLČEK, J.; SNOPEK, L.; MIŠURCOVÁ, L. Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes* L.) and gooseberry (*Ribes uva-crispa* L.) fruits. **Food Chemistry**, v. 284, p. 323-333, 2019.
- OSPINA, M. M.; SEPULVEDA, J. U.; RESTREPO, D. A.; CABRERA, K. R.; SUÁREZ, H. Influencia de goma xantan y goma guar sobre las propiedades reológicas de leche saborizada con cocoa. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v.10, n. 1, p. 51-59, 2012.
- OZCELIK, M.; AMBROS, S.; HEIGL, A.; DACHMANN, E.; KULOZIK, U. Impact of hydrocolloid addition and microwave processing condition on drying behavior of foamed raspberry puree. **Journal of Food Engineering**, v. 240, p. 83-98, 2019.

- PANGHAL, A.; KAUR, R.; JANGHU, S.; SHARMA, P.; SHARMA, P.; CHHIKARA, N. Nutritional, phytochemical, functional and sensorial attributes of *Syzygium cumini* L. pulp incorporated pasta, **Food Chemistry**, v. 289, p. 723-728, 2019.
- PINTO, M. R. M. R., ALMEIDA PAULA, D.; ALVES, A. I.; RODRIGUES, M. Z.; VIEIRA, É. N. R.; FONTES, E. A. F.; RAMOS, A. M. Encapsulation of carotenoid extracts from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) by emulsification (o/w) and foam-mat drying. **Powder Technology**, v. 339, p. 939-946, 2018.
- PORTER, L. H.; HRSTICH, L.N.; CHAN, B. C. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, n. 1, p. 223-230, 1986.
- PRAKASH, A.; PRABHUDEV, S. H.; VIJAYALAKSHMI, M. R.; PRAKASH, M.; BASKARAN, R. Implication of processing and differential blending on quality characteristics in nutritionally enriched ketchup (Nutri-Ketchup) from acerola and tomato. **Journal Food Science Technology**, v. 53, n. 8, p. 3175-3185, 2016.
- PRAKASH, A.; BASKARAN, E. Acerola, an untapped functional superfruit: a review on latest frontiers. **Journal Food Science Technology**, v. 55, n. 9, p. 3373–3384, 2018.
- REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A. V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, n. 10, p. e2015083, 2017.
- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Comparison and optimization of conventional and ultrasound assisted extraction for bioactive compounds and antioxidant activity from agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* DC) residue. **LWT - Food Science and Technology**, v. 85, p. 158-169, 2017.
- ROCHA, M. S.; FIGUEIREDO, R. W.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Caracterização físico-química e atividade antioxidante (in vitro) de frutos do cerrado Piauiense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 933-941, 2013.
- SABINO, L. B. S.; BRITO, E. S.; SILVA JÚNIOR, I. J. **Jambolan - *Syzygium jambolanum***. In: Sueli Rodrigues; Ebenezer de Oliveira Silva; Edy Sousa Brito. (Org.). Exotic Fruits. Reference Guide. 1ed. Cambridge: Academic Press, 2018, p. 251-256.
- SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1798-1808, 2014.
- SANDRI, D. D. O.; XISTO, A. L. R. P.; RODRIGUES, E. C.; MORAIS, E. C. D.; BARROS, W. M. D. Antioxidant activity and physicochemical characteristics of buriti pulp

(*Mauritia flexuosa*) collected in the city of Diamantino – MTS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 3, e864, 2017.

SANTOS, E.; ANDRADE, R.; GOUVEIA, E. Utilization of the pectin and pulp of the passion fruit from Caatinga as probiotic food carriers. **Food Bioscience**, v. 20, p. 56-61, 2017.

SANTOS, B. A.; TEIXEIRA, F.; AMARAL, L. A.; RANDOLPHO, G. A.; SCHWARZ, K.; SANTOS, E. F.; RESENDE, J. T. V.; NOVELLO, D. Caracterização química e nutricional de polpa de frutas armazenadas sob congelamento. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2019.

SERAGLIO, K. T.S.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; DELLA BETTA, F.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649-656, 2018.

SHAARI, N. A.; SULAIMAN, R.; RAHMAN, R. A.; BAKAR, J. Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: effect of whipping time and egg albumen concentration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 2, e13467, 2017.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, V. M.; CAMPOS, R. P.; BORSATO, A. V.; CANDIDO, C. J.; DONADON, J. R. Bociuiva jelly: preparation, physicochemical and sensory evaluation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 5, p.1-9, 2018.

SOARES, J. C. **Aproveitamento alimentar de jambolão**. 2015. 208 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA JUNIOR, A.; FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo “foam-mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOUSA, Y. A.; BORGES, M. A.; VIANA, A. F. S.; DIAS, A. L.; SOUSA, J. J. V.; SILVA, B. A.; SILVA, S. K. R. S.; AGUIAR, F. S. Avaliação físico-química e microbiológica de polpas de frutas congeladas comercializadas em Santarém-PA. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 23, e2018085, 2020.

- SOUZA, J. F.; SANTANA, E. A.; SILVA, A. S. S.; SOUZA, A. C. F. Avaliação físico-química de acerola, *Malpighia emarginata* DC., proveniente de Macapá-Amapá. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 16, n. 2, p. 156-176, 2020.
- TAVARES, M. C.; CASTILHOS, B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, e124971, 2019.
- TAN, S. L.; SULAIMAN, R. Color and rehydration characteristics of natural red colorant of foam mat dried *Hibiscus sabdariffa* L. powder. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 1, p. 89-105, 2019.
- THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 348-357, 2012.
- VARHAN, E.; ELMAS, F.; KOÇ, M. Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, e13022, 2019.
- VERGARA, L. P.; REISSIG, G. N.; FRANZON, R. C.; RODRIGUES, R. S.; CHIM, J. F. Bioactive compound retention in frozen red and yellow Strawberry guava pulps added with L-Ascorbic acid. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, p. 1-10, 2018.
- YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-515, 1954.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

## ARTIGO 3 - COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO E CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA

### Resumo

A acerola é uma fruta rica em nutrientes, principalmente vitamina C. O jambolão é um fruto com vários compostos bioativos, de origem fenólica. A combinação das duas polpas, portanto, compõe um produto combinando importantes princípios fitoquímicos. Tendo em vista a alta perecibilidade das polpas, o processamento por meio da secagem é uma alternativa promissora para o aumento da vida útil. Diante disto, o trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a secagem em camada de espuma da polpa mista de jambolão e acerola, ajustar doze modelos matemáticos para descrever as cinéticas de secagem, calcular as difusividades efetivas, as propriedades termodinâmicas e as isotermas de adsorção dos pós de jambolão e acerola. Foram elaboradas três formulações com a polpa mista, todas contendo 1% de albumina combinada com 0,5% de goma xantana (F1), 0,5% de carboximetilcelulose - CMC (F2) e 0,5% de goma guar (F3), desidratadas a 50; 60; 70 e 80 °C com uma espessura da camada de espuma de 0,5 cm. Verificou-se que os menores tempos de secagem foram obtidos com a polpa adicionada de albumina-goma guar (F3); todos os modelos de secagem aplicados resultaram em bons ajustes, com destaque para o modelo de Midilli et al. Os valores mais elevados da difusividade efetiva foram observados nas amostras com albumina-guar (F3), seguidas pelas com albumina-xantana (F1); a energia de ativação para as secagens entre 50 e 80 °C foi maior na combinação albumina-xantana (F1), e equivalentes na albumina-CMC (F2) e albumina-guar (F3). As amostras com albumina-guar (F3) apresentaram maiores entalpia e entropia e as amostras com albumina-xantana (F1), as maiores energias livres de Gibbs. Todos os modelos resultaram em bons ajustes das isotermas de adsorção de água dos pós da polpa mista, com o modelo de Halsey superando os demais na maior parte das temperaturas e formulações; as isotermas de adsorção de água dos pós de polpa mista obtidas de todas as amostras se classificam como do Tipo II. A técnica de secagem em camada de espuma proporcionou a produção de pós de polpa mista com qualidade tecnológica adequada à preparação de produtos alimentícios.

**Palavras-chave:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; desidratação; difusividade efetiva; energia de ativação.

### Abstract

Acerola is a fruit rich in nutrients, mainly vitamin C. Jambolan is a fruit with several bioactive compounds, of phenolic origin. The combination of the two pulps, therefore, makes up a product combining important phytochemical principles. In view of the high perishability of the pulps, processing through drying is a promising alternative for increasing the useful life. In view of this, the work performed had the objective of studying the drying in foam layer of the mixed pulp of jambolão and acerola, adjusting twelve mathematical models to describe the drying kinetics, calculate the effective diffusivities, the thermodynamic properties and the adsorption isotherms of jambolão and acerola powders. Three formulations were made with the mixed pulp, all containing 1% albumin combined with 0.5% xanthan gum (F1), 0.5% carboxymethylcellulose - CMC (F2) and 0.5% guar gum (F3), dehydrated at 50 °C; 60; 70 and 80 °C in the foam layer thickness of 0.5 cm. The shortest drying times obtained were with the pulp added with albumin-guar gum (F3); all the drying models applied resulted in good adjustments, with emphasis on the model by Midilli

et al. The highest values of effective diffusivity were observed in the samples with albumin-guar (F3), followed by those with albumin-xanthan (F1); the activation energy for drying between 50 and 80 °C was higher in the albumin-xanthan (F1) combination, and equivalent in albumin-CMC (F2) and albumin-guar (F3). The samples with guar albumin (F3) showed greater enthalpy and entropy and the samples with albumin-xanthan (F1), the greater free Gibbs energies. All models resulted in good adjustments of the water adsorption isotherms of the mixed pulp powders, with the Halsey model surpassing the others in most temperatures and formulations; the water adsorption isotherms of mixed pulp powders obtained from all samples receive Type II classification. In summary, the foam layer drying technique provided the production of mixed pulp powders with technological quality suitable for the preparation of food products.

**Keywords:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; dehydration; effective diffusivity; activation energy.

## 1 Introdução

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) é uma fruta tropical rica em vitamina C e compostos fenólicos (NOGUEIRA et al., 2019). Por causa das condições favoráveis do solo e do clima o Brasil é um grande produtor de acerola na América do Sul (MALEGORI et al., 2017). Apesar de ter sabor agradável, com predominância ácida, é largamente consumida por possuir o mais elevado teor de ácido ascórbico entre as frutas comercialmente disponíveis, mantendo teores apreciáveis mesmo após ser submetida a processamentos potencialmente degradadores.

A *Syzygium cumini* (L.) Skeels é uma espécie arbórea com origem na Ásia tropical, especificamente na Índia (SERAGLIO et al., 2018). Também plenamente adaptada às condições edafoclimáticas brasileiras, se dissemina com facilidade, confundindo-se com exemplares de mata nativa. Produz o jambolão ou jamelão, com predominância de sabor doce e adstringente, cuja intensidade se reduz com o avanço da maturação. Apresenta diversos compostos bioativos, bem como macro e micronutrientes, nutricionalmente importantes (PANGHAL et al., 2019). Se notabiliza pela presença de antocianinas, cuja pigmentação identifica os espécimes em época de safra com cor roxo-azulada característica, no perímetro do solo sob a copa.

Uma dieta saudável tornou-se uma demanda importante do consumidor. Dentro desse cenário, as frutas se destacam em razão do elevado teor de vitaminas, minerais e compostos bioativos. Frutas são alimentos sazonais, o que restringe a oferta e causa grande variabilidade nos preços durante o ano. Além disso, são susceptíveis à rápida deterioração fisiológica pós-colheita, com alto custo de transporte e armazenamento. Para o pleno aproveitamento dessas

matérias-primas, é indispensável submetê-las a processos que estendam sua vida útil e permitam oferecê-las ao consumidor de forma prática e versátil. Uma das alternativas mais promissoras disponíveis é a secagem (CHHIKARA et al., 2018).

A secagem em camada de espuma é uma tendência na formulação de produtos desidratados devido às vantagens inerentes que oferece (QADRI; SRIVASTAVA, 2017). É uma secagem adequada para alimentos sensíveis ao calor, com alto teor de açúcar e viscosos, geralmente difíceis de secar. É uma técnica de secagem eficaz, superior a outros métodos em termos de tempo de secagem, economia e menor degradação de qualidade do alimento em pó. Relata-se que os materiais secos mostram baixa temperatura de transição vítrea, reidratação favorável e retenção de compostos voláteis (QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2019).

A camada de espuma é um processo que envolve a conversão de um material líquido ou semilíquido em espuma estável pela adição de gás, seguida de secagem em ar quente. Inicialmente, é adicionado um agente espumante e/ou estabilizantes na matéria-prima líquida (SANGAMITHRA et al., 2015). Em seguida, a mistura é batida mecanicamente até a espuma ser formada, apresentando dispersão uniforme de gás, sendo então espalhada em bandeja e submetida à secagem usando uma corrente de ar quente à pressão atmosférica, numa temperatura variando de 50 °C a 80 °C, até atingir o teor de água desejado (TAN; SULAIMAN, 2019).

As espumas formam um sistema bifásico, no qual um gás é disperso em uma fina camada de líquido (HARDY; JIDEANI, 2017). As bolhas de gás na espuma fornecem estrutura porosa e grande área de superfície, aumentando a taxa de secagem e reduzindo o tempo de processo (VARHAN; ELMAS; KOÇ, 2019). Uma vez formada a dispersão, a espuma sofre várias alterações. A difusão do gás através da fase contínua nas bolhas maiores aumenta ainda mais seu tamanho, enquanto os menores se dissolvem por um fenômeno identificado como maturação de Ostwald. As bolhas tendem a subir formando segregação no topo (BUCHMANN et al., 2019). Polpa mista de jambolão e acerola forma uma combinação com alto potencial nutritivo, particularmente por conter compostos bioativos como ácido ascórbico e compostos fenólicos, compondo, além disso, sabor e cor atrativos. A secagem e transformação em pó dessa polpa mista resultam em um produto potencialmente interessante para a agroindústria e para o consumidor. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da formulação e das temperaturas de secagem sobre a cinética de secagem em camada de espuma da polpa mista de jambolão e acerola e o comportamento higroscópico dos produtos em pó da polpa mista obtidos.



## 2 Material e métodos

### 2.1 Matérias-primas

Foram utilizados como matérias-primas exemplares maduros de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), provenientes do município de Macaíba, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m) e os aditivos albumina (Infinity Pharma<sup>®</sup>, Campinas, SP, Brasil); carboximetilcelulose (CMC - Neon<sup>®</sup>, Suzano, SP, Brasil); goma guar (GastronomyLab<sup>®</sup>, Brasília, DF, Brasil) e goma xantana (GastronomyLab<sup>®</sup>, Brasília, DF, Brasil).

### 2.2 Processamento dos frutos

Os frutos foram colhidos, maduros, quando apresentavam cor da casca vermelha na acerola e roxo escuro no jambolão. Foram selecionados manualmente de forma a eliminar os exemplares que apresentavam danos físicos. Procedeu-se lavagem dos frutos em água corrente, seguida de sanitização por imersão dos frutos em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm durante 15 minutos. Posteriormente, foram enxaguados e passados em despulpadora horizontal (Itametal<sup>®</sup>, modelo compacta, Itabuna, BA, Brasil), provida de peneira com malha de 4 mm de abertura, seguido de refinamento em peneira com malha de 2 mm de abertura. As polpas foram envasadas em embalagens de polietileno de baixa densidade e armazenadas em freezer com temperatura controlada de  $-18 \pm 2$  °C.

### 2.3 Formulações

A elaboração da polpa mista procedeu-se pela mistura de partes iguais das polpas integrais de jambolão e acerola (proporção 1:1) e homogeneização em liquidificador doméstico durante 1 minuto.

Foram preparadas 3 formulações para o processo de secagem em camada de espuma: F1 (polpa + 1% albumina + 0,5% goma xantana); F2 (polpa + 1,0% albumina + 0,5% CMC); F3 (polpa + 1,0% albumina + 0,5% goma guar). As espumas foram elaboradas pela mistura da polpa mista e aditivos submetidas a batimento em batedeira doméstica (Arno<sup>®</sup>, Deluxe, 300 W, Itatiaia, RJ, Brasil) na velocidade máxima durante diferentes tempos determinados em testes preliminares, F1 por 30 minutos; F2 por 20 minutos e F3 por 5 minutos.

## 2.4 Cinética de secagem

Cada espuma produzida das formulações foi espalhada, em triplicata, sobre bandejas de aço inoxidável, compondo espessura da camada de espuma de 0,5 cm, medida com paquímetro digital (Onebycites). As amostras nas bandejas foram levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil) com velocidade do ar de 1,0 m/s, nas temperaturas de 50; 60; 70 e 80 °C. Durante a secagem as bandejas foram pesadas em intervalos regulares de tempo até massa constante. Adotou-se como critério para determinação da massa constante três medidas consecutivas em intervalos regulares de 60 minutos, sem alteração de massa das amostras. O material seco foi removido com espátula plástica, sendo posteriormente triturado em um mini processador (Mallory, modelo Oggi<sup>+</sup>, Maranguape, CE, Brasil) e armazenado em embalagens flexíveis laminadas (composta de uma camada de PET transparente, metalização e filme de polietileno de baixa densidade - PEDB, com gramatura total nominal de 120 g/m<sup>2</sup>, taxa de transmissão de vapor de água de 5,38 g/m<sup>2</sup>/dia e taxa de permeabilidade ao oxigênio de 60 cc/m<sup>2</sup>/dia) com dimensões de 10 x 17,5 cm.

Ao final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados o teor de água. Com a obtenção dos dados experimentais calculou-se os valores da razão do teor de água (Equação 1).

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (1)$$

Onde:

RX - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto em um determinado tempo (base seca);

X<sub>0</sub> - teor de água inicial do produto (base seca);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio do produto (base seca).

Com o cálculo da razão do teor de água, traçaram-se as curvas das cinéticas de secagem, representadas pela razão do teor de água (adimensional) em função do tempo de secagem (minutos).

Para a seleção dos modelos mais adequados à descrição do processo de secagem em camada de espuma, 12 equações foram ajustadas aos dados de secagem (Tabela 1).

As análises de regressão não linear pelo método de estimativa Quase-Newton foram realizadas utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

**Tabela 1** – Modelos matemáticos ajustados aos dados de cinética de secagem

Modelo	Equação	nº
Page	$RX = \exp(-k.t^n)$	(2)
Henderson e Pabis	$RX = a.\exp(-k.t)$	(3)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a.\exp(-k.t) + b.\exp(-k_0.t) + \exp(-k_1.t)$	(4)
Logarítmico	$RX = a.\exp(-k.t) + c$	(5)
Midilli et al.	$RX = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	(6)
Verma	$RX = a.\exp(-k.t) + (1 - a) \exp(-k_1.t)$	(7)
Exponencial de dois termos	$RX = a.\exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.a.t)$	(8)
Aproximação da difusão	$RX = a.\exp(-k.t) + (1 - a) \exp(-k.b.t)$	(9)
Logistic	$RX = a_0/1.a.\exp(k.t)$	(10)
Dois termos	$RX = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$	(11)
Newton	$RX = \exp(-k.t)$	(12)
Thompson	$RX = \exp((-a-(a^2 + 4.b.t)^{0.5}) / 2.b)$	(13)

RX - razão do teor de água do produto, adimensional; k, k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub> – constantes de secagem, 1/min; a, a<sub>0</sub>, b, c, n – constantes dos modelos (adimensionais). t – tempo de secagem, em minutos;

Os modelos foram selecionados considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), do desvio quadrático médio (DQM), Equação 14, e do teste de qui-quadrado (χ<sup>2</sup>), Equação 15.

$$DQM = \frac{\sqrt{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}}{n} \quad (14)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

RX<sub>pred</sub> - razão do teor de água predito pelo modelo;

RX<sub>exp</sub> - razão do teor de água experimental;

n - número de observações.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{GLR} \quad (15)$$

Em que:

$RX_{\text{exp}}$  - razão do teor de água experimental;

$RX_{\text{pred}}$  - razão do teor de água predito pelo modelo;

$n$  - número de observações experimentais;

$GLR$  - graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de coeficientes do modelo).

## 2.5 Difusividade efetiva

Os dados das cinéticas de secagem das formulações da polpa mista foram ajustados com o modelo matemático da difusão líquida (Equação 16), que é a solução analítica para a segunda lei de Fick e os coeficientes da difusividade efetiva ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) para cada temperatura foram assim obtidos.

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[ -(2i+1)^2 \pi^2 D_{\text{ef}} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (16)$$

Em que:

$RX$  - razão do teor de água do produto (adimensional);

$D_{\text{ef}}$  - difusividade efetiva ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$L$  - espessura da camada de secagem (m);

$i$  - número de termos;

$t$  - tempo de secagem (s).

Assumiu-se para as formulações da polpa mista a geometria de placa plana, movimento unidirecional do teor de água, distribuição uniforme do teor de água inicial, que a água migra somente por difusão, e que a resistência externa e o encolhimento são desprezíveis, a solução matemática é representada pela Equação 16.

Para resolução da Equação 16 utilizou-se o programa computacional Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2004) por meio de regressão não linear com o método de estimativa Quasi-Newton, com aproximação de 4 termos.

A dependência da difusividade efetiva ( $D_{\text{ef}}$ ) com a temperatura foi avaliada por uma equação do tipo Arrhenius (Equação 17), determinando-se a energia de ativação ( $E_a$ ).

$$D_{\text{ef}} = D_0 \exp \left( \frac{E_a}{RT} \right) \quad (17)$$

Em que:

$D_{ef}$  - difusividade efetiva ( $m^2/s$ );

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $m^2/s$ );

$E_a$  - energia de ativação (KJ/mol);

$R$  - constante universal dos gases (8,314 J/mol K);

$T_a$  - temperatura absoluta (K).

## 2.6 Propriedades termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas entalpia, entropia e energia livre de Gibbs do processo de secagem foram calculadas por meio das Equações 18, 19 e 20, respectivamente.

$$\Delta H = E_a RT \quad (18)$$

$$\Delta S = R \left[ \ln(D_0) - \ln\left(\frac{k_B}{h_p}\right) - \ln(T) \right] \quad (19)$$

$$\Delta G = \Delta H - (T)\Delta S \quad (20)$$

Em que:

$\Delta G$  - energia livre de Gibbs (J/mol);

$\Delta H$  - entalpia específica (J/mol);

$\Delta S$  - entropia específica (J/mol K);

$k_B$  - constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K);

$h_p$  - constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J/s);

$T$  - temperatura absoluta (K).

## 2.7 Comportamento higroscópico

O comportamento higroscópico dos pós das formulações obtidos nas secagens em camada de espuma foi avaliado através da determinação das isotermas de adsorção de água a 25 °C. Utilizou-se o método indireto dinâmico, descrito por Crapiste; Rotstein (1982), com as leituras da atividade de água feitas em higrômetro Aqualab modelo 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA). O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 21).

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} \times 100 \quad (21)$$

Em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, base seca (%);

$m_e$  - massa da amostra no equilíbrio (g);

$m_s$  - massa seca da amostra (g).

Os modelos matemáticos apresentados na Tabela 2 foram ajustados aos dados experimentais das isotermas utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0, por meio de regressão não linear pelo método Quasi- Newton.

**Tabela 2** – Modelos matemáticos das isotermas de adsorção de água

Designação	Modelo	n°
GAB (Guggenheim, Anderson e Boer)	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$	(22)
Peleg	$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$	(23)
Oswin	$X_e = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$	(24)
Halsey	$X_e = \left[ -a / \ln a_w \right]^{\frac{1}{b}}$	(25)
Kuhn	$X_e = \left( \frac{A}{\log a_w} \right) + B$	(26)
Iglesias e Chirife	$X_e = A + \left[ B \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right) \right]$	(27)

$X_e$  -teor de água de equilíbrio (% bs);  $a_w$  - atividade de água;  $X_m$ -teor de água na monocamada molecular (% bs); C e K - parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - constantes dos modelos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P) (Equação 28) foram os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados das isotermas de adsorção de água.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_{\text{exp}} - X_{\text{pred}})}{X_{\text{exp}}} \quad (28)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);

$X_{\text{exp}}$  - valores obtidos experimentalmente;

$X_{\text{pred}}$  - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

### 3 Resultados e discussão

Na Tabela 3 apresenta-se o tempo, o rendimento e teor de água das amostras F1, F2 e F3 submetidas à secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.

**Tabela 3** – Rendimento de pó, tempo de secagem e teor de água das formulações de polpa mista das secagens em camada de espuma na faixa de temperatura de 50 a 80 °C

Formulações	T (°C)	Tempo (min)	Rendimento de pó (%)	Teor de água (% bu)	Teor de água (% bs)
F1	50	510	9,71	12,07	13,73
	60	330	11,40	10,52	11,75
	70	300	10,63	9,04	9,94
	80	270	10,83	9,19	10,13
F2	50	510	11,00	13,70	15,88
	60	450	11,28	13,16	15,16
	70	330	11,27	12,64	14,47
	80	270	10,21	9,29	10,25
F3	50	390	10,53	13,46	15,56
	60	270	10,93	12,69	14,54
	70	210	11,36	10,95	12,30
	80	180	11,65	8,27	9,01

bu - base úmida; bs - base seca. Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

Observam-se reduções progressivas no tempo de secagem com os aumentos de temperatura nas três formulações, com tempos aproximados entre as formulações F1 e F2 e redução mais acentuada nos tempos da formulação contendo goma guar, F3, em todas as temperaturas de secagem. O aumento de 30 °C reduziu o tempo total de secagem em 47% nas formulações F1 e F2, e 54% na formulação F3. O rendimento da secagem apresentou pouca variação entre formulações e temperaturas aplicadas, enquanto o teor de água foi reduzido entre as temperaturas, mas em diferentes percentuais entre temperaturas subsequentes conforme cada formulação, verificando-se o valor mais baixo na formulação F3.

Cuevas et al. (2018) reportaram ainda o teor de água final de 10% (bu), realizando a secagem de biomassas de azeitona em seis temperaturas diferentes, estando entre 70 a 120 °C.

Tan e Sulaiman (2019) estudaram a cinética de secagem da espuma de *Hibiscus sabdariffa* L. a 50 °C, relatando um tempo de 6 horas para atingir um teor de água final de 5 a 7%.

Gomes, Almeida e Oliveira (2017) em estudo com secagem em camada de espuma de polpa de acerola a 60, 70 e 80 °C observaram tempos de cinética de secagem iguais a 5, 3 e 3 h, respectivamente.

Tavares et al. (2019), estudando a secagem em camada de espuma de uva BRS Violeta em diferentes temperaturas, observaram redução de 52% no tempo de secagem no aumento de 60 para 80 °C, com estes produtos em pó obtidos após 6,25 e 2,67 horas, respectivamente.

Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos dados da cinética de secagem da formulação F1, com respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM).

**Tabela 4** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens da formulação F1 (1% albumina + 0,5% goma xantana) com espessura da camada de 0,5 cm

Modelo	T (°C)	Parâmetros						$R^2$	$\chi^2$	DQM
		a	K	b	$k_0$	C	$k_1$			
Henderson e Pabis modificado	50	0,3542	0,0087	0,3542	0,0087	0,3541	0,0087	0,9850	0,0027	0,0454
	60	0,3616	0,0130	0,3616	0,0130	0,3616	0,0131	0,9829	0,0033	0,0490
	70	0,3615	0,0157	0,3615	0,0157	0,3615	0,0157	0,9814	0,0036	0,0509
	80	0,3612	0,0173	0,3612	0,0173	0,3612	0,0173	0,9844	0,0030	0,0460
Midilli et al.		a	B	n	k					
	50	0,9776	-0,00005	1,3627	0,0013			0,9979	0,0003	0,0171
	60	0,9817	-0,00004	1,4618	0,0015			0,9990	0,0002	0,0118
	70	0,9745	-0,00005	1,4916	0,0017			0,9978	0,0004	0,0174
	80	0,9821	-0,00004	1,4383	0,0025			0,9990	0,0002	0,0114
Dois termos		a	$k_0$	$k_1$	b					
	50	0,5320	0,0088	0,0088	0,5320			0,9849	0,0025	0,0456
	60	0,5420	0,0131	0,0131	0,5429			0,9829	0,0029	0,0490
	70	0,5413	0,0157	0,0157	0,5436			0,9814	0,0032	0,0509
	80	0,5427	0,0173	0,0173	0,5412			0,9844	0,0026	0,0460
Aproximação da difusão		a	B	k						
	50	-261,9565	0,9971	0,0156				0,9964	0,0006	0,0222
	60	-256,4889	0,9966	0,0245				0,9976	0,0004	0,0184
	70	-285,0497	0,9970	0,0291				0,9959	0,0007	0,0239
	80	-137,2101	0,9939	0,0320				0,9979	0,0003	0,0170
Logarítmico		a	K	c						
	50	1,1351	0,0072	-0,0910				0,9917	0,0013	0,0338
	60	1,1503	0,0110	-0,0852				0,9997	0,0017	0,0380
	70	1,1426	0,0134	-0,0758				0,9979	0,0020	0,0410
	80	1,1386	0,0148	-0,0728				0,9904	0,0015	0,0361
Verma		a	K	$k_1$						



	50	-2,6888	0,0037	0,0046	0,9915	0,0013	0,0342
	60	-16,5881	0,0252	0,0239	0,9976	0,0004	0,0184
	70	0,2275	0,0142	0,0142	0,9729	0,0044	0,0614
	80	0,1080	0,0157	0,0157	0,9761	0,0038	0,0570
		<b>a<sub>0</sub></b>	<b>A</b>	<b>k</b>			
<b>Logistic</b>	50	0,0767	0,0722	0,0087	0,9850	0,0023	0,0454
	60	0,1097	0,1011	0,0131	0,9829	0,0028	0,0490
	70	0,0565	0,0520	0,0157	0,9814	0,0030	0,0509
	80	0,1828	0,1687	0,0173	0,9844	0,0025	0,0460
		<b>k</b>	<b>N</b>				
<b>Page</b>	50	0,0016	1,3339		0,9967	0,0005	0,0212
	60	0,0018	1,4271		0,9984	0,0002	0,0148
	70	0,0024	1,4231		0,9970	0,0005	0,0204
	80	0,0030	1,4006		0,9986	0,0002	0,0139
		<b>a</b>	<b>K</b>				
<b>Henderson e Pabis</b>	50	1,0624	0,0087		0,9850	0,0022	0,0454
	60	1,0849	0,0131		0,9829	0,0026	0,0490
	70	1,0850	0,0157		0,9814	0,0029	0,0509
	80	1,0839	0,0173		0,9844	0,0024	0,0460
		<b>a</b>	<b>B</b>				
<b>Thompson</b>	50	-2953,10	1,8446		0,9793	0,0031	0,0533
	60	-3031,15	1,8945		0,9738	0,0040	0,0606
	70	-2118,03	1,8755		0,9729	0,0042	0,0614
	80	-2474,88	1,9018		0,9761	0,0036	0,0570
		<b>a</b>	<b>K</b>				
<b>Exponencial de dois termos</b>	50	0,0020	3,9903		0,9790	0,0031	0,0538
	60	0,0019	6,1372		0,9734	0,0041	0,0611
	70	0,0018	7,8485		0,9725	0,0042	0,0619
	80	0,0021	7,5546		0,9756	0,0037	0,0575
		<b>k</b>					
<b>Newton</b>	50	0,0080			0,9793	0,0030	0,0533
	60	0,0118			0,9738	0,0038	0,0606
	70	0,0142			0,9729	0,0040	0,0614
	80	0,0157			0,9761	0,0034	0,0570

Observa-se comportamento de aumentos do parâmetro k com o aumento da temperatura. A constante de secagem k pode ser utilizada como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura, tendendo a aumentar com esta, visto que temperaturas elevadas acarretam maiores taxas de secagem atingindo o teor de água de equilíbrio mais rápido. O parâmetro n possui um efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água (MENDONÇA et al., 2019).

Os modelos ajustados apresentaram altos valores de  $R^2$  ( $\geq 0,97$ ), baixos valores de qui-quadrado ( $\leq 0,004$ ) e de DQM ( $\leq 0,06$ ) nas temperaturas avaliadas, indicando alta proximidade entre os valores estimados pelos modelos e os dados experimentais. Em muitos trabalhos com secagem de polpas de frutas, valores semelhantes de  $R^2$  entre diferentes

modelos tornam o DQM o critério de escolha para a seleção dos melhores ajustes (FEITOSA et al., 2017).

A seleção e a recomendação do melhor modelo fundamentam-se no número de parâmetros favoráveis (MOSCON et al., 2017). Com bons ajustes pelos modelos de Page, Aproximação da difusão e Logarítmico, o modelo de Midilli et al. (2002) apresentou o conjunto de melhores parâmetros para a representação das cinéticas de secagem da formulação F1.

Vimercati et al. (2019) encontraram o maior valor de  $R^2$  e o menor erro padrão para o modelo de Page durante a modelagem matemática da secagem em camada de espuma de polpa de morango (*Fragaria* sp.).

No estudo de Maciel et al. (2017), observou-se que o modelo de Midilli et al. (2002) foi o que melhor descreveu a secagem em camada de espuma da polpa de goiaba (*Psidium guajava*).

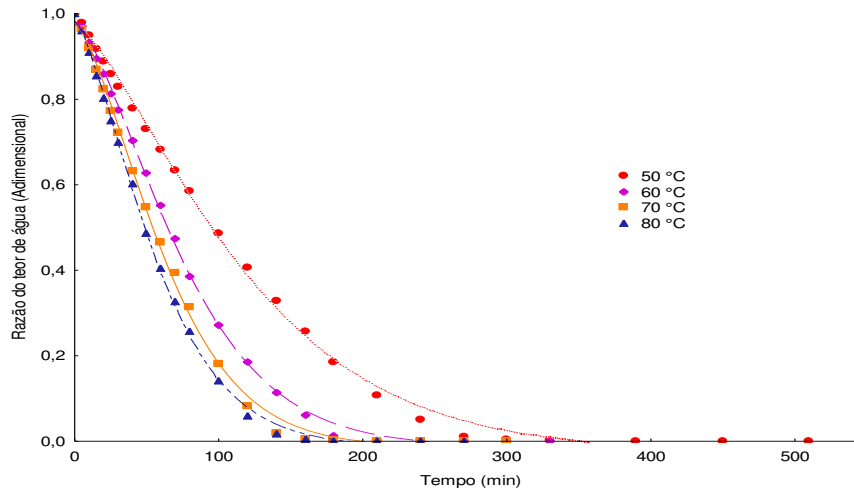
Freitas et al. (2018) observaram entre os modelos testados que o de Midilli et al. (2002) apresentou os melhores ajustes, para a cinética de secagem de polpa de cajá amarelo (*Spondias mombin* L.).

Da mesma forma, Mphahlele, Pathare e Opara (2019) constataram que o modelo de Midilli et al. (2002) representou com mais precisão as características de secagem de camada fina (0,5 cm) de casca de romã na faixa de 40 a 60 °C, com o maior valor de  $R^2$  em comparação com outros modelos de secagem.

Na Figura 1 são apresentados os dados da cinética de secagem da formulação F1, com ajustes das curvas pelo modelo de Midilli et al. (2002). Destaca-se entre as curvas o distanciamento da curva referente a 50 °C em relação às outras, resultado de taxas de secagem mais acentuadas nas temperaturas a partir de 60 °C, a partir da qual se observa menores incrementos até 80 °C.

Conforme Morais et al. (2019), no início da secagem, a umidade superficial do produto é facilmente eliminada, o que justifica as maiores taxas de secagem. No entanto, à medida que o processo de desidratação continua a umidade localizada no interior da amostra precisa se mover para a superfície, resultando em resistência à difusão e redução na taxa de secagem.

A taxa de secagem aumenta à medida que a temperatura é elevada até que a temperatura da superfície atinja o seu equilíbrio (ONWUDE et al., 2016).



**Figura 1** – Curvas de cinética de secagem em camada de espuma da formulação F1 na faixa de temperatura de 50 a 80 °C com ajustes com o modelo de Midilli et al.

Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos dados da cinética de secagem da formulação F2, com respectivos coeficientes de determinação, qui-quadrados e desvios quadráticos médios.

**Tabela 5** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens da formulação F2 (1% albumina + 0,5% CMC) com espessura da camada de 0,5 cm

Modelo	T (°C)	Parâmetros					$R^2$	$\chi^2$	DQM	
		a	k	b	$K_0$	c				$K_1$
Henderson e Pabis modificado	50	0,3507	0,0077	0,3507	0,0077	0,3507	0,0077	0,9954	0,0098	0,0862
	60	0,3550	0,0106	0,3550	0,0106	0,3550	0,0106	0,9874	0,0023	0,0415
	70	0,3552	0,0122	0,3552	0,0122	0,3552	0,0122	0,9873	0,0023	0,0410
	80	0,3598	0,0146	0,3598	0,0146	0,3598	0,0146	0,9825	0,0034	0,0485
Midilli et al.		<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>k</b>					
	50	0,9862	-0,00004	1,2754	0,0018			0,9997	0,0001	0,0092
	60	0,9790	-0,00004	1,3593	0,0018			0,9987	0,0002	0,0134
	70	0,9802	-0,00006	1,3455	0,0023			0,9989	0,0002	0,0123
80	0,9793	-0,00007	1,4336	0,0020			0,9988	0,0002	0,0124	
Dois termos		<b>a</b>	<b><math>K_0</math></b>	<b><math>K_1</math></b>	<b>b</b>					
	50	0,5135	0,0077	0,0077	0,5398			0,9954	0,0014	0,0343
	60	0,5339	0,0106	0,0106	0,5311			0,9874	0,0021	0,0415
	70	0,5328	0,0122	0,0122	0,5328			0,9873	0,0021	0,0410
80	0,5407	0,0184	0,0184	0,5407			0,9823	0,0030	0,0490	
Aproximação da difusão		<b>a</b>	<b>b</b>	<b>k</b>						
	50	-111,2881	0,9937	0,0135				0,9994	0,0002	0,0120
	60	-192,0346	0,9960	0,0189				0,9977	0,0004	0,0178
	70	-213,6552	0,9965	0,0217				0,9978	0,0003	0,0171
80	-183,2581	0,9954	0,0341				0,9966	0,0005	0,0214	
Logarítmico		<b>a</b>	<b>k</b>	<b>c</b>						
	50	1,1244	0,0064	-0,0887				0,9980	0,0006	0,0227
60	1,1223	0,0091	-0,0744				0,9929	0,0011	0,0312	

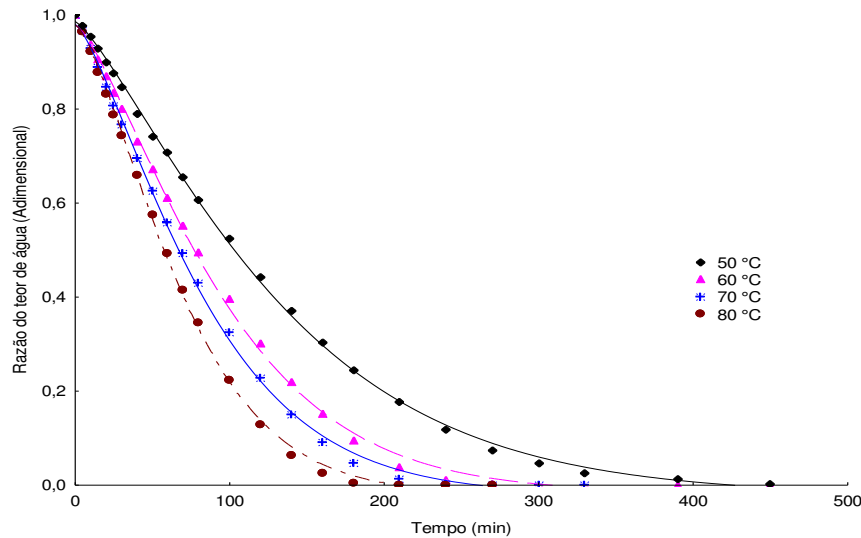
	70	1,1349	0,0101	-0,0903	0,9940	0,0009	0,0282
	80	1,1645	0,0117	-0,1085	0,9912	0,0014	0,0344
		<b>a</b>	<b>k</b>	<b>K<sub>1</sub></b>			
<b>Verma</b>	50	-10,9352	0,0037	0,0039	0,9978	0,0006	0,0239
	60	-11,0522	0,0196	0,0184	0,9977	0,0004	0,0179
	70	-13,0095	0,0224	0,0211	0,9978	0,0003	0,0172
	80	-13,4181	0,0278	0,0261	0,9972	0,0004	0,0195
		<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a</b>	<b>k</b>			
<b>Logistic</b>	50	0,0843	0,0801	0,0077	0,9954	0,0013	0,0343
	60	0,0932	0,0875	0,0106	0,9874	0,0020	0,0415
	70	0,0705	0,0662	0,0122	0,9873	0,0020	0,0410
	80	0,0705	0,0653	0,0146	0,9825	0,0028	0,0485
		<b>k</b>	<b>n</b>				
<b>Page</b>	50	0,0020	1,2609		0,9994	0,0002	0,0126
	60	0,0023	1,3216		0,9979	0,0003	0,0170
	70	0,0028	1,3159		0,9980	0,0003	0,0162
	80	0,0024	1,3987		0,9980	0,0003	0,0164
		<b>a</b>	<b>k</b>				
<b>Henderson e Pabis</b>	50	1,0533	0,0077		0,9931	0,0019	0,0421
	60	1,0650	0,0106		0,9818	0,0027	0,0500
	70	1,0656	0,0122		0,9814	0,0027	0,0496
	80	1,0799	0,0146		0,9739	0,0039	0,0596
		<b>a</b>	<b>b</b>				
<b>Thompson</b>	50	-2960,6333	1,8288		0,9931	0,0019	0,0421
	60	-2684,0877	1,8587		0,9818	0,0027	0,0500
	70	-2514,4537	1,8681		0,9814	0,0027	0,0496
	80	-2579,6763	1,8894		0,9739	0,0039	0,0596
		<b>a</b>	<b>k</b>				
<b>Exponencial de dois termos</b>	50	0,0020	3,5806		0,9929	0,0015	0,0343
	60	0,0019	5,1059		0,9814	0,0028	0,0504
	70	0,0020	5,5505		0,9811	0,0028	0,0501
	80	0,0019	6,8457		0,9735	0,0040	0,0596
		<b>k</b>					
<b>Newton</b>	50	0,0072			0,9931	0,0018	0,0421
	60	0,0098			0,9818	0,0026	0,0500
	70	0,0113			0,9815	0,0026	0,0496
	80	0,0132			0,9739	0,0037	0,0592

Na formulação F2 os valores dos coeficientes de determinação  $\geq 0,97$ , qui-quadrados ( $\leq 0,009$ ) e os desvios quadráticos médios  $\leq 0,08$ , demonstram bons ajustes de todos os modelos, com os melhores resultados alcançados pelos modelos de Midilli et al. (2002), Aproximação da difusão, Logarítmico, Verma e Page, nas quatro temperaturas testadas.

Morais et al. (2019) obtiveram valores de  $R^2$  acima de 0,99 ajustando nos modelos de Midilli et al. (2002), Logarítmico e Page aos dados de secagem da polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.), em temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Para a formulação F2 também houve aumento da constante de secagem k com o aumento da temperatura, indicando que quanto maior a magnitude de k maior a difusividade efetiva no processo de secagem (GARCIA et al., 2019).

Com os melhores parâmetros de ajuste,  $R^2$ ,  $\chi^2$  e DQM, o modelo de Midilli et al. (2002) foi utilizado para os ajustes das cinéticas de secagem da formulação F2, apresentados na Figura 2.



**Figura 2** – Curvas de cinética de secagem em camada de espuma da formulação F2 na faixa de temperatura de 50 a 80 °C com ajustes com o modelo de Midilli et al.

Da mesma forma que o observado na formulação F1, as temperaturas de 60 a 80 °C se destacam da de 50 °C, revelando uma correspondência mais proporcional entre os aumentos de temperatura e a taxa de secagem, com uma resposta menos eficiente da secagem a 50 °C.

Em outros produtos agrícolas o modelo de Midilli também proporcionou bons ajustes aos dados de cinética de secagem, como relatado por Zhou et al. (2019) estudando a cinética de secagem (60, 70 e 80 °C) em camada fina de bagaço de pêsego; por Santos et al. (2019) na secagem de polpa de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C) e espessuras da camada (0,3 e 0,6 cm; por Souza et al. (2019) na descrição da secagem de mesocarpo externo do pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess), nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C; e por Sousa et al. (2017) no estudo da cinética de secagem da polpa de pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm) nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros dos modelos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem da formulação F3, com respectivos coeficientes de determinação, qui-quadrados e desvios quadráticos médios. Os ajustes resultaram em altos valores de  $R^2$ , variando entre 0,97 e 0,99,  $\chi^2$  menores que 0,005 e DQM inferiores a 0,07.

Do conjunto de critérios, o modelo de Midilli et al. (2002) apresentou maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), e menores DQM e  $\chi^2$ .

**Tabela 6** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens da formulação F3 (1% albumina + 0,5% goma guar) com espessura da camada de 0,5 cm

Modelo	T (°C)	Parâmetros						$R^2$	$\chi^2$	DQM
		a	k	b	$K_0$	c	$K_1$			
Henderson e Pabis modificado	50	0,3531	0,0111	0,3531	0,0111	0,3531	0,0111	0,9858	0,0026	0,0437
	60	0,3611	0,0155	0,3611	0,0155	0,3611	0,0155	0,9829	0,0033	0,0482
	70	0,3544	0,0182	0,3544	0,0182	0,3544	0,0182	0,9804	0,0037	0,0498
	80	0,3616	0,0206	0,3616	0,0207	0,3616	0,0207	0,9810	0,0038	0,0495
Midilli et al.		a	b	n	K					
	50	0,9754	-0,0001	1,3448	0,0020			0,9982	0,0003	0,0156
	60	0,9811	-0,0001	1,4406	0,0021			0,9990	0,0002	0,0118
	70	0,9616	-0,0001	1,4317	0,0027			0,9971	0,0005	0,0193
Dois termos		a	$K_0$	$K_1$	B					
	50	0,5255	0,0111	0,0111	0,5340			0,9858	0,0023	0,0437
	60	0,5416	0,0155	0,0155	0,5416			0,9829	0,0029	0,0482
	70	0,5317	0,0183	0,0183	0,5317			0,9804	0,0032	0,0498
Aproximação da difusão		a	b	k						
	50	-215,2005	0,9965	0,0197			0,9968	0,0005	0,0208	
	60	-239,6884	0,9965	0,0286			0,9975	0,0004	0,0186	
	70	-259,0376	0,9970	0,0327			0,9945	0,0008	0,0264	
Logarítmico		a	k	c						
	50	1,1292	0,0092	-0,0900			0,9926	0,0011	0,0315	
	60	1,1565	0,0127	-0,0953			0,9907	0,0015	0,0356	
	70	1,1541	0,0144	-0,1167			0,9904	0,0015	0,0349	
Verma		a	k	$K_1$						
	50	-14,6814	0,0202	0,0192			0,9968	0,0005	0,0208	
	60	0,2775	0,0140	0,0140			0,9740	0,0041	0,0593	
	70	-17,5445	0,0334	0,0320			0,9945	0,0008	0,0264	
Logistic		$a_0$	a	k						
	50	0,0864	0,0816	0,0111			0,9858	0,0022	0,0437	
	60	0,0572	0,0528	0,0155			0,9829	0,0027	0,0482	
	70	0,1442	0,1356	0,0183			0,9804	0,0030	0,0498	
Page		k	n							
	50	0,0025	1,3152			0,9969	0,0005	0,0204		
	60	0,0025	1,4067			0,9983	0,0003	0,0153		
	70	0,0042	1,3468			0,9950	0,0007	0,0252		
Henderson e Pabis		a	k							
	50	1,0594	0,0111			0,9858	0,0021	0,0437		
	60	1,0832	0,0155			0,9829	0,0026	0,0482		
	70	1,0635	0,0183			0,9804	0,0028	0,0498		
	80	1,0851	0,0207			0,9810	0,0028	0,0495		

		a	b			
Thompson	50	-2731,7365	1,8672	0,9809	0,0028	0,0506
	60	-2285,9661	1,8824	0,9740	0,0039	0,0593
	70	-2243,9707	1,8999	0,9749	0,0036	0,0563
	80	-1750,9642	1,8850	0,9717	0,0041	0,0605
Exponencial de dois termos		a	k			
	50	0,0020	5,0296	0,9805	0,0029	0,0511
	60	0,0018	7,5819	0,9736	0,0040	0,0598
	70	0,0021	8,1843	0,9746	0,0036	0,0567
	80	0,0020	9,4963	0,9712	0,0042	0,0610
Newton		k				
	50	0,0103		0,9809	0,0027	0,0506
	60	0,0140		0,9740	0,0037	0,0593
	70	0,0169		0,9749	0,0034	0,0563
	80	0,0187		0,9717	0,0039	0,0605

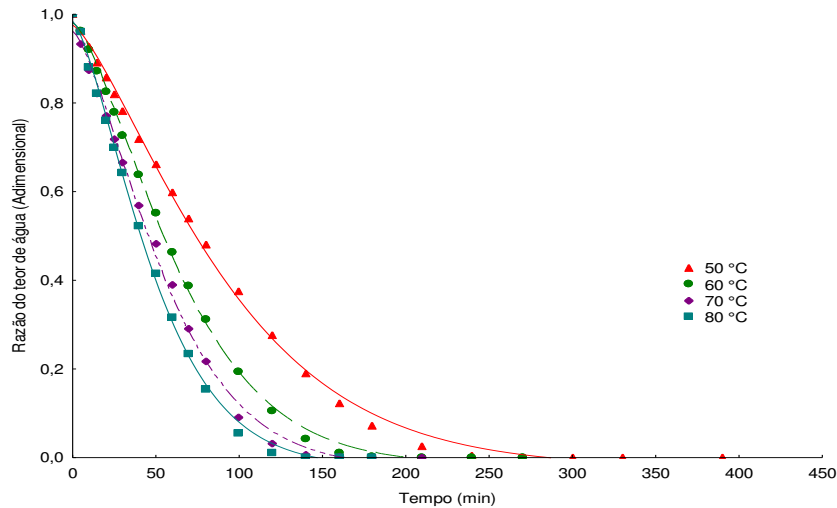
As secagens em temperaturas mais altas resultaram em constantes de secagem (k) mais altas, o que ocorre devido à maior difusividade da água na superfície da espuma como consequência do aumento da energia cinética (BULJAT et al., 2019).

Resende et al. (2019) ao realizarem a cinética de secagem de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) verificaram que o modelo de Page apresentou os melhores ajustes, com maiores  $R^2$  e menores erros padrões médios.

Araújo et al. (2017), trabalhando com secagem em camada de espuma de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) também verificaram que os modelos de Page, Newton e Henderson e Pabis demonstraram ajustes satisfatórios aos dados experimentais, com temperatura da superfície atinja o equilíbrio (ONWUDE et al., 2016).

Coefficientes de determinação  $R^2$  entre 0,96 e 0,99 para todas as temperaturas. Pê et al. (2016), ao secarem em camada de espuma diferentes formulações de polpa de caqui (*Diospyros kaki*, Linn), observaram que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos Logarítmico, Page e Midilli et al. (2002) e Kucuk, em todos os ajustes, foram superiores a 0,99, com desvios quadráticos médios inferiores a 0,01.

Na Figura 3 têm-se os dados da secagem da formulação F3 com as curvas de ajuste pelo modelo de Midilli et al. (2002). Nota-se a semelhança do comportamento das curvas de secagem da formulação F3 com o das formulações F1 e F2, em que a curva a 50 °C se distancia do comportamento das curvas de secagem de 60 a 80 °C, indicando que o aumento de 10 °C na temperatura de secagem entre 50 e 60 °C foi mais efetivo na elevação da taxa de secagem do que os aumentos intervalados de 10 °C entre 60 e 80 °C, cujas curvas indicam aumentos de taxa mais progressivos.



**Figura 3** – Curvas de cinética de secagem em camada de espuma da formulação F3 na faixa de temperatura de 50 a 80 °C com ajustes com o modelo de Midilli et al.

$D_{ef}$  é o parâmetro difusional de massa na lei de Fick, representa o termo condutor de todo o mecanismo de transferência de umidade no interior do produto, como difusão molecular, fluxo capilar, fluxo Knudsen e fluxo hidrodinâmico (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018).

A segunda lei de Fick pode ser usada para interpretar os dados de secagem experimentais, porque a difusão de umidade é o principal fenômeno de transporte que descreve o período de taxa de secagem decrescente (HENRÍQUEZ et al., 2014).

Na Tabela 7 são apresentados os valores dos coeficientes de difusividade efetiva ( $m^2/s$ ) das três formulações de polpa mista, nas temperaturas de secagem de 50 a 80 °C, obtidos aplicando-se o modelo da difusão líquida.

À medida que a temperatura de secagem elevou-se houve aumento na difusividade efetiva de água das amostras, correspondendo a aumentos de 98,06; 87,51 e 84,15% nas formulações F1, F2 e F3, respectivamente, comparando-se os extremos das temperaturas. A amostra F1 demonstrou o maior incremento na difusividade entre as amostras, porém, a amostra F3 partiu de uma difusividade mais elevada a 50 °C, de forma que esta formulação apresentou o valor mais elevado, entre as três avaliadas, a 80 °C. Um aumento na temperatura causa uma redução na viscosidade da água e aumenta a mobilidade das moléculas do líquido. Isso pode ser atribuído ao fato de que, a uma temperatura mais alta, as moléculas de água estão fracamente ligadas à matriz alimentar, portanto, requerem menos energia para sua remoção (TOUIL CHEMKHI; ZAGROUBA, 2014).



**Tabela 7** – Coeficientes de difusividade efetiva obtidos na cinética de secagem das formulações nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C

Formulações	T (°C)	D <sub>ef</sub> (m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>
F1	50	2,580 x 10 <sup>-10</sup>	0,9204
	60	3,843 x 10 <sup>-10</sup>	0,9118
	70	4,644 x 10 <sup>-10</sup>	0,9143
	80	5,110 x 10 <sup>-10</sup>	0,9178
F2	50	2,291 x 10 <sup>-10</sup>	0,9267
	60	3,162 x 10 <sup>-10</sup>	0,9258
	70	3,637 x 10 <sup>-10</sup>	0,9236
	80	4,296 x 10 <sup>-10</sup>	0,9101
F3	50	3,325 x 10 <sup>-10</sup>	0,9248
	60	4,550 x 10 <sup>-10</sup>	0,9116
	70	5,527 x 10 <sup>-10</sup>	0,9175
	80	6,123 x 10 <sup>-10</sup>	0,9079

Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

Comportamento semelhante de aumento da D<sub>ef</sub> a medida que a temperatura de secagem aumenta foi verificado por Dehghannya et al. (2019) na secagem em camada de espuma (50, 60 e 70 °C) do suco de limão (*Citrus latifolia*), decorrente do aumento da pressão de vapor dentro da espuma em consequência das temperaturas mais altas, com resultados de D<sub>ef</sub> entre 1,061 x 10<sup>-8</sup> e 1,666 x 10<sup>-8</sup> m<sup>2</sup>/s; por Salahi, Mohebbi e Taghizadeh (2015) na secagem em camada de espuma da polpa de melão cantaloupe (*Cucumis melo*), com valores de difusividade efetiva entre 4,053 x 10<sup>-9</sup> e 1,216 x 10<sup>-8</sup> m<sup>2</sup>/s em temperaturas de 40 a 70 °C, respectivamente; por Alves e Rodovalho (2016) na secagem de polpa de abacate (*Persea Americana Mill*) que relataram um comportamento linear crescente dos valores da difusividade efetiva em resposta a elevação da temperatura de secagem, com valores de 2,14 x 10<sup>-7</sup>; 2,19 x 10<sup>-7</sup>; 3,73 x 10<sup>-7</sup> e 7,27 x 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s para 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente; por Freitas et al. (2018), secando polpa de cajá amarelo (*Spondias mombin* L.), com difusividades efetivas entre 5,18 x 10<sup>-9</sup> e 2,68 x 10<sup>-8</sup> m<sup>2</sup>/s entre as temperaturas de 50 a 80 °C; e por Morais et al. (2019), estudando a secagem da polpa de bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) com valores difusividade efetiva de 0,57 x 10<sup>-9</sup>, 0,95 x 10<sup>-9</sup> e 1,34 x 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C, respectivamente. A difusividade efetiva representa a velocidade com que a água migra do interior para a superfície do material (GONELI et al., 2014).

Valores próximos de  $D_{ef}$  foram constatados por Asokapandian et al. (2015) na secagem de melão (*Cucumis melo*) com dados de difusividade entre  $4,13 \times 10^{-10}$  e  $6,73 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , em que o aumento foi observado com o incremento da temperatura de 50 a 70 °C. O efeito da temperatura do ar de secagem na difusividade da água é igualmente explicado pelo aumento da pressão de vapor no interior do produto (WILSON et al., 2014).

O efeito da temperatura de secagem na difusividade efetiva é geralmente explicado usando uma equação do tipo Arrhenius, para obter uma melhor concordância entre os dados experimentais e os preditos (HEE; CHONG, 2015). Com isso, na Tabela 8 mostram-se os valores da energia de ativação para a difusividade efetiva no processo de secagem das formulações F1; F2 e F3 na faixa de temperatura entre 50 e 80 °C.

**Tabela 8** – Valores dos parâmetros da equação de Arrhenius, energia de ativação ( $E_a$ ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das formulações de polpa mista nas temperaturas de 50 a 80 °C

Formulações	$D_0$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$E_a$ (KJ/mol)	$R^2$
F1	$7,99 \times 10^{-7}$	21,3923	0,8922
F2	$3,13 \times 10^{-7}$	19,2795	0,9545
F3	$4,63 \times 10^{-7}$	19,3183	0,9390

Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

De acordo com Zogzas, Maroulis e Marinos-Kouris (1996), a energia de ativação para a difusividade efetiva em produtos agrícolas varia de 12,7 a 110 kJ/mol, faixa na qual estão incluídas as energias de ativação determinadas nas secagens das formulações da polpa mista. Os resultados mostram que a F1 requereu maior energia de ativação para o processo de secagem e que as demais formulações apresentaram valores próximos entre si.

A energia de ativação é a energia que precisa ser fornecida ao material para iniciar a liberação da água. Se a energia de ativação é maior, a liberação da água da amostra se torna mais lenta. Geralmente, os valores da energia de ativação estão relacionados à natureza do material a ser seco e, portanto, se a água estiver mais fortemente ligada à estrutura do material, será mais difícil removê-la (BEZERRA et al., 2015).

Quanto menor a energia de ativação, maior a difusividade da água no produto, porque a energia de ativação indica a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração interna nas estruturas do produto (CORRÊA et al., 2007).

No estudo da degradação térmica da polpa de açaí, executado por Costa, Silva e Vieira (2018), na faixa de temperatura de 40 a 80 °C, os autores determinaram uma energia de ativação de 24,16 kJ/mol.

Souza et al. (2019), verificaram energia de ativação de 11,01 kJ/mol para o mesocarpo de pequi para as temperaturas de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C. Mohammadi, Tabatabaekolour e Motevali (2018) relataram valor para a energia de ativação de 29,93 kJ/mol em ensaio de secagem de fatias de kiwis.

Komolafe et al. (2019), estudando a secagem solar de alfarroba, determinaram valores de energia de ativação de 21,65 kJ/mol.

Santos et al. (2019), na cinética de secagem da polpa de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.), verificaram energia de ativação de 40,10 kJ/mol para a espessura de 0,3 cm e de 32,41 kJ/mol para a camada de 0,6 cm, valores superiores ao determinado nas formulações de polpa mista. O alto valor de  $E_a$  implica grande necessidade de energia, uma vez que uma barreira mais alta deve ser superada para iniciar o processo de liberação de água.

Na Tabela 9 são apresentadas as propriedades termodinâmicas com os valores da variação de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para as formulações F1; F2 e F3 submetidas a secagens em temperaturas entre 50 e 80 °C.

**Tabela 9** – Propriedades termodinâmicas das cinéticas de secagem das formulações da polpa mista nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C

Formulações	T (°C)	$\Delta H$ (KJ/mol)	$\Delta S$ (KJ/mol K)	$\Delta G$ (KJ/mol)
F1	50	18,7069	-0,3623	135,7289
	60	18,6237	-0,3626	139,3532
	70	18,5406	-0,3628	142,9799
	80	18,4575	-0,3630	146,6091
F2	50	16,5941	-0,3701	136,1286
	60	16,5109	-0,3703	139,8306
	70	16,4278	-0,3706	143,5352
	80	16,3447	-0,3708	147,2421
F3	50	16,6329	-0,3668	135,1172
	60	16,5497	-0,3671	138,7867
	70	16,4666	-0,3673	142,4587
	80	16,3835	-0,3676	146,1332

Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%)

Os valores de  $\Delta H$  foram positivos indicando que no processo de secagem em camada de espuma o calor é absorvido pela amostra através da transferência de calor, ou seja, é um processo endotérmico. Com o aumento da temperatura de secagem, houve uma redução nos valores da variação de entalpia. A entalpia está relacionada à energia necessária para remover a água ligada ao produto (OLIVEIRA et al., 2010), de forma que temperaturas mais altas acarretam em variação de entalpias menores.

Os valores de  $\Delta H$  para a polpa mista variaram entre 16,3447 e 18,7069 kJ/mol, sendo inferiores aos da secagem convectiva da polpa de bacaba (34,2391 a 34,4054 kJ/mol) para temperaturas entre 40 e 60 °C (MORAIS et al., 2019). Estas diferenças provavelmente se devem a composição química das polpas, temperaturas e ao tipo de processo de secagem, em que a secagem em camada de espuma favorece a liberação da água necessitando de menor energia para remover a água do produto. Observa-se que entre as três formulações F2 teve os menores valores de  $\Delta H$ , seguida de F3 e F1, indicando que F2 necessita de menor quantidade de energia para secar.

Verifica-se que a entropia sofreu redução com o incremento na temperatura de secagem, indicando que quanto menor a entropia há menor excitação das moléculas de água, ou seja, existe um maior grau de ordem entre as moléculas de água e o produto (SILVA et al., 2016).

Corrêa et al. (2011) relataram que o aumento da temperatura causa uma diminuição na entropia do material devido à diminuição do teor de água durante a secagem, causando também dificuldade no movimento das moléculas de água no produto. A entropia é uma medida da desorganização de um sistema no nível microscópico, quando seus valores são negativos é um indicativo de que o processo de secagem foi desenvolvido do estado desorganizado para o estado organizado e que quando  $\Delta S < 0$  o processo pode ser caracterizado como lento, indicando que o material acabou de passar por algum tipo de processo de envelhecimento físico ou químico, levando o produto a um estado próximo ao seu próprio equilíbrio termodinâmico (ANABEL et al., 2018).

A energia livre de Gibbs caracteriza o processo de secagem como espontâneo ou não espontâneo e indica o quanto a água está ligada ao produto. A energia livre de Gibbs está relacionada ao trabalho necessário para disponibilizar os locais de sorção. A energia livre de Gibbs aumentou com o aumento da temperatura de secagem e o sinal positivo ( $\Delta G > 0$ ) deste indicando que a reação foi endergônica, isto é, não-espontânea, em que é necessária a adição de energia proveniente do ar circundante para que a retirada da água do produto aconteça.

Guimarães et al. (2018), ao investigarem a secagem de okara (resíduo de extrato de leguminosas) (782281,17 a 83344,58 J/mol) e Alves e Rodovalho (2016), ao estudarem a secagem em camada de espuma de polpa de abacate (*Persea Americana Mill*) (56,4216 a 58,2565 KJ/mol) igualmente observaram aumento da energia livre de Gibbs com o aumento da temperatura.

Silva, Crispim e Vieira (2016), determinando os parâmetros termodinâmicos da degradação térmica das antocianinas em polpa de acerola (*Malpighia emarginata D.C.*), encontraram valores de energia livre de Gibbs inferiores (86,670 a 88,603 kJ/mol) para temperaturas entre 60 e 90 °C.

Santos et al. (2019) observaram redução da entalpia (29,8025 a 29,6363 kJ/mol) e aumento da entropia (-0,3246 a -0,3251 kJ/mol K) e energia livre de Gibbs (131,4560 a 137,9535 kJ/mol) na secagem de polpa de polpa de patuá (*Oenocarpus bataua Mart.*) sob diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C) na espessuras da camada de 0,6 cm.

Nas Tabelas 10, 11 e 12 são apresentados os parâmetros dos modelos utilizados ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água da formulação F1, F2 e F3, respectivamente com respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P). Os modelos aplicados foram bem ajustados aos dados experimentais, com valores de desvios percentuais médios (P) abaixo de 10% e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,96 para as quatro temperaturas de secagem. Dentre todos os modelos, os de Peleg, GAB e Halsey se destacam, com o de Halsey superando os demais na maioria das temperaturas, exceto a 80 °C.

Ajustes com bom desempenho foram encontrados por Paul e Das (2019) para o modelo de Peleg para as isotermas de polpa de jambolão (*Syzygium cumini L.*) em pó; por Mansoori et al. (2020) para os modelos de GAB e Peleg também considerados adequados para representar os dados das isotermas de adsorção de água de xarope de tâmara (*Phoenix dactylifera*) em pó; por Choque-Quispe et al. (2018) em que o modelo de Peleg proporcionou bom ajuste aos dados das isotermas de adsorção de água de farinha de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) das variedades Oscar Blanco e Noel Vietmeyer; por Vivek, Mishra e Pradhan (2019) que verificaram que entre os modelos testados, o de Peleg apresentou os maiores  $R^2$  e menores erros quadráticos médios para o pó probiótico da cereja Sohiong (*Prunus nepalensis*); e por Stępień, Witczak e Witczak (2020) que verificaram que o modelo de Peleg foi o mais adequado para representar os dados de sorção dos pós de abacate, cujas curvas apresentaram formato sigmoide.

**Tabela 10** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água da F1 (1% albumina + 0,5% goma xantana)

Modelo	T (°C)	Parâmetros				$R^2$	P (%)
		$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$		
Peleg	50	101,7175	8,3042	45,4937	0,7633	0,9985	1,57
	60	151,1170	12,6379	51,0892	0,9785	0,9962	2,69
	70	126,4254	10,3193	46,6933	0,9903	0,9988	1,40
	80	42,1643	1,2087	103,6623	10,0651	0,9990	1,68
GAB		$X_m$	$C$	$k$			
	50	14,2623	229,8026	0,9237		0,9990	1,40
	60	12,9350	721,9351	0,9388		0,9946	2,36
	70	12,0732	94,2796	0,9528		0,9986	1,65
Halsey		$a$	$B$				
	50	140,2541	1,6153		0,9991	1,12	
	60	97,3816	1,5414		0,9961	1,82	
	70	62,2437	1,4363		0,9991	1,10	
Oswin		$a$	$b$				
	50	26,4651	0,5242		0,9967	2,32	
	60	24,2921	0,5538		0,9900	3,67	
	70	22,3288	0,5991		0,9960	3,25	
Iglesias e Chirife		$a$	$b$				
	50	19,40102	8,077442		0,9803	5,79	
	60	17,92583	7,892889		0,9921	4,26	
	70	15,74117	8,171585		0,9904	4,76	
Kuhn		$a$	$b$				
	50	8,185813	27,19998		0,9819	5,48	
	60	7,828085	14,49718		0,9930	4,00	
	70	8,107246	12,18156		0,9915	4,45	
	80	7,373214	8,123573		0,9848	6,98	

**Tabela 11** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água da formulação F2 (1% albumina + 0,5% carboximetilcelulose)

Modelo	T (°C)	Parâmetros				$R^2$	P (%)
		$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$		
Peleg	50	148,0892	9,9842	49,1765	0,7605	0,9991	1,38
	60	136,0421	10,2253	50,1728	0,8629	0,9989	1,68
	70	126,1944	10,4848	42,5160	1,0995	0,9989	2,10
	80	45,7059	1,3761	128,0321	11,660	0,9986	2,48
GAB		$X_m$	$C$	$k$			
	50	14,3997	512,3985	0,9443		0,9973	2,49
	60	13,9627	133,7661	0,9414		0,9983	1,72

	70	10,7530	13,3171	0,9632	0,9993	1,52
	80	10,5840	5,5755	0,9622	0,9986	2,49
	<b>a</b>	<b>b</b>				
<b>Halsey</b>	50	105,9036	1,5138		0,9974	2,59
	60	102,3432	1,5222		0,9991	1,30
	70	34,5416	1,3199		0,9995	1,37
	80	25,2565	1,2570		0,9981	3,31
	<b>a</b>	<b>b</b>				
<b>Oswin</b>	50	27,2567	0,5634		0,9900	5,24
	60	26,0781	0,5638		0,9945	3,76
	70	18,7776	0,6531		0,9977	3,00
	80	16,9044	0,6879		0,9986	1,93
	<b>a</b>	<b>b</b>				
<b>Iglesias e Chirife</b>	50	19,7091	9,0960		0,9944	3,62
	60	19,2190	8,5508		0,9902	4,97
	70	11,9889	7,9816		0,9918	5,73
	80	9,9017	7,9295		0,9899	7,28
	<b>a</b>	<b>b</b>				
<b>Kuhn</b>	50	9,0175	15,7860		0,9952	3,29
	60	8,4837	15,5065		0,9914	4,65
	70	7,9159	8,5337		0,9929	5,32
	80	7,8641	6,4695		0,9910	6,81

**Tabela 12** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água da formulação F3 (1% albumina + 0,5% goma guar)

Modelo	T (°C)	Parâmetros				$R^2$	P (%)
		$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$		
<b>Peleg</b>	50	98,4415	7,0898	53,9543	0,5444	0,9986	1,28
	60	137,8498	10,5740	53,1896	0,8148	0,9975	2,23
	70	122,5180	9,6686	48,5293	0,8458	0,9985	1,70
	80	138,2958	13,5929	51,7524	1,4172	0,9980	2,83
		<b>X<sub>m</sub></b>	<b>C</b>	<b>K</b>			
<b>GAB</b>	50	20,6836	2017,8603	0,8738		0,9985	1,40
	60	15,2586	1222,2461	0,9274		0,9962	2,46
	70	13,8462	358,1348	0,9366		0,9984	1,81
	80	11,2481	7,4346	0,9521		0,9971	3,19
	<b>a</b>	<b>b</b>					
<b>Halsey</b>	50	801,7931	1,9448			0,9991	0,90
	60	161,0470	1,6172			0,9978	1,68
	70	111,6700	1,5528			0,9989	1,40
	80	36,3912	1,3418			0,9970	3,95
	<b>a</b>	<b>b</b>					
<b>Oswin</b>	50	37,2073	0,4371			0,9964	1,74
	60	28,6105	0,5276			0,9919	3,67
	70	25,9215	0,5514			0,9954	3,28
	80	18,6202	0,6439			0,9978	2,52

		<b>a</b>	<b>b</b>		
<b>Iglesias e Chirife</b>	50	30,7991	8,2462	0,9718	5,80
	60	21,7283	8,5037	0,9904	4,65
	70	19,1660	8,2310	0,9872	5,45
	80	11,9889	7,6649	0,9850	8,58
<b>Kuhn</b>	50	8,1858	27,2000	0,9735	5,58
	60	8,4357	18,0401	0,9914	4,37
	70	8,1665	15,5947	0,9884	5,15
	80	7,6060	8,6613	0,9863	8,17

O modelo de GAB tem sido relatado na literatura como o modelo que melhor descreve as isotermas de sorção de alimentos, e suas constantes mostram dependência com a temperatura, fornecendo uma boa descrição do comportamento de sorção em uma ampla gama de atividade de água 0-0,9 (SAPPATI; NAYAK; VANWALSUM, 2017).

Os três parâmetros ( $X_m$ ,  $C$  e  $K$ ) caracterizam as interações da água com os macroconstituintes dos alimentos. As constantes do modelo de GAB ( $X_m$  e  $C$ ) mostraram tendência à redução de acordo com o aumento da temperatura de secagem, enquanto o parâmetro  $K$  do modelo mostrou uma tendência geral de aumento, com valores inferiores a 1. O valor de  $K$  fornece uma medida das interações entre as moléculas nas multicamadas com o adsorvente e geralmente varia entre o valor da energia das moléculas na monocamada e o da água líquida, ou seja, se  $K = 1$  a multicamada tem a propriedade da água líquida (FARAHNAKY et al. 2016). Para valores de  $K < 1$ , o modelo de GAB se torna bem representado para altas  $a_w$  ( $\geq 0,9$ ), e são típicos de produtos alimentícios, como em maracujá em pó (AMARAL et al., 2016), mirtilo em pó (TAO et al., 2018), cajá em pó (GOMES et al., 2019), entre outros produtos.

Os resultados mostram que a formulação F1 dentre as demais apresentou os menores valores de  $X_m$  nas temperaturas de secagem de 50 e 60 °C e F2 nas temperaturas de 70 e 80 °C. O valor de  $X_m$  indica a quantidade de água que está fortemente adsorvida a sítios específicos da superfície do produto alimentício e é considerado como o teor de água ideal para garantir a estabilidade durante o período de armazenamento com perda mínima de qualidade (GOMES et al., 2019).

As taxas de reação de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são minimizadas para valores abaixo de  $X_m$  (GOULA et al., 2008). Valores de  $X_m$  inferiores foram encontrados para o pó de cupuaçu (7,99% bs) (POMBO et al., 2019); e para o pó de acerola (4,752% bs) (RIBEIRO et al., 2019); superior para o pó de frutos do medronheiro



(*Arbutus unedo* L.) com 22,3% a 20 °C (AKSIL et al., 2019); e próximo ao do pó de seriguela com 11,53% a 20 °C (LINS et al., 2017).

Em relação a constante C do modelo de GAB, que compreende uma função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água, observa-se que nas formulações F2 e F1 os valores de C foram inferiores a 200 a partir de 60 e 70 °C, respectivamente, estando dentro da faixa comumente encontrada na literatura (PINTO et al., 2019).

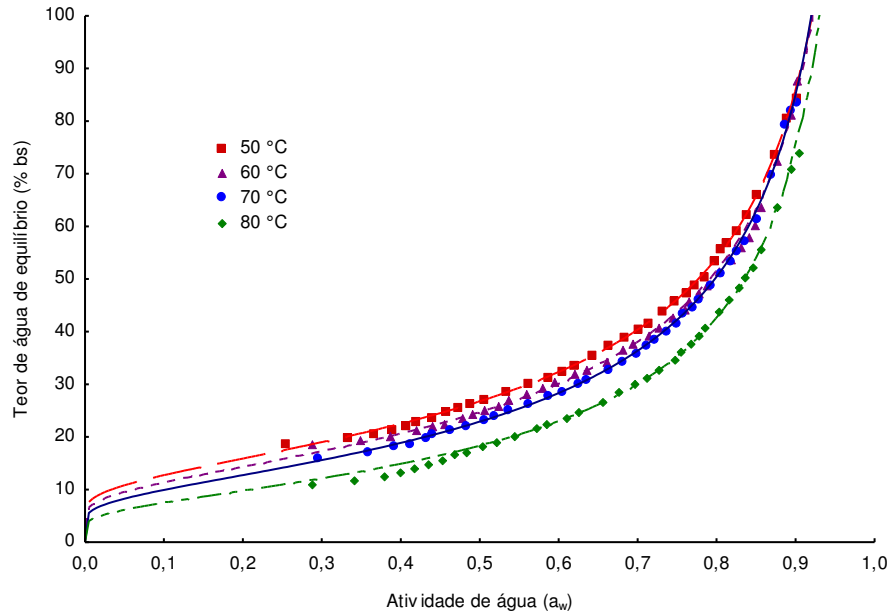
As constantes C e K de GAB são um indicativo do tipo de isoterma, conforme a classificação de Blahovec (2004), as isotermas de adsorção de água das polpas mistas em pó nas três formulações são do tipo II, com forma sigmoideal, em razão estarem estes parâmetros dentro do intervalo de  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ . A isoterma do tipo II é consequência dos efeitos sinérgicos da lei de Raoult, aos efeitos capilares e à interação da água na superfície do material estudado (ANDRADE et al., 2017). As isotermas do tipo II exibem adsorção multicamada e são típicas de alimentos ou substâncias de alto peso molecular, como os biopolímeros (STĘPIEŃ; WITCZAK; WITCZAK, 2020).

Paul e Das (2019) classificaram as isotermas do pó de jambolão como Tipo III, típicas de produtos ricos em açúcares solúveis. Então, provavelmente essa discrepância na classificação com relação aos pós da polpa mista se deve a adição da goma guar, goma xantana e CMC que são biopolímeros. Isotermas do tipo II foram classificadas também para o pó de frutos do medronheiro (*Arbutus unedo* L.) (AKSIL et al., 2019); para o pó de seriguela (LINS et al., 2017); para o pó de abacate com inulina e abacate com maltodextrina (STĘPIEŃ; WITCZAK; WITCZAK, 2020); para o pó de fruto de *Haematocarpus validus* (SASIKUMAR et al., 2020); para o amido de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (PUMACAHUA-RAMOS et al., 2017).

Nas Figuras de 4 a 6 são apresentados os dados experimentais do teor de água de equilíbrio em função da atividade da água das formulações F1; F2 e F3 em pó, ajustados pelo modelo de Halsey através de regressão não linear. O comportamento das isotermas está relacionado a presença de compostos solúveis e porosidade dos pós (MOLINA et al., 2014). Observa-se nestas figuras que existem pontos de inflexão nas curvas, sendo um indicativo de que ocorre valores de  $C > 2$  para o modelo de GAB, e as isotermas são do tipo II (GARCÍA-TEJEDA & BARRERA-FIGUEROA, 2019). Verifica-se que em  $a_w$  acima de 0,6 os teores de água de equilíbrio aumentam rapidamente em todas as amostras.

Observa-se para F1 na Figura 4 o pouco efeito do aumento de temperatura de secagem sobre a redução do teor de água de equilíbrio, para uma  $a_w$  constante, entre as

amostras obtidas de 50 a 70 °C, com diferença mais acentuada entre a amostra a 80 °C e as demais. Em regiões próximas a  $a_w = 0,9$  o efeito da temperatura se anula, exceto na amostra da temperatura mais alta.

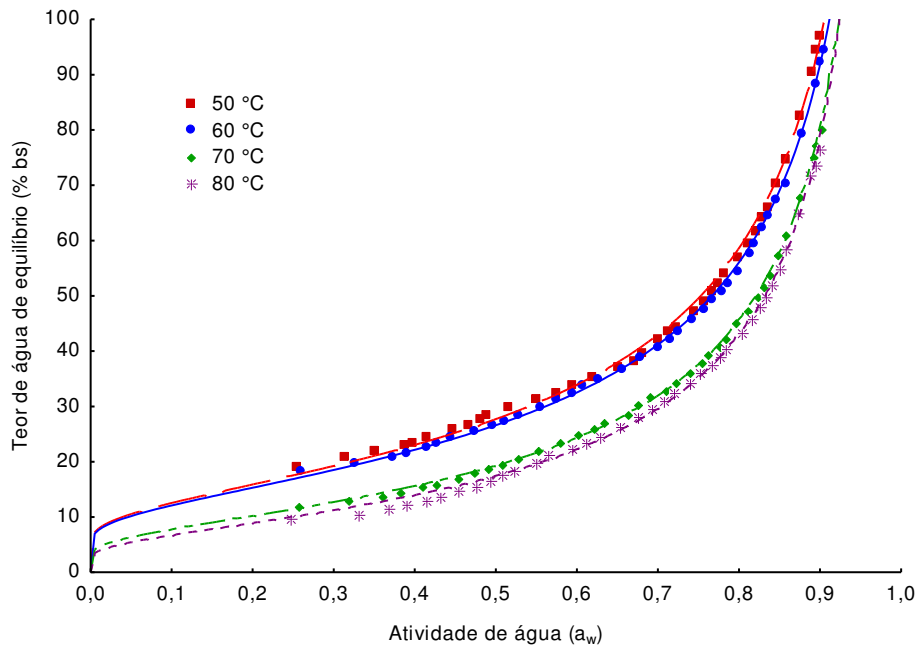


**Figuras 4** – Isotermas de adsorção de água a 25 °C da formulação F1 em pó, para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo de Halsey

Na Figura 5, representando as isotermas da formulação F2, observam-se as curvas divididas em dois conjuntos representando as amostras das temperaturas de 50 e 60 °C e 70 e 80 °C, com um intervalo mais acentuado entre as curvas representando as amostras a 60 e a 70 °C.

Na Figura 5 tem-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de água a 25 °C da formulação F2 em pó, para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo de Halsey.

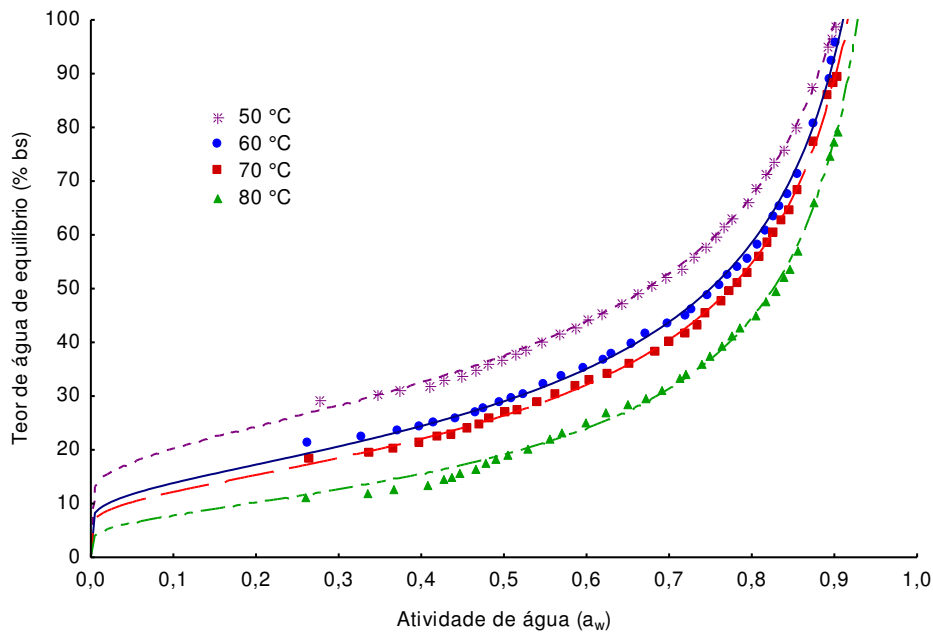
Verificou-se que o teor de água de equilíbrio aumentou gradativamente com o aumento da atividade de água, com valores de  $a_w$  oscilando entre 0,254 e 0,901 e teor de água de equilíbrio entre 14,77 a 87,14% (bs). O teor de água de equilíbrio no final das curvas apresentou valores de 97,17; 94,65; 80,13 e 76,64% bs, para as temperaturas dos pós de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente.



**Figura 5** – Isoterma de adsorção de água a 25 °C da formulação F2 em pó, para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo de Halsey

Na Figura 6 são apresentadas as isotermas de adsorção de água a 25 °C das amostras F3, com ajustes pelo modelo de Halsey. De forma distinta das isotermas das formulações F1 e F2, as curvas das amostras obtidas nas temperaturas intermediárias, 60 e 70 °C apresentaram valores aproximados e igualmente intermediários, enquanto as amostras a 50 e a 80 °C se destacaram com diferenças acentuadas de teor de água de equilíbrio acima e abaixo destas, respectivamente. Em atividades de água próximas de 0,9 as curvas referentes às três temperaturas mais baixas convergem para valores próximos, enquanto a curva da amostra a 80 °C mantém-se distanciada, com valores inferiores.

De acordo com Saleh et al. (2018), as isotermas são classificadas em três regiões, que correspondem aos diferentes tipos de água ligada que ocorrem nos tecidos: região do teor de água na monocamada, que é mantida por ligações muito fortes; região de teor de água multicamada; e região de água livre, nas quais a água é mantida por ligações fracas. Em consequência, em atividades de água baixas e intermediárias o teor de água aumenta quase linearmente com o aumento da atividade de água; no entanto, em altos valores, o teor de água aumenta rapidamente, em que a adsorção em locais fortemente ativos ocorre em baixas atividades de água.



**Figura 6** – Isothermas de adsorção de água a 25 °C da formulação F3 em pó, para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo de Halsey

#### 4 Conclusões

As amostras de polpa mista de jambolão e acerola adicionada do aditivo albumina-goma guar (F3) secaram em tempos mais curtos, seguidas pelas amostras com os aditivos albumina-goma xantana (F1), nas temperaturas intermediárias.

Os modelos de secagem aplicados se ajustaram satisfatoriamente as cinéticas de secagens de todas as amostras no intervalo de temperatura de 50 a 80 °C, com melhor desempenho pelo modelo de Midilli et al. (2002).

Os coeficientes de difusividade efetiva apresentaram valores maiores nas amostras de polpa mista de jambolão e acerola adicionadas de albumina-goma guar (F3), seguidas pelas amostras com adição de albumina-goma xantana (F2).

A energia de ativação para o processo de secagem entre 50 e 80 °C foi mais elevada na formulação de polpa utilizando albumina-goma xantana (F1), com as amostras adicionadas de albumina-CMC (F2) e albumina-goma guar (F3) se equivalendo.

As entalpias e entropias diminuiram com a temperatura de secagem, e as energias livres de Gibbs aumentaram; as maiores entalpias e entropias foram determinadas nas amostras com albumina-goma guar (F3) e as maiores energias livres de Gibbs nas amostras com albumina-goma xantana (F1).

Os modelos utilizados para estimativa das isotermas de adsorção de água se ajustaram satisfatoriamente as relações de teor de água de equilíbrio e atividade de água, com melhores resultados obtidos com o modelo de Halsey. As isotermas de adsorção de água dos pós de polpa mista obtida se classificam como Tipo II.

A técnica de secagem em camada de espuma possibilitou a produção de pós de polpa mista com qualidade tecnológica adequada à preparação de produtos alimentícios.

## 5 Referências bibliográficas

AKSIL, T.; ABBAS, M.; TRARI, M.; BENAMARA, S. Water adsorption on lyophilized *Arbutus unedo* L. fruit powder: determination of thermodynamic parameters. **Microchemical Journal**, v. 145, p. 35-41, 2019.

ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de abacate cv ‘quintal’ (*Persea Americana Mill*). **Revista Agrotecnologia**, v. 6, n. 1, p. 86-99, 2016.

AMARAL, I. C.; SILVA, M. T. S.; PEREIRA, D. F.; SILVA, E. K.; RESENDE, J. V.; BRAGA JÚNIOR, R. A. Effect of carrier agents on the physical and thermal stability of freeze-dried passion fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) pulp. **Drying Technology**, v. 34, n. 6, p. 713–722, 2016.

ANABEL, F.; CELIA, R.; GERMÁN, M.; ROSA, R. Determination of effective moisture diffusivity and thermodynamic properties variation of regional wastes under different atmospheres. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 12, p. 248-257, 2018.

ANDRADE, E. T.; FIGUEIRA, V. G.; TEIXEIRA, L. P.; TAVEIRA, J. H. S.; BORÉM, F. M. Determination of the hygroscopic equilibrium and isosteric heat of aji chili pepper. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 865–871, 2017.

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016152, 2017.

ASOKAPANDIAN, S.; VENKATACHALAM, S.; SWAMY, G. J.; KUPPUSAMY, K. Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 6, p. 692-701, 2015.

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750–755, 2015.

- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.
- BUCHMANN, L.; BERTSCH, P.; BÖCKER, L.; KRÄHENMANN, U.; FISCHER, P.; MATHYS, A. Adsorption kinetics and foaming properties of soluble microalgae fractions at the air/water interface. **Food Hydrocolloids**, v. 97, 105182, 2019.
- BULJAT, A. M.; JURINA, T.; TUŠEK, A. J.; VALINGER, D.; KLJUSURIĆ, J. G.; BENKOVIĆ, M. Applicability of foam mat drying process for production of instant cocoa powder enriched with lavender extract. **Food Technology and Biotechnology**, v. 57, n. 2, p. 159-170, 2019.
- CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152–167, 2018.
- CHHIKARA, N.; KAUR, R.; JAGLAN, S.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds, pharmacological and food application of *Syzygium cumini* - A review. **Food & Function**, v. 9, n. 12, p. 6096-6115, 2018.
- CHOQUE-QUISPE, D.; LIGARDA-SAMANEZ, C. A.; RAMOS-PACHECO, B. S.; TAIPE-PARDO, F.; PERALTA-GUEVARA, D. E.; REYNOSO, A. M. S. Evaluación de las isothermas de sorción de granos y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). **Revista Ion**, v. 31, n. 2, p. 67-81, 2018.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO A. P.; GONELI, A. L. G.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.
- CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; GONELI, A. L. D.; RESENDE O.; CAMPOS, S. C. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 575-581, 2011.
- COSTA, H. C. B.; SILVA, D. O.; VIEIRA, L. G. M. Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. **Journal of Food Engineering**, v. 239, p. 104–113, 2018.
- CRAPISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CUEVAS, M.; MARTÍNEZ-CARTAS, M. L.; PÉREZ-VILLAREJO, L.; HERNÁNDEZ, L.; GARCÍA-MARTÍN, J. F.; SÁNCHEZ, S. Drying kinetics and effective water diffusivities in olive stone and olive-tree pruning. **Renewable Energy**, v. 132, n. 1, p. 911-920, 2018.

- DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. A multivariable approach for intensification of foam-mat drying process: Empirical and three-dimensional numerical analyses. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 135, p. 22–41, 2019.
- FARAHNAKY, A.; MANSOORI, N.; MAJZOABI, M.; BADI, F. Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: Antiplasticizing effect of maltodextrin. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, n. 5. p. 133-141, 2016.
- FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; LIMA, F. C. S.; OLIVEIRA, E. N. A. Drying and characterization of myrtle pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 858-864, 2017.
- FREITAS, B. S. M.; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; SILVA, R. M.; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430-435, 2018.
- GARCIA, J. N.; ROCHA, R. P.; GONELI, A. L. D.; SMANIOTTO, T. A. S.; TIEPPO, R. C. Cinética de secagem de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). **Global Science Technology**, v. 12, n. 2, p. 1-14, 2019.
- GOMES, L. D. B. C.; ALMEIDA, E. M.; OLIVEIRA, S. N. Cinética de secagem em camada de espuma e caracterização física de acerola em pó. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 178-184, 2017.
- GOMES, M. S. S. O.; POLACHINI, T. C.; LOPES FILHO, J. F.; ROMERO, J. T. The effect of encapsulants on the heat of sorption in vacuum-dried cajá powder. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 4, p. 584-592, 2019.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa agropecuária tropical**, v. 44, n. 1, p. 56–64, 2014.
- GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K.G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n.1, p. 73-83, 2008.
- GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SILVA, J. S.; REZENDE, T. A. M.; EGEEA, M. B. Thermodynamic properties and drying kinetics of “okara”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 418–423, 2018.
- HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560-2572, 2017.

- HEE, Y.Y.; CHONG, G. Drying behaviour of *Andrographis paniculata* in vacuum drying. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 1, p. 393-397, 2015.
- HENRÍQUEZ, C.; CÓRDOVA, A.; ALMONACID, S.; SAAVEDRA, J. Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. **Journal of Food Engineering**, v. 143, n. 3, p. 146-153, 2014.
- KOMOLAFE, C. A.; OJEDIRAN, J. O.; AJAO, F. O.; DADA, O. A.; AFOLABI, Y. T.; OLUWALEYE, I. O.; ALAKE, A. S. Modelling of moisture diffusivity during solar drying of locust beans with thermal storage material under forced and natural convection mode. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 15, e100542, 2019.
- LINS, A. D. F.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; FEITOSA, R. M.; ARAUJO, G. T.; SANTOS, D. C. Adsorption isotherms of the red mombin powder produced in spouted bed dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 562-567, 2017.
- MACIEL, R. M. G.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; SEVERO, L. S.; LIMA, N. D. Mathematical modeling of the foam-mat drying curves of guava pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 721-725, 2017.
- MALEGORI, C.; MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUINI, C.; CASIRAGHI, E. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. **Talanta**, v. 165, p. 112-116, 2017.
- MANSOORI, N.; MAJZOABI, M.; GAVAHIAN, M.; BADI, F.; FARAHNAKY, A. Acacia gum as a natural anti-plasticizer for the production of date syrup powder: Sorption isotherms, physicochemical properties, and data modeling. **Foods**, v. 9, n. 50, p. 1-17, 2020.
- MENDONÇA, A. P.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SILVA, J. R.; ROSA, J. C. Modelagem matemática das curvas de secagem de sementes de duas espécies de andiroba. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 293-303, 2019.
- MOHAMMADI, I.; TABATABAEKOLoor, R.; MOTEVALI, A. Effect of air recirculation and heat pump on mass transfer and energy parameters in drying of kiwifruit slices, **Energy**, v. 170, p. 149-158, 2018.
- MOLINA, R.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, M. R. D. S.; VAGULA, J. M. Physical evaluation and hygroscopic behavior of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) lyophilized pulp powder. **Drying Technology**, v. 32, n. 16, p. 2005-2011, 2014.



- MORAIS, M. F.; SANTOS, J. R. O.; SANTOS, M. P.; SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; LIMA, J. B. Modeling and thermodynamic properties of 'bacaba' pulp drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 702-708, 2019.
- MOSCON, E.S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C.R.; DEVILLA, I.A.; RODOLFO JUNIOR, F. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). **Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 4, p. 318-325, 2017.
- MPHAHLELE, R. R.; PATHARE, P. B.; OPARA, U. L. Drying kinetics of pomegranate fruit peel (cv. Wonderful). **Scientific African**, v. 5, e00145, 2019.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.
- OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; VALENTE, D. S. M.; BOTELHO, F. M. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 3, p. 546-554, 2010.
- ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; JANIUS, R. B.; NAWI, N. M.; ABDAN, K. Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 3, p. 599-618, 2016.
- PANGHAL, A.; KAUR, R.; JANGHU, S.; SHARMA, P.; SHARMA, P.; CHHIKARA, N. Nutritional, phytochemical, functional and sensorial attributes of *Syzygium cumini* L. pulp incorporated pasta. **Food Chemistry**, v.289, p. 723-728, 2019.
- PAUL, I. D.; DAS, M. Moisture sorption isotherm and thermodynamic properties of jamun (*Syzygium cumini* L.) powder made from jamun pulp and seed. **International Journal of Food Studies**, v. 8, p. 111-126, 2019.
- PÊ, P. R.; CARNEIRO, G. G.; PÊ, F. R.; CASTRO, D. S.; SILVA, D. R. S.; MARQUES, L. F. Secagem de polpa de caqui pelo método de camada de espuma. **HOLOS**, Ano. 32, v. 4, p. 77-85, 2016.
- PINTO, E. M. S.; FARIA, L. J. G.; COSTA, W. J. P.; ARAÚJO NETO, C. A. S.; PEREIRA, R. R.; SILVA, C. L. F. Estudo higroscópico da polpa em pó do fruto da pitaya (*Hylocereus costaricensis*) em diferentes concentrações de maltodextrina. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 118, n. 2, p. 1-9, 2019.
- POMBO, J. C. P.; CARMO, J. R.; ARAÚJO, A. L.; MEDEIROS, H. H. B. R.; PENA, R. S. Moisture sorption behavior of cupuassu powder. **The Open Food Science Journal**, v. 11, p. 66-73, 2019.

- PUMACAHUA-RAMOS, A.; LIMAYLLA-GUERRERO, K. M.; TELIS-ROMERO, J.; LOPES FILHO, J. F. Isotermas e calor isostérico de adsorção da água do amido de quinoa. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 15, n. 1, p. 95-104, 2017.
- QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: Drying kinetics and effect on quality attributes. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, e12295, 2017.
- QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K.; YOUSUF, B. Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 10, p. 1667–1676, 2019.
- RESENDE, K. K. O.; SILVA, S. S.; GUEDES, S. F.; LOSS, R. A. Cinética de secagem e avaliação físico-química de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) variedade semínifera. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 74-81, 2019.
- RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of acerola powder obtained by spray-drying. **Acta Scientiarum Technology**, v. 41, n. 1, e35382, 2019.
- SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of cantaloupe (*cucumis melo*): Optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1798-1808, 2015.
- SALEH, R. M.; KARIM, N. A.; HENSEL, O.; STURM, B. Mathematical modelling of adsorption isotherms of Malaysian variety of purple flesh sweet potato at different temperatures. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 7, p. 326-330, 2018.
- SAPPATI, P. K.; NAYAK, B.; VANWALSUM, P. Effect of glass transition on the shrinkage of sugar kelp (*Saccharina latissima*) during hot air convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 210, p. 50-61, 2017.
- SANGAMITHRA, A.; VENKATACHALAM, S.; JOHN, S. G.; KUPPUSWAMY, K. Foam mat drying of food materials: a Review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 3165-3174, 2015.
- SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; FRANCO, F. B.; CASTRO, R. C.; FERREIRA, J. P. L.; SOUZA, M. A. S.; SANTOS, J. C. P. Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas da polpa de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal Food Technology**, v. 22, e2018305, 2019.
- SASIKUMAR, R.; DAS, M.; SAHU, J. K.; DEKA, S. C. Qualitative properties of spray-dried blood fruit (*Haematocarpus validus*) powder and its sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 4, e13373, 2020.

- SERAGLIO, K. T.S.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; DELLA BETTA, F.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649–656, 2018.
- SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of ‘Cabacinha’ pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.
- SILVA, N. L.; CRISPIM, J. M. S.; VIEIRA, R. P. Kinetic and thermodynamic analysis of anthocyanin thermal degradation in acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 4, e13053, 2016.
- SOUSA, E. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GOMES, J. P.; QUEIROZ, A. J. M.; CASTRO, D. S.; LEMOS, D. M. Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 493-498, 2017.
- SOUZA, J. L. F.; OLIVEIRA, D. E. C.; PLÁCIDO, G. R.; EGEA, M. B.; CALIARI, M.; SILVA, M. A. P. Thermodynamic and nutritional properties and drying kinetics of pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) mesocarp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 655-661, 2019.
- STATSOFT, INC. **Programa computacional Statistica 7.0**. E.A.U. 2004.
- STĘPIEŃ, A.; WITCZAK, M.; WITCZAK, T. Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 256-261, 2020.
- TAO, Y.; WU, Y.; YANG, J.; JIANG, N.; WANG, Q.; CHU, D. T.; HAN, Y.; ZHOU, J. Thermodynamic sorption properties, water plasticizing effect and particle characteristics of blueberry powders produced from juices, fruits and pomaces. **Powder Technology**, v. 323, p. 208–218, 2018.
- TAN, S. L.; SULAIMAN, R. Color and rehydration characteristics of natural red colorant of foam mat dried *Hibiscus sabdariffa* L. powder. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 1, p. 89-105, 2019.
- TAVARES, I. M. C.; CASTILHOS, M. B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, e124971, 2019.

- TOUIL, A.; CHEMKHI, S.; ZAGROUBA, F. Moisture diffusivity and shrinkage of fruit and cladode of *Opuntia ficus-indica* during infrared drying. **Journal of Food Processing**, v. 2014, p. 1-9, 2014.
- VARHAN, E.; ELMAS, F.; KOÇ, M. Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, e13022, 2019.
- VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Efeito da temperatura na cinética de secagem em leite de espuma e na degradação de antocianina em morango. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1-12, 2019.
- VIVEK, K.; MISHRA, D.; PRADHAN, R. C. Characterization of spray dried probiotic sohiong fruit powder with *Lactobacillus Plantarum*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 117, e108699, 2019.
- WILSON, R.A.; KADAM, D. M.; CHADHA, S.; GREWAL, M.K.; SHARMA, M. Evaluation of physical and chemical properties of foam-mat dried mango (*Mangifera indica*) powder during storage. **Journal of Food Processing Preservation**, v. 38, n. 4, p. 1866–1874, 2014.
- ZHOU, M.; LI, C.; BI, J.; JIN, X.; LYU, J.; LI, X. Towards understanding the enhancement of moisture diffusion during intermediate-infrared drying of peach pomace based on the glass transition theory. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 54, n. 5, p. 143-151, 2019.
- ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

## ARTIGO 4 – SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DE POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA: EFEITO DE ADITIVOS E DA TEMPERATURA

### Resumo

A acerola é rica em minerais e vitaminas, particularmente vitamina C, sendo uma das maiores fontes naturais desse composto. O jambolão é uma fruta que contém alto teor de compostos fenólicos. Esses frutos possuem propriedades antioxidantes importantes que, associados em uma polpa mista, compõem um material com grande apelo nutricional, interessante para os consumidores e atraente para a agroindústria de frutas. Os processos industriais envolvidos no aproveitamento de polpas de frutas exigem a conversão destas em materiais não perecíveis e, de preferência, armazenáveis em temperatura ambiente. Para atingir esses fins, o processamento tradicional de que se dispõe é a secagem, aplicada com técnicas variadas, entre as quais a secagem em camada de espuma, um dos métodos utilizados para obtenção de pós de frutas. Objetivou-se, neste estudo, avaliar a qualidade físico-química e física de polpa mista de jambolão e acerola em pó obtida por secagem em camada de espuma. Foram produzidas três espumas, sendo F1 composta de polpa mista + 1% albumina + 0,5% goma xantana, F2 polpa mista + 1% albumina + 0,5% carboximetilcelulose, e F3 polpa mista + 1% albumina + 0,5% goma guar, as quais foram distribuídas em bandejas em camadas com espessura de 0,5 cm e desidratadas a 50, 60, 70 e 80 °C, até massa constante. Todas as amostras em pó mostraram-se adequadas para conservação, com baixos teor de água e atividade de água. Os aditivos utilizados nas formulações geraram produtos em pó melhores do que outros sob alguns critérios, mas nenhum foi melhor que os demais em todos os casos. Todas as amostras secas apresentaram altos teores de ácido ascórbico e de compostos bioativos. A formulação com goma xantana (F1) gerou pós com teores mais elevados de proteínas e de flavonoides, enquanto as amostras com carboximetilcelulose (F2) apresentaram teores mais altos de antocianinas, compostos fenólicos e taninos; as formulações elaboradas com goma guar (F3) resultaram em pós com maior teor de carotenoides e melhor solubilidade obtidos em temperaturas de secagem a partir de 60 °C; o aumento nas temperaturas de secagem acarretou reduções no teor de água e da atividade de água, reduziu a acidez, os teores de ácido ascórbico, de flavonoides, de antocianinas, de compostos fenólicos e de taninos, e aumentaram o conteúdo de carotenoides. Portanto, que a secagem em camada de espuma é viável para obtenção de polpa mista de jambolão e acerola em pó e é rica em componentes nutricionais e funcionais.

**Palavras-chave:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; desidratação; albumina; goma xantana; goma guar; carboximetilcelulose

### Abstract

Acerola is rich in minerals and vitamins, particularly vitamin C, and is one of the greatest natural sources of this compound. Jambolão is a fruit that contains a high content of phenolic compounds. These fruits have important antioxidant properties that, combined in a mixed pulp, make up a material with great nutritional appeal, interesting for consumers and attractive for the fruit agribusiness. The industrial processes involved in the use of fruit pulps require their conversion into non-perishable materials and, preferably, storable at room temperature. To achieve these goals, the traditional processing available is drying, applied with various techniques, including drying in foam layer, one of the methods used to obtain fruit powders. The objective of this study was to evaluate the physical-chemical and physical quality of mixed pulp of jambolão and acerola powder obtained by drying in a foam layer. Three foams were produced, F1 consisting of mixed pulp + 1% albumin + 0.5% xanthan

gum, F2 mixed pulp + 1% albumin + 0.5% carboxymethylcellulose, and F3 mixed pulp + 1% albumin + 0.5% guar gum, which were distributed in trays in layers with a thickness of 0.5 cm and dehydrated at 50, 60, 70 and 80 °C, until constant mass. All powder samples proved to be suitable for conservation, with low water content and water activity. The additives used in the formulations generated powder products better than others under some criteria did, but none was better than in all cases. All dry samples showed high levels of ascorbic acid and bioactive compounds. The formulation with xanthan gum (F1) generated powders with higher levels of proteins and flavonoids, while samples with carboxymethylcellulose (F2) showed higher levels of anthocyanins, phenolic compounds and tannins; formulations made with guar gum (F3) resulted in powders with a higher content of carotenoids and better solubility obtained at drying temperatures above 60 °C. The increase in drying temperatures resulted in reductions in water content and water activity, reduced acidity, the levels of ascorbic acid, flavonoids, anthocyanins, phenolic compounds and tannins, and increased the content of carotenoids. Therefore, the drying in foam layer is feasible to obtain mixed pulp of jambolão and acerola powder and is rich in nutritional and functional components.

**Keywords:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; dehydration; albumina; xanthan gum guar gum carboxymethylcellulose.

## 1 Introdução

Polpas de frutas mistas são produtos de uso tradicional, comumente elaboradas com o fim de se obter novos sabores. Com o conhecimento crescente a respeito do papel dos micronutrientes e dos compostos bioativos, associado ao fato de que frutas são fontes naturais destes elementos, tem-se uma nova linha de estudos, em que a elaboração de polpas mistas tem como fim principal a obtenção de combinados com maior potencial bioativo ou nutracêutico. Conforme Carvalho, Mattietto e Beckman (2017) polpas mistas apresentam melhores características nutricionais, pela combinação de nutrientes fornecidos por diferentes frutas, assim como a inovação de sabores.

Dentre as frutas que se destacam por apresentar uma característica nutritiva e bioativa especial, a acerola (*Malpighia emarginata* D. C.), teve seu consumo impulsionado pelo alto teor de ácido ascórbico. Apesar de não ser originária do Brasil, adaptou-se perfeitamente às condições do país. De acordo com Cruz et al. (2019) os plantios brasileiros em grande escala tiveram início em 1949, e hoje quase toda a produção é destinada ao mercado interno.

O jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeells) é uma fruta que tem destaque pelo pigmento arroxeadado que dá cor ao fruto, cuja origem é associada ao alto teor de compostos fenólicos, reportados como elementos com função bioativa. Cresce muito bem em climas quentes, por isso se adaptou com facilidade ao clima do Brasil, com produção de grandes volumes de frutos anualmente, que costumam ser desprezados (BRANDÃO et al., 2019), o que pode ser atribuído ao fato da excelência da sua palatabilidade ser restrita ao estádio

terminal da maturação, ponto em que a casca se mostra extremamente frágil e a senescência progride de forma muito rápida, dificultando o consumo como fruta fresca.

Geralmente, o alto teor de água presente em frutas é o principal fator responsável pelo crescimento de micro-organismos e ocorrência de reações bioquímicas. A perecibilidade e sazonalidade das frutas faz com que haja a necessidade de rápida comercialização e/ou processamento pós-colheita. Por estes motivos, métodos de conservação, como a secagem são de grande relevância para aumentar a vida útil e valor comercial de produtos vegetais (SOUSA et al., 2019).

Na secagem em camada de espuma, um produto líquido é convertido em espuma estável pela adição de espumantes e/ou estabilizantes e colocada para secar em forma de uma fina camada porosa, em temperaturas relativamente baixas e por curtos períodos de tempo, atingindo teores de água suficientemente baixos, para depois ser desintegrada em um pó (TAVARES et al., 2017).

A porosidade da espuma e a maior relação entre área superficial e volume são as razões por trás da alta taxa de transferência de massa nessa técnica, que reduz o tempo do processo (AZIZPOUR et al., 2016). Durante a secagem por ar quente convectivo, o calor é transferido para a superfície do produto por convecção e para suas partes internas por condução. O movimento do vapor de água da superfície do produto para o ar ocorre devido ao gradiente de pressão do vapor de água (DEHGHANNYA et al., 2019). Da elaboração de uma polpa mista de jambolão e acerola, naturalmente rica em princípios bioativos, e a transformação dessa polpa em um pó reconstituível, pode-se obter um produto de alto valor biológico, tanto maior quanto mais bem estudado for o processamento. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a qualidade físico-química e física de pós de polpas mistas de jambolão e acerola, adicionados de três combinações de aditivos, produzidos pela secagem das polpas mistas em camada de espuma em temperaturas de 50 a 80 °C.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Obtenção da polpa mista**

Foram utilizados como matérias-primas exemplares de jambolão (*Syzygium cumini* L.) e de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), provenientes do município de Macaíba, estado do Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m).

Os frutos foram selecionados, lavados em água corrente e higienizados por imersão em água clorada (50 ppm) por 15 minutos. Em seguida, foram despolpados em despolpadora horizontal semi-industrial (Itametal®, modelo compacta, Itabuna, BA, Brasil). As polpas foram envasadas em embalagens de polietileno e armazenadas em freezer ( $-18 \pm 2$  °C) até a utilização nos experimentos.

A elaboração da polpa mista deu-se a partir do descongelamento prévio sob refrigeração ( $4 \pm 1$  °C) da polpa de jambolão e de acerola e, homogeneização das mesmas (proporção 1:1) em liquidificador doméstico durante 1 minuto.

## 2.2 Secagem em camada de espuma

Foram preparadas 3 formulações para o processo de secagem em camada de espuma, são elas: F1 [polpa mista + 1% albumina (Infinity Pharma®, Campinas, SP, Brasil) + 0,5% goma xantana (GastronomyLab®, Brasília, DF, Brasil)]; F2 [polpa mista + 1,0% albumina + 0,5% carboximetilcelulose – CMC (Neon®, Suzano, SP, Brasil)]; F3 [(polpa mista + 1,0% albumina + 0,5% goma guar (GastronomyLab®, Brasília, DF, Brasil)]. As espumas foram elaboradas pela mistura da polpa mista de jambolão e acerola e aditivos em batedeira planetária na velocidade máxima (Arno®, modelo Deluxe, 300 W, Itatiaia, RJ, Brasil) em tempos adequados para cada formulação, sendo F1 por 30 minutos; F2 por 20 minutos; e F3 por 5 minutos.

Cada espuma produzida foi espalhada sobre bandejas de aço inoxidável, compondo espessura de 0,5 cm de camada de espuma, medidas com paquímetro digital (Onebyciness, DD2018011001, 0-6"/150 mm). As amostras nas bandejas foram levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil) na velocidade do ar de  $1,0 \text{ m/s}^1$ , nas temperaturas de 50; 60; 70 e 80 °C, as quais foram pesadas durante a secagem em intervalos regulares de tempo até massa constante. Adotou-se como critério para determinação da massa constante três pesagens consecutivas em intervalos de tempo de 60 minutos, sem alteração de pesagem das amostras (variação de 0,01 g). O material seco foi removido com espátula plástica, sendo posteriormente triturado em um mini processador (Mallory, modelo Oggi+, Maranguape, CE, Brasil) obtendo-se os pós da polpa mista das diferentes formulações para ser analisado quanto as propriedades físicas e físico-químicas.

## 2.3 Análises físicas e físico-químicas



As análises físico-químicas determinadas nas polpas em pó registradas em massa seca (ms) foram: pH pelo processo potenciométrico em pHmetro (Tecnal, modelo TEC-2, Piracicaba, SP, Brasil); acidez total titulável (ATT), por titulação potenciométrica com NaOH 0,1 M padronizado até a solução atingir pH = 8,2-8,4 (g ácido cítrico/100 g ms); teor de água (g/100 g ms), por gravimetria, utilizando estufa convencional a 105 °C até massa constante; sólidos solúveis - SS (°Brix) em refratômetro portátil (Instrutherm, RT – 30 ATC, São Paulo, SP, Brasil); e conteúdo proteico (g/100 g ms) pelo método de micro Kjeldahl, de acordo com metodologias recomendadas pela AOAC (2016). As medidas da atividade de água ( $a_w$ ) foram determinadas por leitura direta a 25 °C em higrômetro Aqualab 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA).

A determinação do ácido ascórbico foi realizada de acordo com o protocolo de Oliveira, Godoy e Prado (2010), através da titulação com 2,6-diclorofenol-indofenol sódico (DCFI). O resultado foi expresso em mg/100 g ms.

O teor total de açúcares solúveis foi medido pelo método de antrona (YEMM; WILLIS, 1954). As leituras de absorvância foram obtidas a 620 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). Os resultados expressos em g/100 g ms. A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão, na concentração de 100 µg/mL. O conteúdo de açúcares redutores foi quantificado pelo método colorimétrico usando o ácido 3,5-dinitrosalicílico (MILLER, 1959). As leituras de absorvância realizadas a 540 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em g/100 g ms. A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão na concentração de 2,5 µM/mL.

O teor total de fenólicos nos extratos foi quantificado pelo método espectrofotométrico com Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006). As leituras de absorvância foram obtidas a 765 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em mg EAG (equivalente de ácido gálico)/100 g ms. A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico como padrão, na concentração de 100 µg/mL.

A concentração de taninos totais foi quantificada pelo método de Porter, Hrstich e Chan (1986), utilizando-se Folin-Denis como reagente. As leituras foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 765 nm. A curva padrão foi construída com solução padrão de ácido tânico a 0,1 mg/mL e os resultados expressos em mg EAT(equivalente de ácido tânico)/100 g ms.

O método pela diferença de pH foi utilizado para medir o teor total de antocianinas (COHEN et al., 2006). O extrato foi produzido com solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. A absorvância de cada diluição foi medida em comprimentos de onda de 510 e 700 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) após 24 horas de repouso em refrigeração ( $8 \pm 1$  °C) e os resultados expressos em mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g ms.

Os flavonoides totais foram determinados segundo método descrito por Francis (1982), no qual, o extrato foi produzido com solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. As leituras das absorvâncias feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 374 nm após 24 horas de repouso em refrigeração ( $8 \pm 1$  °C). A concentração de flavonoides foi expressa em mg/100 g ms.

Os carotenoides totais foram estimados conforme metodologia descrita por Lichtenthaler (1987), utilizando-se acetona como extrator, sendo lida em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) no comprimento de onda 470 nm. Os resultados foram expressos em mg/100 g ms.

Para determinação da densidade aparente utilizou-se uma massa de pó conhecida, transferida para uma proveta graduada de 10 mL; o cálculo da densidade aparente foi dado pela relação entre a massa e o volume ocupado ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), segundo (GOULA; ADAMOPOULOS, 2004). Para determinação da densidade compactada utilizou-se a metodologia de Tonon et al. (2013), calculada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). O fator de Hausner foi calculado pela relação entre a densidade compactada e a densidade aparente (HAUSNER, 1967). O índice de Carr foi calculado conforme Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014).

A densidade absoluta dos pós foi determinada pelo método picnométrico, utilizando hexano como líquido imiscível, na temperatura de 25 °C, o qual consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra.

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama de pó foi adicionado em 100 mL de água destilada, agitando-se na velocidade máxima em um agitador magnético, durante 5 min. O pó disperso em água foi centrifugado a 2.600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma cápsula de alumínio, previamente tarada, e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

Para a avaliação do ângulo de repouso foi utilizada a metodologia descrita por Aulton (2005), em que o pó é escoado por um funil, sustentado por um suporte universal. A distância

entre o orifício de descarga do funil e a superfície foi de 9 cm. Com isso foram medidos a altura e o diâmetro da pilha formada após o escoamento do material, utilizando-se paquímetro digital.

As análises foram realizadas em quadruplicata e os resultados apresentados são médias.

## 2.4 Análise estatística

As análises de dados foram tratadas de acordo com o delineamento inteiramente casualizado. Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ), com o auxílio do *software* Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## 3 Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios com respectivos desvios padrões do teor de água, atividade de água, pH, sólidos solúveis, acidez e ratio das formulações de polpa mista em pó obtidos por meio da secagem em camada de espuma.

Os teores de água nas formulações de polpa mista em pó variaram de 7,59 a 16,76 g/100 g ms, reduzindo-se estatisticamente a cada aumento de 10 °C na temperatura de secagem. Entre formulações, a amostra F1 manteve os teores de água mais elevados em todas as temperaturas de secagem. As diferenças nos teores de água entre as formulações de polpa mista em pó podem estar relacionados com a temperatura de secagem e com a densidade e a expansão volumétrica da espuma que dependendo dos seus valores permite a incorporação de mais ar na polpa, assim, o calor pode ser transferido com mais eficiência e quando ocorre aumento da temperatura há um aumento no gradiente de temperatura entre o ambiente e o ar de secagem, resultando em um aumento da força motriz de evaporação de água (THUWAPANICHAYANAN; PRACHAYAWARAKORN; SOPONRONNARIT, 2008; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

**Tabela 1** – Valores médios e desvios padrões do teor de água, atividade de água, pH, sólidos solúveis, acidez e ratio de formulações de polpa mista em pó obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C

Parâmetros	Temperatura				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	
<b>Teor de água<sup>1</sup></b>	F1	16,76 ±0,06aA	14,27±0,17aB	13,61±0,07aC	13,54±0,15aC
	F2	15,36±0,12bA	11,45±0,13bB	8,55±0,08bC	7,60±0,05bD
	F3	15,20 ±0,12bA	14,27±0,13aB	7,95 ±0,16cC	7,59 ±0,05bD
<b>a<sub>w</sub></b>	F1	0,243±0,002aA	0,215±0,002aB	0,196±0,002aC	0,186±0,002bD
	F2	0,242±0,002aA	0,207±0,002bB	0,189±0,002bC	0,166±0,001cD
	F3	0,243±0,002aA	0,203±0,001cB	0,194±0,001aC	0,191±0,001aD
<b>pH</b>	F1	3,85±0,01aC	3,87±0,00aB	3,83±0,01aC	3,89±0,01aA
	F2	3,58±0,01cD	3,67±0,00bC	3,73±0,00cB	3,80±0,00bA
	F3	3,66±0,01bD	3,67±0,01bC	3,78±0,01bB	3,80±0,01bA
<b>Sólidos solúveis (°Brix)</b>	F1	5,20±0,00cD	5,22±0,00cC	5,62±0,00aB	5,82±0,0aA
	F2	5,80±0,00bA	5,60±0,00bB	5,60±0,00cB	5,20±0,00cC
	F3	6,00±0,00aA	5,80±0,00aB	5,60±0,00bC	5,80±0,00bB
<b>Acidez (ácido cítrico)<sup>1</sup></b>	F1	5,39±0,04cA	5,24±0,06bB	5,18±0,03aB	4,97±0,03aC
	F2	5,65±0,03bA	5,25±0,03bB	5,09±0,04bC	4,63±0,03cD
	F3	5,84±0,02aA	5,38±0,06aB	4,98±0,06cC	4,88±0,03bC
<b>Ratio (SS/ATT)</b>	F1	1,27±0,01bD	1,30±0,02cC	1,39±0,01aB	1,50±0,01aA
	F2	1,36±0,01aA	1,32±0,01bB	1,29±0,01bC	1,30±0,01cC
	F3	1,36±0,00aB	1,44±0,01aA	1,28±0,02bC	1,37±0,01bB

1 – g/100 g ms; Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%). As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (p<0,05)

Silva, Duarte e Barrozo (2019), estudando a secagem de resíduos de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) verificaram ao secar as amostras na temperatura de 150 °C teor de água de 6,7%. Almeida et al. (2020), ao desenvolverem farinha de casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) por secagem convectiva a 50 °C, verificaram que as amostras atingiram o teor de água de 14,90 g/100 g.

A atividade de água das polpas mista em pó igualmente sofreram reduções estatisticamente significativas com os aumentos de temperatura de secagem, provavelmente devido ao menor teor de umidade das amostras em temperaturas mais altas. Entre formulações, a F1 apresentou os maiores valores na maioria dos casos, enquanto F2 e F3 se alternaram nos menores.

As reduções da atividade de água de 50 a 80 °C, para F1, F2 e F3, foram na ordem de 23,46; 31,40 e 21,40 %, respectivamente. Gomes, Almeida e Oliveira (2017) estudando a secagem da polpa de acerola, relataram redução de  $a_w$  de 0,330 para 0,276 entre as temperaturas de 60 e 80 °C. Alimentos com atividade de água abaixo de 0,6, em geral, são considerados microbiologicamente estáveis (QUEK et al., 2007).

Os pós apresentaram valores de pH muito ácidos (< 4,5), característica importante para evitar o desenvolvimento de micro-organismos. Os valores obtidos nas temperaturas de secagem foram semelhantes entre as formulações, igualando-se entre a F2 e a F3 a 60 e a 80 °C, indicando que os aditivos não exerceram ação tamponante nas amostras. A F1 apresentou os maiores valores de pH nas faixas de temperatura utilizada. A goma xantana presente na F1 é capaz de estabilizar emulsões em ampla faixa de temperatura e pH (LUVIELMO; SCAMPARINI, 2009). Na F2 determinou-se as menores médias de pH, explicando-se pela faixa de pH da carboximetilcelulose (4,5-6,0) ser mais baixa em relação a da goma guar (5,5-6,2) (GIL, 2007). Riguetto et al. (2020), determinaram pH na faixa de 3,5 a 3,47 em pós de jambo (*Syzygium malaccense*) desidratados por secagem em camada de espuma em temperaturas de 50 a 70 °C.

Os teores de sólidos solúveis (SS) mais elevados se alternaram entre as formulações F1 e F3, dependendo da temperatura de secagem. Com o aumento de temperatura, as formulações F2 e F3 tiveram seus teores reduzidos, ao contrário da F1, cujos SS aumentaram entre 50 e 80 °C.

Tan e Sulaiman (2019) determinaram em pó de *Hibiscus sabdariffa* L. desidratado a 50 °C teores de sólidos solúveis totais entre 4,40 e 5,35 °Brix. Silva et al. (2019), avaliaram o efeito da secagem do baru (*Dipteryx alata* Vogel) e observaram que o conteúdo de sólidos solúveis diminuiu com a elevação da temperatura de secagem entre 40 e 100 °C, variando de 2,65 a 2,57 °Brix.

A acidez teve maiores valores alternadamente nas amostras F3 e F1, a primeira nas temperaturas de secagem mais baixas e a segunda a 50, 60 e 70 °C. Com o aumento das temperaturas de secagem a acidez foi reduzida de forma estatisticamente significativa, em comportamento inverso ao do pH. A diminuição do teor de ácido cítrico se deve à sua baixa estabilidade em altas temperaturas (PODSEDEK, 2007).

Freitas et al. (2018) reportaram redução da acidez na secagem de polpa de cajá (*Spondias mombin* L.) de 1,2 g/100 g na secagem a 50 °C a 0,6 g/100 g, a 80 °C.

O comportamento do ratio seguiu aproximadamente o dos sólidos solúveis, com valores mais elevados na formulação F3 a 50, 60 e 80 °C e na F1 a 70 e 80 °C. Com o

aumento da temperatura de secagem tem-se tendência de redução do ratio da formulação F2 e aumento na formulação F1, sem tendência definida na F3. Monteiro et al. (2020) trabalhando com secagem de berinjela (*Solanum melongena* L.), em nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C, observaram que o menor de valor de ratio, de 5,55, foi alcançado a 90 °C.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios com respectivos desvios padrões do teor de proteínas, açúcares totais, açúcares redutores e não redutores das formulações de polpa mista em pó obtidos por meio da secagem em camada de espuma.

**Tabela 2** – Valores médios e desvios padrões dos teores de proteínas, açúcares totais, açúcares redutores e não redutores dos pós de polpa mista obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C

Parâmetros		Temperatura			
		50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
Proteínas <sup>1</sup>	F1	14,64±0,15aB	14,80±0,17aAB	14,80±0,14aAB	14,93±0,03aA
	F2	13,63±0,05cA	13,30±0,05cB	13,08±0,26cB	13,14±0,11cB
	F3	14,12±0,13bA	14,28±0,15bA	13,53±0,15bB	13,54±0,21bB
Açúcares totais <sup>1</sup>	F1	33,85±0,09cD	38,90±0,13cC	39,85±0,08cB	40,91±0,08cA
	F2	54,68±0,20bD	56,23±0,24bC	59,14±0,11aB	61,31±0,23aA
	F3	61,10±0,14aB	61,48±0,14aA	58,64±0,14bD	59,66±0,11bC
Açúcares redutores <sup>1</sup>	F1	0,29±0,30bD	0,32±0,32aB	0,33±0,33aA	0,31±0,31aC
	F2	0,31±0,00aA	0,31±0,00bA	0,25±0,00cC	0,28±0,00bB
	F3	0,29±0,00bB	0,30±0,00bA	0,28±0,00bC	0,26±0,00cD
Açúcares não redutores <sup>1</sup>	F1	31,88±0,08cD	36,66±0,13cC	37,55±0,08cB	38,65±0,08cA
	F2	51,92±0,00bD	53,38±0,00bC	55,93±0,00aB	57,99±0,00aA
	F3	57,93±0,00aB	58,28±0,00aA	55,44±0,00bD	56,43±0,00bC

1 – g/100 g ms; Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%). As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (p<0,05)

Os teores de proteína foram estatisticamente superiores na amostra F1, seguida pela F3 e, com os menores valores, pela amostra F2 em todas as temperaturas de secagem. Com o aumento das temperaturas de secagem, as amostras F2 e F3 demonstraram tendência de redução de proteínas, contrariamente à amostra F1. Apesar das diferenças estatisticamente significativas, as diferenças absolutas são pouco expressivas entre amostras e temperaturas, de forma que na F2, a diferença entre o maior valor, a 50 °C e o menor, a 80 °C foi de 3,60% e na F3, entre as mesmas temperaturas de secagem, foi de 4,11%. Crocetti et al. (2016)

verificaram teores de proteínas de 16,92 g/100 g em pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.) obtidos na secagem em estufa e de 14,58 g/100 g na liofilização.

Os açúcares totais se apresentaram mais elevados na formulação F3 nas temperaturas mais baixas. A 70 e a 80 °C os valores foram reduzidos, sendo superados pelos teores da amostra F2. Na amostra F1 os valores foram expressivamente inferiores aos das demais, atingindo apenas 45% do valor da formulação F3 a 50 °C. Com o aumento da temperatura de secagem os teores das amostras F2 e F1 foram aumentados, e da F3, reduzidos. Seraglio et al. (2018) reportaram valores de 52,88 g/100 g para polpa de guabiju (*Myrcianthes pungens*) e de 54,53 g/100 g em polpa de jabolão (*Syzygium cumini*).

De modo geral, as formulações de polpa mista em pó apresentaram baixos teores de açúcares redutores, e os teores mantiveram-se aproximados entre as três formulações e sem demonstrar tendência de comportamento com o aumento da temperatura de secagem. Orqueda et al. (2016) igualmente verificaram baixo teor de açúcares redutores, 0,40 g/100 g, em pó de tamarillo (*Solanum betaceum*).

Dentre os açúcares presentes, verificou-se o predomínio dos açúcares não redutores. Os açúcares não redutores mostraram comportamento similar ao dos açúcares totais, com maiores valores se alternando entre F2 e F3, com teores crescentes em F2 e F1 e decrescente em F3, com o aumento da temperatura de secagem. Chahdoura et al. (2019), avaliando o pó de *Opuntia microdasys*, determinaram o valor de 50 g/100 g para o conteúdo de açúcares não redutores.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios com respectivos desvios padrões dos teores de ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, carotenoides, compostos fenólicos totais e taninos das formulações de polpa mista em pó obtidos por meio da secagem em camada de espuma.

Observa-se, exceto na temperatura de 60 °C, maiores valores de ácido ascórbico na formulação F1, e os menores na F2, em todas as temperaturas de secagem. Com o aumento da temperatura os teores de ácido ascórbico foram sendo reduzidos progressivamente com reduções finais entre 50 e 80 °C de cerca de 26%.

A formação da espuma, por aumentar a superfície de contato do material com o ar, contribui para uma maior exposição dos constituintes da polpa aos efeitos da luz e do oxigênio, reduzindo ainda mais os teores quando exposto a temperaturas mais elevada.

**Tabela 3** – Valores médios e desvios padrões dos teores de ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, carotenoides, compostos fenólicos e taninos de formulações de polpa mista em pó obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C

Parâmetros	Temperatura (°C)				
	50	60	70	80	
<b>Ácido ascórbico<sup>1</sup></b>	F1	800,58±0,00aA	652,35±0,00bB	633,93±0,00aC	601,18±0,00aD
	F2	713,84±0,00cA	617,75±0,00cB	549,32±0,00bC	518,97±0,00cD
	F3	750,33±0,00bA	680,68±0,00aB	548,06±0,00bC	543,28±0,00bD
<b>Flavonoides<sup>1</sup></b>	F1	82,34±0,10aA	80,32±0,00aB	79,30±0,13aC	78,57±0,00aD
	F2	81,86±0,05cA	78,69±0,05bB	75,08±0,05bC	70,92±0,05bD
	F3	82,24±0,06bA	78,60±0,05cB	69,40±0,06cC	68,55±0,04cD
<b>Antocianinas<sup>2</sup></b>	F1	180,29±1,39bA	165,94±1,25bB	144,55±0,63bC	100,86±0,97bD
	F2	207,92±1,36aA	197,14±1,21aB	178,96±1,31aC	126,03±0,60aD
	F3	136,98±0,39cA	127,71±0,8cB	93,80±1,19cC	80,13±0,31cD
<b>Carotenoides<sup>1</sup></b>	F1	1,32±0,01bC	1,51±0,02bB	1,88±0,01aA	1,87±0,03bA
	F2	1,03±0,01cD	1,03±0,00cC	1,06±0,02cB	1,44±0,00cA
	F3	1,46±0,02aD	1,60±0,01aC	1,64±0,01bB	2,26±0,00aA
<b>Compostos fenólicos<sup>3</sup></b>	F1	6552,96±0,00bA	5874,97±0,00bB	5455,45±0,00bC	5159,65±0,00bD
	F2	6999,34±0,00aA	6593,02±0,00aB	6053,36±0,00aC	5537,12±0,00aD
	F3	5902,37±0,0cA	5633,94±0,00cB	5324,73±0,00cC	5144,35±0,00cD
<b>Taninos<sup>4</sup></b>	F1	7240,17±0,00bA	6499,63±0,00bB	6041,62±0,00bC	5718,87±0,00bD
	F2	7725,34±0,00aA	7279,04±0,00aB	6688,37±0,00aC	6125,27±0,00aD
	F3	6542,46±0,00cA	6237,74±0,00cB	5894,65±0,00cC	5697,17±0,00cD

1 – mg/100 g ms; 2 - mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g ms; 3 - mg EAG/100 g ms; 4 - mg EAT/100 g ms Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%). As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (p<0,05)

Nogueira et al. (2019) reportaram que os pós de resíduos de acerola, secos pelo sistema composto por um secador de leito compactado assistido por radiação infravermelha (IR), tiveram os teores de ácido ascórbico reduzidos em cerca de 20% em relação ao produto fresco. González et al. (2019) realizaram secagem de toranja (*Citrus paradisi* var. Star Ruby) formulada com goma arábica, maltodextrina e isolado de proteína de soro de leite, reportando teor de ácido ascórbico no pó obtido de 710 mg/100 g.

Os teores de flavonoides foram superiores na formulação F1 em todas as temperaturas de secagem, seguida pela formulação F2 a partir de 60 °C. Com o aumento da temperatura, observa-se reduções estatisticamente significativas e progressivas a cada incremento de 10 °C. Apesar disso, as amostras F1 e F2, secadas a 80 °C ainda retiveram



95,43 e 86,64% do teor de flavonoides determinados a 50 °C, respectivamente. Tavares et al. (2019), estudando a secagem em camada de espuma de uva BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) a 60, 70 e 80 °C, observaram redução no teor de flavonoides de 11,28 para 8,25 mg/100 g. Oancea et al. (2018) reportaram valores de flavonoides de 3,58 mg/100 g em extrato da casca de cerejas ácidas (*Prunus cerasus* L.), encapsulado com isolado de proteínas de soro de leite.

As antocianinas foram melhor preservadas na formulação F2, em todas as temperaturas de secagem, seguida pela formulação F1. Com o aumento da temperatura de secagem os teores foram reduzidos em valores estatisticamente significativos nas três formulações. Entre 50 e 80 °C as formulações F1, F2 e F3 preservaram 56, 61 e 59 dos teores de antocianinas, respectivamente. Vimercati et al. (2019) verificaram teores de antocianinas na faixa de 90 a 130 mg/100 g em polpa de morango (*Fragaria* sp.) desidratada. Braga et al. (2019) apresentaram resultados para conteúdo de antocianinas de 199,72 mg/100 g em pó de amora (*Rubus* spp.).

Entre as três formulações, a F3 demonstrou os maiores valores de carotenoides nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 80 °C, seguindo-se a formulação F1. Em todas as formulações a elevação da temperatura de secagem acarretou valores mais altos de carotenoides. Este fato provavelmente se deve ao menor tempo de secagem em temperaturas altas. Coyago-Cruz et al. (2017) determinando os teores de  $\beta$ -caroteno em tomate (*Solanum lycopersicum*), encontraram valores entre 2,1 e 4,2 mg/100 g.

Os compostos fenólicos totais apresentaram valores mais elevados nas amostras F2, seguida pela F1, em todas as temperaturas de secagem. As retenções de fenólicos nessas duas formulações entre as temperaturas de 50 e 80 °C foram de 79,11 e 78,74%, respectivamente. A temperatura de secagem afetou igualmente todas as formulações, com reduções progressivas nos teores à medida que a temperatura foi elevada. Durante os processos de secagem, a ativação de enzimas oxidativas, como a polifenoloxidase e a peroxidase, pode levar à perda de compostos fenólicos. Além disso, a ligação de compostos fenólicos a proteínas e alterações nas estruturas químicas são outros fatores relacionados à perda do conteúdo fenólico total (VALADEZ-CARMONA et al., 2017). Lima et al. (2019) ao investigarem polpa de goiaba verificaram valores de fenólicos totais de 1471 mg/100 g. Nemzer et al. (2018), estudando pós de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*), cereja ácida (*Prunus cerasus*), morango (*Fragaria x ananassa*) e cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) reportaram valores de fenólicos totais de 1920 mg/100 g, 1330 mg/100 g, 3730 mg/100 g e 1690 mg/100 g, respectivamente.

Os taninos totais de cada uma das três formulações foram afetados pela secagem de forma semelhante aos compostos fenólicos, observando-se valores mais elevados nas formulações F2 e F1, com reduções estatisticamente significativas conforme a temperatura de secagem foi elevada. Os taninos, apesar de serem considerados fatores antinutricionais da dieta, visto possuírem a propriedade de precipitar proteínas, vêm sendo apontados em alguns estudos como possuidores de grande potencial antioxidante, podendo contribuir para a prevenção de várias doenças (BERNARDES et al., 2011). Os teores de taninos observados nas três formulações de polpa mista de jambolão e acerola apresentaram-se superiores a diversos outros pós com valores encontrados na literatura, como farinha de polpa de baru (*Dipteryx alata* Vog.), estudada por Marcelino et al. (2018), com valor médio foi 286,15mg/100 g. Também farinha de semente de graviola (*Annona muricata* L.), com valor de taninos de 572,93 mg/100 g, conforme Alves et al. (2019). Bento et al. (2019) verificaram teor de taninos de 5420 mg/100 g em farinha de *Jatropha elliptica* (Pohl) Oken.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios com respectivos desvios padrões dos parâmetros físicos das formulações de polpa mista em pó obtidos por secagem em camada de espuma. O ângulo de repouso resultou mais elevado na formulação F2, seguida pela formulação F1, em todas as temperaturas de secagem. Com os aumentos da temperatura, os ângulos tenderam à redução, em todas as amostras, o que constitui uma vantagem na manipulação do material devido indicar melhor fluidez. Huang et al. (2018) estudando pó de beterraba (*Beta vulgaris*) reportaram ângulos de repouso de 33,59°.

O ângulo de repouso é usado para caracterizar as propriedades de fluxo de sólidos, está relacionado com o atrito interpartículas ou resistência ao movimento entre as partículas. De forma geral, quanto menor o ângulo de repouso, melhor a fluidez do pó. De acordo com a classificação de Riley e Hausner (1970) os pós da polpa mista apresentam fluidez livre (*free flowing*) com ângulos de repouso entre 30 e 38°.

Os diferentes aditivos não interferiram na densidade absoluta das formulações, com valores maiores e menores se alternando entre as amostras. Da mesma forma, não é possível identificar efeito consistente das diferentes temperaturas de secagem, visto que as densidades demonstraram efeitos divergentes reduzindo-se em F2 e F3 e aumentando em F1. Silva, Duarte e Barrozo (2019) também observaram esse comportamento na secagem de resíduos de polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), reportando densidade absoluta de 1,48 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabela 4** – Valores médios e desvios padrões dos parâmetros físicos dos pós de polpa mista obtidos por secagem em camada de espuma a 50, 60, 70 e 80 °C

Parâmetros	Temperatura de secagem (°C)				
	50	60	70	80	
Ângulo de repouso (°)	F1	35,64±0,37bA	35,04±0,26bB	34,38±0,26bC	34,36±0,16bC
	F2	37,94±0,44aA	36,19±0,52aB	36,12±0,73aB	36,09±0,74aB
	F3	35,05±0,76cA	34,13±0,46cAB	33,55±0,40cBC	32,77±0,45cC
Densidade Absoluta <sup>1</sup>	F1	0,98±0,01cB	0,91±0,01cC	1,15±0,01aA	1,15±0,01aA
	F2	1,11±0,01bB	1,14±0,01aA	1,09±0,01bC	1,06±0,01bD
	F3	1,24±0,01aA	1,09±0,01bB	1,05±0,01cC	0,89±0,01cD
Densidade Aparente <sup>1</sup>	F1	0,42±0,00bC	0,46±0,00bB	0,51±0,00bA	0,46±0,00bB
	F2	0,38±0,00cD	0,39±0,00cC	0,40±0,01cB	0,40±0,00cA
	F3	0,49±0,00aD	0,51±0,00aC	0,55±0,01aB	0,56±0,00aA
Densidade Compactada <sup>1</sup>	F1	0,50±0,00bC	0,53±0,00bB	0,57±0,00bA	0,53±0,00bB
	F2	0,50±0,00bB	0,51±0,00cA	0,51±0,00cA	0,51±0,00cA
	F3	0,57±0,00aD	0,60±0,01aC	0,65±0,01aB	0,68±0,00aA
Fator de Hausner	F1	1,22±0,03bA	1,16±0,00cB	1,13±0,02cC	1,16±0,01cB
	F2	1,31±0,03aA	1,30±0,00aA	1,26±0,02aB	1,25±0,01aB
	F3	1,17±0,00cB	1,17±0,02bB	1,19±0,00bB	1,20±0,00bA
Índice de Carr (%)	F1	16,66±0,00bA	13,65±0,00cB	10,01±0,00cC	13,64±0,00cB
	F2	23,49±1,57aA	23,07±0,00aA	20,52±1,00aB	19,82±0,38aB
	F3	14,29±0,00cB	14,39±1,25bB	15,79±0,00bA	16,66±0,00bA
Solubilidade (%)	F1	40,87±0,66cD	42,22±0,57cC	44,07±0,17bB	45,11±0,81bA
	F2	44,70±0,94bC	46,52±0,36aB	47,46±0,58aA	47,53±0,47aA
	F3	46,32±1,07aA	45,17±0,64bAB	44,13±0,51bB	43,17±0,74cC

1 – g/cm<sup>3</sup>; Formulações: F1 - albumina (1%) + goma xantana (0,5%); F2 - albumina (1%) + CMC (0,5%); F3 - albumina (1%) + goma guar (0,5%). As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (p<0,05)

As densidades aparentes demonstraram comportamento consistente, com valores mais elevados na formulação F3, seguida da formulação F1, em todas as temperaturas de secagem. Da mesma forma, o aumento da temperatura acarretou em aumentos nas densidades aparentes das três formulações. A elevação da densidade aparente ocorre devido à redução do ar intersticial entre as partículas, o que é desejável por reduzir os custos de transporte e embalagem (ZHAO et al., 2009). Um produto em pó, com alta densidade aparente, pode ser armazenado em espaços menores e ser viável para remessas a longa distância. As densidades aparentes de pós de beterraba (*Beta vulgaris*) reportadas por Huang et al. (2018) variaram de 0,45 a 0,62 g/cm<sup>3</sup>. Gagneten et al. (2018) determinaram em

pós de groselha (*Ribes nigrum*), framboesa (*Rubus idaeus* L.) e sabugueiro (*Sambucus nigra*) valores de densidades aparentes na faixa de 0,38 a 0,42 g/cm<sup>3</sup>.

O comportamento das densidades compactadas acompanhou o das densidades aparentes, apresentando valores mais elevados nas amostras F3, seguida de F1 e aumentos acompanhando as temperaturas mais elevadas. A densidade compactada é um fator importante relacionado à embalagem e transporte de pós. A otimização de seu valor pode ser útil em termos de peso e quantidade de material a ser transportado (FERNANDES et al., 2014).

Um produto seco com alta densidade compactada pode ser armazenado em embalagens menores e também reduz a presença de oxigênio no interior do produto, retardando reações de degradação. Por outro lado, produtos muito comprimidos exibem difícil reidratação devido a dificultar a difusão de água através da estrutura do material em pó. Botrel et al. (2016) estudando a polpa em pó de araticum (*Annona crassiflora*) reportaram valor de densidade compactada de 0,60 g/cm<sup>3</sup>.

Varhan, Elmas e Koç (2019) estudando polpas de figo (*Ficus carica* L.) em pó, produzidas em temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C verificaram elevação nos valores de densidade aparente de 0,36 a 0,50 g/cm<sup>3</sup> e de densidade compactada de 0,57 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>, com a elevação da temperatura.

A formulação F2 apresentou os valores mais elevados do Fator de Hausner e do Índice de Carr em todas as temperaturas de secagem. Na temperatura de 50 °C foi seguida pela amostra F1, e, a partir de 60 °C, pela amostra F3. Nos dois índices tem-se aumentos e reduções com o aumento de temperatura, impedindo de se estabelecer uma relação com estas variáveis.

No fator de Hausner, valores menores que 1,25 indicam bom fluxo; maior que 1,5, fluxo ruim e valores entre 1,25 e 1,5 exigem a incorporação de aditivos para melhorar o escoamento (WELLS, 1988). Os pós F3 e F1, conforme essa classificação apresentam boa fluidez, destacando-se a F1, com os menores valores e, portanto, maior fluidez entre as amostras. O pó F2 resultou nos maiores fatores de Hausner, sem diferença estatística entre as temperaturas de 50 e 60 °C, bem como, entre 70 e 80 °C. Dehghannya et al. (2019), estudando suco de limão (*Citrus latifolia*) em pó, reportaram fator de Hausner de 1,47 e índice de Carr de 32,05%.

O Índice de Carr exprime a compressibilidade de um pó, em que valores < 15% indicam excelente fluxo; 15-20% fluxo bom; 20-35% fluxo razoável; 35-45% fluxo ruim; > 45% fluxo muito ruim (JINAPONG; SUPHANTHARIKA; JAMNONG, 2008). De acordo

com esta classificação, os pós F1 a partir de 60 °C se enquadram na faixa de fluxo muito bom (10,01 a 13,65%) e a 50 °C fluxo bom (16,66%); os pós da F2 possuem fluxo bom na temperatura de 80 °C e razoável para 50, 60 e 70 °C (20,52-23,49%); e as amostras F3 evidenciam fluxo muito bom (14,29-14,39%) na faixa de 50-60 °C e bom (15,79-16,66%) de 70 a 80 °C.

Em relação à análise de solubilidade, todos os pós apresentaram resultados abaixo de 50% de solubilidade, este fato pode estar ligado a hidratação dos aditivos, em que é mais rápida entre pH 7,5 e 9. A solubilidade mostrou tendência de aumento a 80 °C, mostrando que menor tempo de secagem acarreta em maior estabilidade na estrutura das bolhas de ar durante a secagem, o pó produzido nesta condição contém menor teor de água e maior porosidade, que leva a uma maior área de superfície do pó para a ligação com água (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

A 50 °C, a amostra F3 apresentou a mais alta solubilidade entre as formulações. A partir de 60 °C, a amostra F2 superou as demais, e assim se manteve nas temperaturas de secagem até 80 °C. Com o aumento da temperatura as amostras F2 e F1 foram beneficiadas com aumentos da solubilidade, comportamento contrário ao da formulação F3, cuja redução entre 50 e 80 °C foi próxima de 7%. A goma guar, utilizada na formulação F3, é formada de cadeias ramificadas de galactose, que proporcionam maior solubilidade em temperaturas baixas e requerem maior tempo de hidratação que os demais espessantes.

A dissolução é um fator importante na avaliação da capacidade de um pó em formar uma mistura homogênea em solução aquosa. Para os consumidores, a reconstituição rápida e completa de produtos em pó é um dos principais indicadores de qualidade (PINTO et al., 2018). Apesar de a albumina fornecer boa estabilidade ao pó seco, a formação de aglomerados acarretados pelo conteúdo de carboidratos e ácidos orgânicos presentes na formulação pode contribuir para uma redução da dispersão do produto em água (FERNANDES et al., 2014).

Affandi et al. (2017) verificaram no pó de *Nigella sativa*, aumento da solubilidade de 25,45 a 55,45% com o aumento da temperatura de secagem.

Shaari et al. (2017) determinaram solubilidade entre 54,10 e 64,05% em abacaxi (*Ananas comosus*) em pó, variando a concentração de albumina de ovo em 5, 10 e 20%, verificando que espuma com maior expansão elevou a solubilidade do pó. Segundo os autores, durante a reidratação um pó solúvel deve molhar instantaneamente, submergir em vez de flutuar.

## 4 Conclusões

Todas as formulações utilizando albumina combinada com CMC, goma guar ou goma xantana propiciaram secagens eficientes na polpa mista de jambolão e acerola, com baixos valores de teor de água e de atividade de água e altos teores de ácido ascórbico e compostos bioativos; também gerou amostras com boas propriedades de fluxo.

A formulação incluindo goma xantana resultou em pós com teor mais elevado de proteínas, de flavonoides e, na maioria das temperaturas, maior teor de ácido ascórbico; também resultou em amostras com melhores Fator de Hausner e Índice de Carr.

As formulações contendo CMC apresentaram mais altos teores de antocianinas, compostos fenólicos e taninos; em algumas temperaturas, também gerou amostras com maiores valores de açúcares totais e, na temperatura de 50 °C, com maior solubilidade. As formulações compostas com goma guar resultaram em polpas com maior teor de carotenoides e melhor solubilidade em temperaturas de secagem a partir de 60 °C.

Temperaturas de secagem mais altas reduziram o teor de água e a atividade de água do produto final, reduziram a acidez, os teores de ácido ascórbico, de flavonoides, de antocianinas, de compostos fenólicos e de taninos, e aumentaram o conteúdo de carotenoides; o aumento nas temperaturas de secagem influenciou de forma diversa o Fator de Hausner, o Índice de Carr e a solubilidade dependendo do aditivo que foi empregado.

O processo de secagem em camada de espuma é viável para conservação da polpa mista de jambolão e acerola, e na sua forma em pó é fonte de nutrientes e compostos funcionais importantes à alimentação humana.

## 5 Referências bibliográficas

- ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, n. 1, p. 105-110, 2016.
- AFFANDI, N.; ZZAMAN, W.; YANG, T.; EASA, A. Production of *Nigella sativa* beverage powder under foam mat drying using egg albumen as a foaming agent. **Beverages**, v. 3, n. 9, p. 1-15, 2017.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. A.; CABRAL, M. B.; BARROS, E. R.; SOUZA, N. C.; LUIZ, M. R.; AMORIM, F. V.; SILVA, L. R. I. Determinação de compostos bioativos e composição físico-química da farinha da casca de

- jabuticaba obtida por secagem convectiva e liofilização. **Research Society and Development**, v. 9, n. 1, e157911876, 2020.
- ALVES, V. M.; AMORIM, K. A.; ABREU, D. J. M.; SILVA, J. S.; ASQUIERI, E. R.; DAMIANI, C. Extração de taninos de farinha de semente de graviola por ultrassom. **Revista Desafios**, v. 6, n. Especial, p. 54-59, 2019.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 20th ed, Washington: AOAC, 2016. 3100 p.
- AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 677 p.
- AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science Emerging Technologies**, v. 34, n. 5, p. 122-126, 2016.
- BENTO, J. A. C.; SOUZA NETO, M. A.; RODRIGUEZ, A. G.; BATAUS, L. A. M.; CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M. S. Physical, chemical, technological and toxicological characteristics of teiu potato flour (*Jatropha elliptica* (Pohl) Oken). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 172-179, 2019.
- BERNARDES, N. R.; GLÓRIA, L. L.; NUNES, C. R.; PESSANHA, F. F.; MUZITANO, M. F.; OLIVEIRA, D. B. Quantificação dos teores de taninos e fenóis totais e avaliação da atividade antioxidante de frutos de Aroeira. **Revista Vértices**, v. 13, n. 3, p. 117-28, 2011.
- 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, n. 1, p. 354-364, 2014.
- BOTREL, D. A.; RODRIGUES, I. C. B.; SOUZA, H. J. B.; FERNANDES, R. V. B. Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, n. 1, p. 32-39, 2016.
- 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, e108557, 2019.
- BRANDÃO, T. S. O.; PINHO, L. S.; TESHIMA, E.; DAVID, J. M.; RODRIGUES, M. I. Optimization of a technique to quantify the total phenolic compounds in jambolan (*Syzygium cumini* Lamark) pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018158, 2019.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango power obtained by spray drying and its

- functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.
- CARVALHO, A. V.; MATTIETTO, R. A.; BECKMAN, J. C. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016023, 2017.
- CHAHDOURA, H.; BARREIRA, J. C. M.; BARROS, L.; DIAS, M. I.; CALHELHA, R.C.; FLAMINI, G.; SOKOVIĆ, M.; ACHOUR, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Bioactivity, hydrophilic, lipophilic and volatile compounds in pulps and skins of *Opuntia macrorhiza* and *Opuntia microdasys* fruits. **LWT – Food Science and Technology**, v. 105, p. 57-65, 2019.
- COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PALLET, J. P. D.; MONTE, D. C. **Quantificação do teor de antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações de açaizeiro**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 15 p.
- COYAGO-CRUZ, E.; CORELL, M.; MORIANA, A.; HERNANZ, D.; STINCO, C. M.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Effect of the fruit position on the cluster on fruit quality, carotenoids, phenolics and sugars in cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). **Food Research International**, v. 100, n. 1, p. 804-813, 2017.
- CROCETTI, A.; OGLEARI, C. H.; GOMES, G.; SARE, I.; CAMPOS, F. R.; BALBI, M. E. Determinação da composição centesimal a partir de dois métodos de secagem para a produção da farinha de beterraba (*beta vulgaris*, L. família amaranthaceae). **Visão Acadêmica**, v. 17, n. 4, p. 22-35, 2016.
- CRUZ, R. G.; BENEY, L.; GERVAIS, P.; LIRA, S. P.; VIEIRA, T. M. F. S.; DUPONT, S. Comparison of the antioxidant property of acerola extracts with synthetic antioxidants using an in vivo method with yeasts. **Food Chemistry**, v. 277, p. 698-705, 2019.
- DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. A multivariable approach for intensification of foam-mat drying process: Empirical and three-dimensional numerical analyses. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 135, p. 22-41, 2019.
- EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.
- GIL, E. S. **Excipientes: suas aplicações e controle físico-químico**. 2. ed. São Paulo: Pharmabooks, 2007. 285 p.



- FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; SOUZA, V. R.; LIMA, C. F. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1267-1278, 2014.
- FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.
- FREITAS, B. S. M.; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; SILVA, R. M.; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430-435, 2018.
- GAGNETEN, M.; CORFIELD, R.; MATTSON, M. G.; SOZZI, A.; LEIVA, G.; SALVATORI, D.; SCHEBOR, C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. **Powder Technology**, v. 342, n. 3, p. 1008-1015, 2018.
- GOMES, L. D. B. C.; ALMEIDA, E. M.; OLIVEIRA, S. N. Cinética de secagem em camada de espuma e caracterização física de acerola em pó. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 178-184, 2017.
- GONZÁLEZ, F.; GARCIA-MARTÍNEZ, E.; CAMACHO, M. D. M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Stability of the physical properties, bioactive compounds and antioxidante capacity of spray-dried grapefruit poder. **Food Bioscience**, v. 28, n. 1, p. 74–82, 2019.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v. 22, n. 10, p. 2309-2330, 2004.
- HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v. 3, n. 4, p. 7-13, 1967.
- HUANG, X.; DOU, J.; LI, D.; WANG, L. Effects of superfine grinding on properties of sugar beet pulp powders. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 203-209, 2018.
- JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 194-205, 2008.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. **Methods in enzymology**. London: Academic Press, 1987. v. 148, p. 350-382.

- LIMA, R. S.; FERREIRA, S. R. S.; VITALI, L.; BLOCK, J. M. May the superfruit red guava and its processing waste be a potential ingredient in functional foods? **Food Research International**, v. 115, p. 451-459, 2019.
- LUVIELMO, M. M.; SCAMPARINI, A. R. P. Goma xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação. **Estudos Tecnológicos**, v. 5, n. 1, p. 50-67, 2009.
- MARCELINO, G.; COLETA, I. T.; CANDIDO, C. J.; SANTOS, E. F. Caracterização e análise sensorial de *cupcakes* elaborados com diferentes concentrações de farinha de casca e polpa de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Multitemas**, v. 23, n. 54, p. 265-281, 2018.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MONTEIRO, S. S.; MONTEIRO, S. S.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; CRUZ, O. N.; MARTINS, L. P.; GOMES, J. P. Aplicação de processos combinados osmótico e secagem em *air fryer* em berinjelas condimentadas com hibisco. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, e07932267, 2020.
- NEMZER, B.; VARGAS, L.; XIA, X.; SINTARA, M.; FENG, H. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, v. 262, p. 242-250, 2018.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.
- OANCEA, A.-M.; HASAN, M.; VASILE, A. M.; BARBU, V.; ENACHI, E.; BAHRIM, G.; RÂPEANU, G.; SILVI, S.; STĂNCIUC, N. Functional evaluation of microencapsulated anthocyanins from sour cherries skins extract in whey proteins isolate. **LWT - Food Science and Technology**, v. 95, p. 129-134, 2018.
- OLIVEIRA, R. G.; GODOY, H. T.; PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 244-249, 2010.
- ORQUEDA, M.E.; RIVAS, M.; ZAMPINI, I.C.; ALBERTO, M.R.; TORRES, S.; CUELLO, S.; SAYAGO, J.; THOMAS-VALDES, S.; JIMÉNEZ-ASPEE, F.; SCHMEDA-HIRSCHMANN, G.; ISLA, M.I. Chemical and functional characterization of seed, pulp and skin powder from chilito (*Solanum betaceum*), an Argentine native fruit. Phenolic fractions affect key enzymes involved in metabolic syndrome and oxidative stress. **Food Chemistry**, v. 216, n. 1, p. 70-79, 2016.

- PINTO, M. R. M. R.; PAULA, D. A.; ALVES, A. I.; RODRIGUES, M. Z.; VIEIRA, É. N. R.; FONTES, E. A. F.; RAMOS, A. M. Encapsulation of carotenoid extracts from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) by emulsification (O/W) and foam-mat drying. **Powder Technology**, v. 339, p. 939-946, 2018.
- PODSEDEK, A. Natural antioxidant and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 1-11, 2007.
- PORTER, L. H.; HRSTICH, L.N.; CHAN, B. C. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, n. 1, p. 223-230, 1986.
- QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.
- RIGUETO, C. V. T.; NAZARI, M. T.; EVARISTO, L. M.; ROSSETTO, M.; DETTMER, A.; GERALDI, C. A. Q.; PICCIN, J. S. Influência da temperatura de secagem de jambo vermelho (*Syzygium malaccense*) em camada de espuma. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, e40932382, 2020.
- RILEY, R. E.; HAUSNER, H. H. Effect of particle size distribution on the friction in a powder mass. **International Journal of Powder Metallurgy**, v. 6, n. 7, p. 17-22, 1970.
- SERAGLIO, S. K. T.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; BETTA, F. D.; VALESE, A. C., DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R. COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649-656, 2018.
- SHAARI, N. A.; SULAIMAN, R.; RAHMAN, R. A.; BAKAR, J. Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 2, e13467, 2017.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, D. V.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SILVA, M. A. P.; BARCELOS, K. R. Nutritional quality of the epicarp and mesocarp flours of baru fruits submitted to drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 65-70, 2019.
- SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. A novel system for drying of agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) waste for use as bioactive compound source. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 52, p. 350-357, 2019.

- SOUSA, R. P.; LOBO, F. A. T. F.; MONTES, L. T. P.; ARAÚJO, K. G. L. Secagem da polpa de goiaba (*Psidium guajava*) da variedade Pedro Sato pelo método foam mat drying para aplicação em alimentos. **RASBRAN - Revista da Associação Brasileira de Nutrição**, v. 10, n. 2, p. 59-65, 2019.
- TAN, S. L.; SULAIMAN, R. Color and rehydration characteristics of natural red colorant of foam mat dried *Hibiscus sabdariffa* L. powder. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 1, p. 1-17, 2019.
- TAVARES, I. M. C.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32-42, 2017.
- TAVARES, I. M. C.; CASTILHOS, M. B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, e124971, 2019.
- THUWAPANICHAYANAN, R., PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 573-583, 2008.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.
- VALADEZ-CARMONA, L.; PLAZOLA-JACINTO, C. P.; HERNÁNDEZ-ORTEGA, M.; HERNÁNDEZ-NAVARRO, M. D.; VILLARREAL, F.; NECOECHEA-MONDRAGÓN, H.; ORTIZ-MORENO, A.; CEBALLOS-REYES, G. Effects of microwaves, hot air and freeze-drying on the phenolic compounds, antioxidant capacity, enzyme activity and microstructure of cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 41, p. 378-386, 2017.
- VARHAN, E.; ELMAS, F.; KOÇ, M. Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, e13022, 2019.

VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Effect of temperature on drying kinetic in foam mat and anthocyanin degradation in strawberry. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018221, 2019.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-515, 1954.

ZHAO, X.; YANG, Z.; GAI, G.; YANG, Y. Effect of superfine grinding on properties of ginger powder. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 217-222, 2009.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

WELLS, J. I. Pharmaceutical Preformulation: **The physicochemical properties of drug substances**. John Wiley & Sons: New York, 1988.

## ARTIGO 5 - EFEITO DA ADIÇÃO DE MALTODEXTRINA NA LIOFILIZAÇÃO DE POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA

### Resumo

O jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e a acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) se destacam pelo alto conteúdo de bioativos, com predominância das antocianinas no jambolão e do ácido ascórbico na acerola. Assim, a elaboração de combinados dessas duas frutas sugere um produto final de alto potencial nutracêutico, além de compor um material de pigmentação forte e atrativa. Nesse estudo, avaliou-se as características físicas, físico-químicas, bioativas e higroscópicas de polpas mistas de jambolão e acerola liofilizadas com diferentes proporções de maltodextrina. A maltodextrina foi adicionada à polpa mista como adjuvante de secagem, compondo quatro formulações: polpa mista sem adjuvante (L0), e as demais contendo 10, 20 e 30% de maltodextrina (L10, L20 e L30, respectivamente). As formulações foram previamente congeladas (-18 °C) por 48 horas, liofilizadas por 72 horas a -50 °C e desintegradas para obtenção dos pós. As amostras foram caracterizadas quanto à composição físico-química e compostos bioativos (carotenoides, ácido ascórbico, compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas e taninos). O perfil de fenólicos foi determinado por HPLC e a atividade antioxidante pelos métodos DPPH<sup>\*</sup> e FRAP. Determinou-se, ainda, os parâmetros físicos: ângulo de repouso, densidades absoluta, aparente e compactada, fator de Hausner, índice de Carr e a solubilidade. As isotermas de adsorção de água dos pós foram determinadas a 25 °C e seis modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais. Os resultados demonstraram que as polpas mistas liofilizadas apresentaram altos teores de compostos bioativos, como ácido ascórbico, compostos fenólicos, antocianinas, flavonoides e taninos, além de razoável teor de proteínas e predominância de açúcares, principalmente dos não redutores. No perfil de fenólicos foram detectados dez ácidos fenólicos, com destaque para o ácido 2,5-dihidroxibenzoico e o ácido salicílico. O pó liofilizado L0 apresentou alta capacidade antioxidante, detectada pelo sequestro do radical DPPH<sup>\*</sup> e pelo sistema FRAP. A utilização da maltodextrina melhorou as características físicas dos pós, reduzindo o ângulo de repouso, a densidade absoluta, o fator de Hausner e o índice de Carr, e elevando as densidades aparente e compactada e a solubilidade. O modelo de GAB, seguido pelos modelos de Peleg, Oswin, Halsey, Kuhn e Iglesias e Chirife proporcionaram bons ajustes as isotermas de adsorção de água dos pós.

**Palavras-chave:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; compostos bioativos; compostos fenólicos; antocianinas; atividade antioxidante.

### Abstract

Jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) and acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) stand out for their high content of bioactive, with a predominance of anthocyanins in jambolan and ascorbic acid in acerola. Thus, the preparation of combinations of these two fruits suggests a final product with high nutraceutical potential, in addition to composing a strong and attractive pigmentation material. In this study, the physical, physical-chemical, bioactive and hygroscopic characteristics of mixed lyophilized jambolan and acerola pulps with different proportions of maltodextrin were evaluated. Maltodextrin was added to the mixed pulp as a drying aid, composing four formulations: mixed pulp without adjuvant (L0), and the others containing 10, 20 and 30% of maltodextrin (L10, L20 and L30, respectively). The formulations were previously frozen (-18 °C) for 48 hours, lyophilized for 72 hours at -50 °C and disintegrated to obtain the powders. The samples were characterized in terms of physical-chemical composition and bioactive compounds (carotenoids, ascorbic acid,

phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and tannins). The phenolic profile was determined by HPLC and the antioxidant activity by the DPPH • and FRAP methods. The physical parameters were also determined: angle of rest, absolute, apparent and compacted densities, Hausner factor, Carr index and solubility. The water adsorption isotherms of the powders were determined at 25 °C and 6 mathematical models adjusted to the experimental data. The results showed that the mixed freeze-dried pulps showed high levels of bioactive compounds, such as ascorbic acid, phenolic compounds, anthocyanins, flavonoids and tannins, in addition to a reasonable protein content and predominance of sugars, mainly of non-reducers. Ten phenolic acids were detected in the phenolic profile, with emphasis on 2,5-dihydroxybenzoic acid and salicylic acid. The lyophilized powder L0 showed high antioxidant capacity, detected by the sequestration of the radical DPPH • and by the FRAP system. The use of maltodextrin improved the physical characteristics of the powders, reducing the resting angle, the absolute density, the Hausner factor and the Carr index, and increasing the apparent and compacted densities and solubility. The GAB model, followed by the Peleg, Oswin, Halsey, Kuhn and Iglesias and Chirife models provided good adjustments to the water adsorption isotherms of the powders.

**Keywords:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; bioactive compounds; phenolic compounds; anthocyanins; antioxidant activity.

## 1 Introdução

O Brasil possui grande variedade de frutíferas nativas e exóticas com importante perspectiva comercial. Entretanto, parte da biodiversidade brasileira de frutas não tem seu potencial explorado devido à substituição das variedades silvestres por outras de maior apelo comercial (RESENDE et al., 2019). Dentre as frutíferas não nativas do Brasil, mas com plena adaptação às condições edafoclimáticas locais, destacam-se o jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.).

O jambolão é uma árvore da família Mirtaceae, conhecida por uma grande variedade de nomes: jamelão, azeitona-do-nordeste, jalão, entre outros. O fruto do jambolão se caracteriza por apresentar alta atividade antioxidante e polifenóis (TAVARES et al., 2016). A acerola é uma fruta tropical originária da América Central e do Sul. É notável pelo seu alto teor de ácido ascórbico, composto bioativo que desempenha um papel importante na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo (NOGUEIRA et al., 2019).

Devido ao alto índice de desperdício nos períodos de safra, as frutas são produtos agrícolas que se destacam por exigir processamento quase imediato pós-colheita, contando-se como alternativa a elaboração de produtos secos ou desidratados a fim de disponibilizá-las por um período prolongado, buscando-se redução de perdas nutricionais e sensoriais (CHHIKARA et al., 2018).

A secagem é um método eficaz para reduzir a atividade da água para valores inferiores a 0,6, com vistas à obtenção de produtos com vida útil prolongada. Os produtos secos adquirem massa e volume reduzidos, diminuindo assim os custos de embalagem, transporte, manuseio e armazenamento (NEMZER et al., 2018). Considerada como método de referência entre os processos de secagem, a liofilização permite a obtenção de produtos com qualidade, principalmente evitando perdas de bioatividade pela preservação de substâncias ricas em fenólicos (ARAÚJO et al., 2019).

A liofilização é um método de secagem viável para reduzir perdas da atividade antioxidante, de vitaminas e compostos voláteis, utilizando-se de temperaturas negativas, sob vácuo, e evitando a presença de água líquida, apresentando bons resultados na preservação de compostos sensíveis ao calor, resultando em um produto de alta qualidade biológica (REYES-ÁLVAREZ; LANARI, 2019).

A produção de polpas de frutas em pó frequentemente se beneficia da utilização de adjuvantes de secagem. A secagem utilizando-se de maltodextrina como adjuvante pode reduzir a aglomeração dos pós resultantes, melhorando a fluidez do produto final. Além disso, é uma técnica importante para proteger extratos ricos em antocianinas (YAMASHITA et al., 2017). A utilização da maltodextrina aumenta a eficiência do processo de secagem devido à sua alta solubilidade em água, baixa viscosidade e baixo teor de açúcar (FONGIN et al., 2019).

A combinação de polpas de jambolão e acerola, frutas ricas em princípios bioativos, justifica a utilização de um processo de secagem considerado de alto custo como a liofilização, com vistas a criar um produto em pó com elevado valor nutritivo. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar as propriedades físicas e físico-químicas, compostos bioativos da polpa mista liofilizada de jambolão e acerola, avaliando o efeito da utilização de maltodextrina como adjuvante de secagem.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Processamento dos frutos e obtenção da polpa mista**

Foram utilizados como matérias-primas frutos de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), proveniente do município de Macaíba, estado do Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m).



Os frutos foram selecionados, lavados em água corrente e sanitizados por imersão em água clorada (50 ppm) por 15 minutos. Em seguida, foram despulpados em despulpadora horizontal de aço inoxidável (Itametal<sup>®</sup>, modelo compacta, Itabuna, BA, Brasil). As polpas foram envasadas em embalagens de polietileno e armazenadas em freezer ( $-18 \pm 2$  °C) até a utilização nos experimentos.

A elaboração da polpa mista deu-se a partir do descongelamento prévio sob refrigeração ( $4 \pm 1$  °C) das polpas de jambolão e de acerola; em seguida fez-se a homogeneização das polpas de jambolão e acerola na proporção de 1:1 (m/m) em liquidificador doméstico durante 1 minuto.

## 2.2 Liofilização

As formulações para o processo de liofilização foram compostas da polpa mista com adição de três concentrações de maltodextrina com dextrose equivalente (DE) de 10 (MOR-REX<sup>®</sup> – Corn Products Brasil): L0 (0%), L10 (10%), L20 (20%) e L30 (30%). As formulações da polpa mista com maltodextrina passaram por homogeneização em liquidificador doméstico por cerca de 5 minutos até completa dissolução da maltodextrina.

As formulações foram distribuídas em moldes de plástico (23 x 10 x 2 cm) e submetidas a congelamento em freezer (-18 °C) por 48 horas. Após o congelamento, o material foi levado imediatamente para o liofilizador (Liobras<sup>®</sup>, modelo L101, São Carlos, São Paulo, SP, Brasil), permanecendo no equipamento por 72 horas a -50 °C ( $< 500$  µHg). Em seguida, as amostras liofilizadas foram desintegradas em mini processador (Mallory, modelo Oggi<sup>+</sup>, Maranguape, CE, Brasil) para obtenção dos pós e armazenada em embalagens flexíveis laminadas (composta de uma camada de PET transparente, metalização e filme de polietileno de baixa densidade – PEDB, com gramatura total nominal de 120 g/m<sup>2</sup>, taxa de transmissão de vapor de água de 5,38 g/m<sup>2</sup>/dia e taxa de permeabilidade ao oxigênio de 60 cc/m<sup>2</sup>/dia) com dimensões de 10 x 17,5 cm, e permanência até o momento das análises.

## 2.3 Análises físicas, físico-químicas e bioativas

As análises físico-químicas foram determinadas, em triplicata (base seca - ms), nos pós de acordo com as metodologias recomendadas pelo AOAC (2016): pH, usando pHmetro digital (Tecnal, modelo TEC-2, Piracicaba, SP, Brasil); acidez total titulável (g de ácido cítrico/100 g ms), por titulação com NaOH 0,1 mol/L até pH = 8,2-8,4; teor de água, por

gravimetria, utilizando estufa convencional a  $105 \pm 2$  °C até massa constante (g/100 g ms); sólidos solúveis totais (°Brix) em refratômetro; cinzas obtida pela calcinação em mufla a 550 °C e proteínas, pelo método de micro Kjeldahl.

A determinação do ácido ascórbico foi realizada de acordo com o protocolo de Oliveira, Godoy e Prado (2010), através da titulação com 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI). O resultado foi expresso em mg/100 g ms.

O teor de açúcares solúveis total foi medido pelo método de antrona (YEMM; WILLIS, 1954). As leituras de absorbância foram obtidas a 620 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). Os resultados foram expressos em g/100 g ms. A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão, na concentração de 100 µg/mL. O conteúdo de açúcares redutores foi quantificado pelo método colorimétrico, usando ácido 3,5-dinitrosalicílico (MILLER, 1959). As leituras de absorbância foram realizadas a 540 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em g/100 g ms. A curva padrão foi preparada utilizando-se glicose como padrão na concentração de 2,5 µM/mL.

Os compostos fenólicos totais foram quantificados nos extratos de acordo com o método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006). As leituras de absorbância das amostras foram obtidas a 765 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em mg de EAG (equivalente de ácido gálico)/100 g ms. A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico como padrão, na concentração de 100 µg/mL.

A concentração de taninos totais foi quantificada pelo método de Porter, Hrstich e Chan (1986), utilizando-se o reagente Folin-Denis. As leituras de absorbância foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 765 nm. A curva padrão foi construída com solução padrão de ácido tânico a 0,1 mg/mL e os resultados expressos em mg EAT (equivalente de ácido tânico)/100 g ms.

O método pela diferença de pH foi utilizado para medir o teor total de antocianinas (COHEN et al., 2006). O extrato foi produzido com solução de etanol (95%) - HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. A absorbância de cada diluição foi medida em comprimentos de onda de 510 e 700 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) após 24 horas de repouso sob refrigeração ( $8 \pm 1$  °C) e os resultados expressos em mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g ms.

Os flavonoides totais foram determinados segundo o método descrito por Francis (1982). O extrato foi produzido com solução de etanol (95%) - HCl (1,5 N) na proporção de

85:15. As leituras das absorvâncias foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 374 nm após 24 horas de repouso sob refrigeração ( $8 \pm 1$  °C). A concentração de flavonoides foi expressa em mg/100 g ms.

Os carotenoides totais foram estimados conforme metodologia descrita por Lichtenthaler (1987), utilizando-se acetona como extrator, sendo lida a amostra em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) no comprimento de onda 470 nm. Os resultados foram quantificados em mg/100 g ms.

As medidas da atividade de água ( $a_w$ ) foram determinadas por leitura direta a 25 °C em equipamento Aqualab 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA).

Para determinação da densidade aparente utilizou-se uma massa de pó conhecida, transferida para uma proveta graduada de 10 mL; o cálculo da densidade aparente foi realizado pela relação entre a massa e o volume ocupado ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), segundo (GOULA; ADAMOPOULOS, 2004). Para determinação da densidade compactada utilizou-se a metodologia de Tonon et al. (2013), calculada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

A densidade absoluta dos pós foi determinada pelo método picnométrico, utilizando hexano como líquido imiscível, na temperatura de 25 °C, o qual consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra.

O fator de Hausner foi calculado pela relação entre a densidade compactada e a densidade aparente (HAUSNER, 1967). O índice de Carr foi calculado conforme Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014).

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama de pó foi adicionado em 100 mL de água destilada, homogeneizando-se na velocidade máxima de agitação em um agitador magnético, durante 5 min. O pó disperso em água foi centrifugado a 2.600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma cápsula de alumínio, previamente tarada e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

Para a avaliação do ângulo de repouso foi utilizada a metodologia descrita por Aulton (2005), em que o pó é escoado por um funil, sustentado por um suporte universal. A distância entre o orifício de descarga do funil e a superfície foi de 9 cm. Com isso, foram medidos a altura e o diâmetro da pilha formada após o escoamento do material, utilizando-se paquímetro digital.

As análises foram realizadas em quadruplicata e os resultados apresentados são médias.

## 2.4 Obtenção dos extratos fenólicos

Para produzir os extratos que foram utilizados para avaliação do perfil de fenólicos e o potencial antioxidante foram utilizados metanol, etanol e água. Os extratos fenólicos foram obtidos numa proporção amostra/mistura de solvente de 1:10 (amostra: etanol 50% acidificado) para a polpa mista integral e para o pó da polpa mista sem adjuvante (L0) sob agitação mecânica (Tecnal<sup>®</sup>, Incubadora TE-420, Piracicaba, SP, Brasil) à temperatura ambiente por 3 horas. Seguiu-se de uma centrifugação a 6000 rpm à 25 °C por 10 minutos, filtração a vácuo e secagem em estufa com circulação de ar a 40 °C overnight (15 horas). Os extratos secos foram adicionados à mistura de solventes na proporção de 5 mg do extrato seco/mL de metanol 50% ou etanol 50% acidificado, de acordo com a amostra, e armazenados sob refrigeração ( $8 \pm 1$  °C) até o momento das análises.

## 2.5 Atividade antioxidante pelo poder redutor do ferro (FRAP)

A capacidade antioxidante de redução do ferro foi determinada pelo método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) (RUFINO et al., 2006), com adaptações. Na ausência de luz, o reagente FRAP foi preparado com tampão acetato 300 mmol/L (pH 3,6), 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazin (TPTZ) 10 mmol/L em uma solução de HCl 40 mmol/L e FeCl<sub>3</sub> 20 mmol/L. Uma alíquota adequada do extrato foi transferida para um tubo de ensaio e adicionados 0,27 mL de água ultrapura e 2,7 mL do reagente FRAP. A mistura foi agitada e mantida em banho durante 30 minutos a  $37 \pm 1$  °C. Após o resfriamento até temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C), amostras e padrões foram lidos em espectrofotômetro (UV-vis da Shimadzu) a 595 nm. A curva padrão foi traçada usando sulfato de ferro II em concentrações que variaram entre 500 e 2000 µmol/L. Os resultados foram expressos em µmol de equivalente sulfato ferroso/g ms.

## 2.6 Atividade antioxidante pelo sequestro do radical livre DPPH<sup>•</sup>

A atividade de eliminação de radicais livres dos extratos foi determinada com base no método DPPH<sup>•</sup> (RUFINO et al., 2007), com modificações. Uma alíquota do extrato foi adicionada em 3,0 mL de solução diluída de DPPH<sup>•</sup> (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) em etanol (0,0236 mg/mL), agitada e incubada durante 30 minutos no escuro, e a absorbância das amostras e padrões foi medida em espectrofotômetro (UV-vis da Shimadzu) a 517 nm. A

curva padrão foi realizada com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano- ácido 2-carboxílico) (100-2000  $\mu\text{mol/L}$  em etanol). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol}$  equivalente Trolox/g ms.

## 2.7 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC) (Shimadzu, Barueri, SP, Brasil), equipado com um injetor automático Rheodyne 7125i e um detector UV-vis. Para a identificação dos compostos fenólicos individuais, utilizou-se a metodologia descrita por Meireles (2017). As colunas utilizadas foram uma coluna Shimadzu LC-18 (25 cm x 4,6 mm, tamanho da partícula 5  $\mu\text{m}$ , Supelco, Bellefonte, PA) e uma pré-coluna C-18 ODS Shimadzu. As amostras foram eluídas com um sistema gradiente que consiste em solvente A (2% ácido acético, v/v) e solvente B (acetonitrila:metanol, 2:1, v/v), utilizados como fases móveis, com um fluxo de 1 mL/min. A temperatura da coluna foi mantida a 25 °C e o volume de injeção foi de 20  $\mu\text{L}$ . O sistema de gradiente iniciou-se a partir de 90% A a 0 minuto, 88% A em 3 minutos, 85% A em 6 minutos, 82% A em 10 minutos, 80% A em 12 minutos, 70% A em 15 minutos, 65% A em 20 minutos, 60% A em 25 minutos, 50% A em 30-40 minutos, 75% A em 42 minutos e 90% A em 44 minutos. A corrida cromatográfica total foi de 50 minutos. Os picos dos compostos fenólicos monitorizados a 280 nm. O software Labsolutions (Shimadzu) foi usado para controlar o sistema de LC-UV e de processamento de dados. Os compostos fenólicos foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção para 14 padrões de ácidos fenólicos e flavonoides, e para as amostras, analisadas sob as mesmas condições, sendo quantificados a partir de curvas de calibração e os cromatogramas foram registrados no software Labsolutions Data System. Os resultados foram expressos em mg/100 g ms.

## 2.8 Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água dos pós da polpa mista foram avaliadas adotando-se o método dinâmico indireto, descrito por Crapiste e Rotstein (1982), na temperatura de 25 °C, com as leituras da atividade de água feitas no equipamento Aqualab modelo 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA). O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 1).

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

$X_{eq}$  – teor de água de equilíbrio, base seca (%);

$m_{eq}$  - massa da amostra no equilíbrio (g);

$m_s$  - massa seca da amostra (g).

Os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais utilizando o programa computacional Statistica versão 7.0, através de regressão não linear pelo método Quase Newton.

**Tabela 1** – Modelos matemáticos de ajuste das isotermas de adsorção de água

Designação	Modelo
<b>GAB (Guggenheim, Anderson e Boer)</b>	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$
<b>Peleg</b>	$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$
<b>Oswin</b>	$X_e = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$
<b>Halsey</b>	$X_e = \left[ -a / \ln a_w \right]^{\frac{1}{b}}$
<b>Kuhn</b>	$X_e = \left( a / \log a_w \right) + b$
<b>Iglesias e Chirife</b>	$X_e = a + \left[ b \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right) \right]$

Obs:  $X_e$  - Teor de água de equilíbrio;  $a_w$  - Atividade de água;  $X_m$  - Teor de água na monocamada molecular; C e K - parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - Constantes dos modelos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio percentual médio (P) (Equação 2) foram os critérios usados para determinação do melhor ajuste pelos modelos.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_{exp} - X_{pred})}{X_{exp}} \quad (2)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);

$X_{exp}$  - valores obtidos experimentalmente;

$X_{pred}$  - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

## 2.9 Análise estatística

As análises de dados foram tratadas de acordo com o delineamento inteiramente casualizado. Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% ( $p < 0,05$ ) de significância, com o auxílio do *software* Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Características físicas, físico-químicas, bioativas e atividade antioxidante

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios com os respectivos desvios padrão dos parâmetros físico-químicos das formulações de polpa mista em pó obtidas através da liofilização.

A atividade da água ( $a_w$ ) é a medida da disponibilidade de água livre nos alimentos, responsável por reações bioquímicas e importante índice para determinar a estabilidade microbiana dos alimentos. Na formulação L0 a  $a_w$  foi significativamente maior que nas demais, contudo, todos os valores foram menores que 0,5 níveis que inviabiliza o crescimento microbiano e reações enzimáticas. Almeida et al. (2019) verificaram na casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) liofilizada sem adjuvante  $a_w$  de 0,302 e teor de água de 10,57 g/100 g, sendo estes valores inferiores ao encontrado na L0.

O teor de água das formulações L10 a L30 estavam na faixa (3 a 12 g/100 g) determinada por Villacrez, Carriazo e Osório (2014) para pós de framboesa dos Andes (*Rubus glaucus* Benth), e significativamente ( $p < 0,05$ ) mais baixos que o pó liofilizado sem adjuvante (L0). De acordo com Zafisah et al. (2018) a adição de maltodextrina e sua concentração é um fator que afeta o teor de água de pós alimentícios.

Os resultados são consistentes com a faixa de teor de água (4,89-9,03 g/100 g) relatada por Mansour, Salah e Xu (2020) nos pós dos extratos de antocianina da framboesa vermelha (*Rubus idaeus*) liofilizados, a goma arábica e o isolado de proteína de soja foram utilizados como adjuvante de secagem, numa combinação de 2,5% para cada um.

**Tabela 2** – Valores médios e desvios padrão das propriedades físico-químicas dos pós das formulações de polpa mista obtidos por liofilização

Parâmetros	Formulações			
	L0	L10	L20	L30
<b>a<sub>w</sub></b>	0,403±0,001a	0,234±0,003b	0,214±0,001c	0,141±0,001d
<b>Teor de água<sup>1</sup></b>	22,42±0,18a	10,68±0,20b	4,03±0,09c	3,85±0,09c
<b>Cinzas<sup>1</sup></b>	4,14±0,03a	1,84±0,04b	1,47±0,03c	1,09±0,02d
<b>Sólidos solúveis totais (°Brix)</b>	6,41±0,00d	7,62±0,00c	8,42±0,00b	8,82±0,00a
<b>Acidez<sup>2</sup></b>	8,71±0,14a	4,50±0,03b	2,94±0,03c	2,28±0,04d
<b>Ratio</b>	1,10±0,02d	2,07±0,01c	3,09±0,04b	4,17±0,06a
<b>pH</b>	3,64±0,00c	3,66±0,00b	3,85±0,00a	3,86±0,00a
<b>Proteínas<sup>1</sup></b>	8,26±0,14a	4,58±0,03b	3,56±0,04c	2,84±0,05d
<b>Açúcares totais<sup>1</sup></b>	60,33±0,10d	75,94±0,10c	79,78±0,08b	82,69±0,10a
<b>Açúcares redutores<sup>1</sup></b>	0,47±0,00a	0,32±0,00b	0,29±0,00c	0,28±0,00d
<b>Açúcares não redutores<sup>1</sup></b>	56,86±0,10d	71,84±0,10c	75,52±0,08b	78,30±0,09a
<b>Ácido ascórbico<sup>3</sup></b>	6863,67±0,01a	3475,54±0,00b	2484,56±0,00c	1847,53±0,00d
<b>Flavonoides<sup>3</sup></b>	116,16±0,14a	56,80±0,04b	29,74±0,04c	23,17±0,00d
<b>Antocianinas<sup>4</sup></b>	219,12±0,46a	125,31±0,37b	101,18±0,35c	72,47±0,21d
<b>Carotenoides<sup>3</sup></b>	5,63±0,01a	1,17±0,01b	0,72±0,00c	0,38±0,00d
<b>Compostos fenólicos totais<sup>5</sup></b>	10174,73±0,00a	8172,53±0,00b	7663,36±0,00c	5416,04±0,00d
<b>Taninos totais<sup>6</sup></b>	16015,42±0,00a	9001,64±0,00b	8431,18±0,00c	5993,76±0,00d

1 – g/100 g ms; 2 – g ac. cítrico/100 g ms; 3 - mg/100 g ms; 4 - mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g ms; 5 - mg EAG/100 g ms; 6 - mg EAT/100 g ms. Concentração de maltodextrina: L0 (0%) L10 (10%), L20 (20%) e L30 (30%). Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

A polpa mista liofilizada (L0) mostrou alto teor de cinzas ( $p < 0,05$ ), com as demais formulações em pó apresentando valores reduzidos devido à adição de maltodextrina. O mesmo comportamento foi verificado por Ermis, Güner e Yilmazz (2018), que verificaram para o leite em pó de avelã usando maltodextrina nas proporções de 5; 10 e 15%, valores de cinzas de 1,46; 1,25 e 1,15 g.100 g, respectivamente.

Os sólidos solúveis totais das formulações refletiram os aumentos das concentrações de maltodextrina, no qual as formulações L10, L20 e L30 apresentaram maiores teores de sólidos solúveis totais comparado a L0 ( $p < 0,05$ ). No estudo de Reyes-Álvarez e Lanari (2019), o teor de sólidos solúveis (7,75 °Brix) determinado na polpa de araçá (*Eugenia*



*stipitata* Mc Vaugh) liofilizada com a mistura de maltodextrina/goma arábica é compatível com o da amostra L10.

A adição de maltodextrina levou a um aumento no pH e redução na acidez titulável ( $p < 0,05$ ). Entre as formulações da liofilização, as que apresentaram maior acidez total titulável e menor pH (L0 e L10), apresentaram maior teor de antocianinas após liofilização, corroborando que as antocianinas são mais estáveis em valores baixos de pH e acidez elevada. O pH dos pós das formulações foi similar ao encontrado na polpa de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) liofilizada com 30% de maltodextrina (CONEGERO et al., 2017). O ratio foi afetado diretamente pela concentração de maltodextrina, de forma que a adição de 30% (L30) do adjuvante apresentou o maior valor entre as amostras analisadas ( $p < 0,05$ ).

A amostra L0 apresentou 80% a mais de proteínas do que as amostras L10, enquanto esta manteve-se com 29% a mais que a L20, e esta 25% a mais que a L30, demonstrando a redução progressiva com aumento do teor de maltodextrina. Silva, Brinques e Gurak (2019) encontraram valores de 5,96% e 2,96% de proteínas em farinha de broto de alfafa e farinha de subprodutos (feijão, trevo, amaranto, brócolis, rabanete e alfafa) liofilizados, respectivamente.

Os pós provenientes das formulações continham de 60,33 a 82,69 g/100 g ms de açúcares totais e detiveram mais sacarose do que glicose. Todos os pós apresentaram baixo teor de açúcares redutores. Na polpa de tamarillo (*Solanum betaceum* Cav) liofilizada sem adjuvante de secagem, o nível de açúcares redutores (0,40 g/100 g) (ORQUEDA et al., 2016) foi semelhante ao encontrado na polpa mista em pó (L0).

Como é mostrada na Tabela 2, as menores concentrações do ácido ascórbico das polpas mista em pó L10; L20 e L30 em relação à amostra L0 foram de 49, 63 e 72%, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Conforme Caparino et al. (2012) a redução nos valores de ácido ascórbico nos produtos liofilizados pode ser explicada pelo aumento da porosidade promovida por esse tipo de secagem e aditivo, expondo o produto ao oxigênio e posterior degradação oxidativa. Mesmo com a redução acarretada pela adição de adjuvante de secagem, os valores de ácido ascórbico encontrados em 100 g dos pós liofilizados foram superiores ao valor da ingestão diária recomendada (IDR) pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2005), que é de 45 mg para adultos.

Sérino, Costagliola e Gomez (2019) determinaram uma faixa de concentração de ácido ascórbico de 160 a 740 mg/100 g em pó liofilizado de tomate, em que os autores não utilizaram adjuvantes de secagem.

Flavonoides e antocianinas apresentaram maiores reduções percentuais consecutivas entre as amostras L0 e L10, com 51% e 42%, respectivamente. Com o aumento da proporção do adjuvante as reduções foram progressivamente menores (L10 e L30), atingindo entre L0 e L30, 80% e 66%, respectivamente ( $p < 0,05$ ).

Nemzer et al. (2018) reportaram teores de flavonoides de 2310, 1370, 2070 e 0,800 mg/100 g em liofilizados de mirtilo, cereja, amora e morango, respectivamente. Tavares et al. (2019) encontraram valores de flavonoides (11,01 mg/100 g) em pós de espuma de uva (BRS Rúbea×IAC 1398-21) desidratada por liofilização utilizando 15% de maltodextrina. Tavares et al. (2016), detectaram cerca de 74 compostos fenólicos nas partes comestíveis do jambolão, incluindo 9 antocianinas, 9 flavonóis, 19 flavanonóis, 8 flavan-3-ol monómeros, 13 galotaninos e 13 elagitaninos, juntamente com algumas proantocianidinas e ácido gálico.

Yamashita et al. (2017) avaliando pós da liofilização de amora (*Rubus* spp.) com maltodextrina como adjuvante observaram redução no teor de antocianina com o aumento da concentração de maltodextrina de 10% para 20%. Lameiro et al. (2019) estudando amora-preta (*Rubus fruticosus*) e mirtilos (*Vaccinium ashei* Reade), encontraram valores de 122,98 mg/100 g e 138,85 mg/100 g para antocianinas, semelhantes à amostra L10. Braga et al. (2019), avaliaram teor de antocianinas da mistura liofilizada de polpa de amora (*Rubus* spp.) e leite, com valores da secagem de 81,72 a 195,47 mg/100 g. Segundo os autores, a maior retenção de antocianinas foi verificada no pó produzido com adição de adjuvante maltodextrina (51,2 a 96,9%) do que sem aditivo (40,1%).

Nos carotenoides totais das formulações liofilizadas, as reduções com o aumento da adição de maltodextrina em relação à amostra L0 foram de 79%, 87% e 93% nas amostras L10, L20 e L30, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Duarte et al. (2017), estudando marolo (*Annona crassiflora*) e cagaita (*Eugenia dysenterica*) desidratadas por liofilização verificaram valores de carotenoides de 1,032 e 5,004 mg/100 g, respectivamente.

A adição de maltodextrina acarretou reduções percentuais relativamente menores na composição fenólica, com percentagens de perdas de 19,68, 24,70 e 46,77% no teor dos compostos fenólicos totais das amostras L10, L20 e L30 em relação à amostra L0 ( $p < 0,05$ ). Rezende, Nogueira e Narain (2018) estudando pós de polpa e resíduo de acerola relataram teores de compostos fenólicos totais de 1016,83 a 1052,91 mg GAE/100 g nas amostras. Araújo et al. (2019), em trabalho com o teor de compostos fenólicos no pó de óleo de laranja (*Citrus aurantium* var. *dulcis*), microencapsulado com mistura de maltodextrina e gelatina encontraram valor de 1053 mg/100 g.

Agudelo et al. (2017) avaliando compostos fenólicos em pós de toranja (*Citrus paradisi* var. *Star Ruby*) obtidos por liofilização, utilizando como adjuvantes goma arábica e fibra de bambu, verificaram retenção de 90% Rodrigues et al. (2018), ao produzirem microcápsulas de resíduos de jabuticaba (*Plinia cauliflora*) por liofilização, utilizando mistura de maltodextrina e goma xantana, na presença e ausência de luz, reportaram valores de 5244 a 12540 mg/100 g.

O aumento na proporção de maltodextrina adicionada acarretou reduções ( $p < 0,05$ ) no teor de taninos em proporções semelhantes às observadas nas antocianinas, totalizando entre 43,8 a 62,6% entre L0 e as demais amostras. A maltodextrina foi eficaz na conservação dos taninos (17989 mg/100 g) no extrato de *Musa sp.* liofilizado e sua utilização auxilia no controle do congelamento, prevenindo a formação de cristais na estrutura (BARROSO et al., 2016).

Na Tabela 3 são apresentados os compostos fenólicos identificados no pó da polpa mista (L0) liofilizado sem adjuvante.

Dos compostos fenólicos que são comumente investigados em frutas, dez ácidos fenólicos (79,94%) e quatro flavonoides (20,06%) foram identificados na polpa mista em pó de jambolão e acerola (L0). Os compostos fenólicos nos alimentos influenciam na cor, sabor, odor, amargor, adstringência e estabilidade oxidativa (GRYGORIEVA et al., 2020).

De acordo com o grupo funcional, que apresentam os ácidos fenólicos, podem ser classificados como derivados do ácido hidroxibenzoico e derivados do ácido hidroxicinâmico. A família do ácido hidroxicinâmicos, do qual fazem parte os ácidos ferúlico, caféico e cumárico, estão presentes em cereais, café, frutas e bebidas (PEREIRA et al., 2018).

Verifica-se na polpa mista em pó (L0) que as maiores concentrações foram dos ácidos 2,5-dihidroxibenzoico (57,62%), ácido vanílico (12,68%), catequina (10,68%) e salicílico (5,30%). Ácidos fenólicos como os ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinâmico e seus derivados desempenham um papel vital na prevenção e tratamento de acidente vascular cerebral, doença coronariana e câncer e atuam como antioxidantes, pois possuem um alto potencial de eliminação de radicais livres e trabalham contra o estresse oxidativo (KUMAR; GOEL, 2019). Demirci et al. (2018), na determinação do perfil químico de polpa de maçã, conseguiram quantificar o ácido 4-hidroxibenzoico, ácido vanílico e rutina como os principais compostos fenólicos. A atividade antioxidante dos ácidos fenólicos depende do número de grupos hidroxila disponíveis na molécula sem impedimento estérico (LIMA et al., 2019).

**Tabela 3** – Identificação e quantificação do perfil dos compostos fenólicos por HPLC presentes no pó da polpa mista liofilizada sem adjuvante (L0)

Parâmetros	Pó da polpa mista (L0) (mg/100 g ms)
<b>Ácidos fenólicos</b>	
Ácido caféico	171,53±0,01
Ácido <i>p</i> -cumárico	24,51±0,01
Ácido 2,5-dihidroxibenzoico	2199,29±5,01
Ácido elágico	49,02±0,01
Ácido 4-hidroxibenzoico	104,15±5,01
Ácido sinápico	24,51±0,01
Ácido salicílico	202,17±5,01
Ácido vanílico	171,53±0,01
Ácido ferúlico	24,51±0,01
Ácido gálico	79,64±5,01
<b>Total de ácidos fenólicos</b>	<b>3050,86±0,01</b>
<b>Flavonoides</b>	
Catequina	483,96±5,01
Miricetina	153,15±5,01
Naringenina	61,25±0,01
Rutina	67,39±5,01
<b>Total de flavonoides</b>	<b>765,75±3,80</b>
<b>Total dos compostos fenólicos</b>	<b>3816,61±3,80</b>

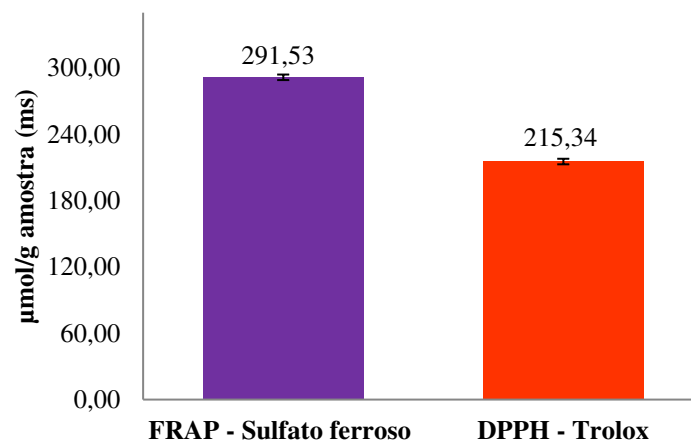
O teor total de compostos fenólicos (CFT) na polpa mista em pó (L0), de 3816,61 mg/100 g ms, foi muito superior ao verificado por Schulz et al. (2019) de 11,60 mg/100 g ms com conteúdo de ácido salicílico, naringenina, ácido caféico e catequina em amoras-pretas maduras (*Rubus ulmifolius* Schott), com valores de 0,29; 0,02; 0,07 e 0,15 mg/100 g ms, respectivamente. Teor inferior de CFT ao na polpa mista em pó (L0) foi verificado por Xu et al. (2020) ao quantificarem em acerolas teor dos compostos fenólicos totais variando de 1421-2448 mg EAG/100 g, distribuídos entre os seguintes compostos: ácido clorogênico, ácido *p*-cumárico, ácido ferúlico, kaempferol, luteolina, rutina e apigenina. Olivas-Aguirre et al. (2017) quantificaram teores inferiores em abacaxi (*Anana comosus*) cv. Esmeralda liofilizado de ácido gálico (0,62 mg/100 g), ácido ferúlico (0,10 mg/100 g) e rutina (0,31 mg/100 g) e em manga (*Mangifera indica*) cv. Ataulfo liofilizada de ácido vanílico (1,51 mg/100 g) e catequina (0,12 mg/100 g).

Os resultados na polpa mista em pó (L0) foram superiores aos reportados por Nogueira et al. (2019), para o ácido caféico (0,25-5,61 mg/100 g), ácido cumárico (2,37-

4,31 mg/100 g) e rutina (0,45-1,43 mg/100 g) ao investigarem o efeito da secagem nas propriedades antioxidantes do resíduo de acerola. Os ácidos fenólicos cumárico e caféico, bem como o flavonoide rutina, foram identificados também na polpa liofilizada do fruto da palma (*Opuntia ficus-indica*) (ARUWA; AMOO; KUDANGA, 2019).

Lima et al. (2019) quantificaram o perfil de compostos fenólicos incluindo os ácidos fenólicos (vanílico, cumárico, salicílico e 4-hidroximetilbenzoico), assim como, os flavonoides (catequina, naringenina e miricetina), bem como outros compostos no pó da polpa de goiaba, desidratada por secagem em estufa a 55 °C, cujo teor total dos compostos fenólicos foi de 1471 mg/100 g.

A capacidade antioxidante da polpa mista em pó foi avaliada com base na atividade de eliminação de radicais livres DPPH<sup>\*</sup> e FRAP, como mostrado na Figura 1.



**Figura 1** – Capacidade antioxidante por DPPH<sup>\*</sup> e FRAP do extrato da polpa mista em pó sem adjuvante liofilizada (L0)

Verifica-se que o método de DPPH<sup>\*</sup> apresentou valor inferior em 26% ao método FRAP. De acordo com Xu et al. (2020) mecanismos antioxidantes nos tecidos biológicos são extremamente complexos e não existe uma metodologia que possa fornecer resultados inequívocos. Alvarez-Suarez et al. (2017) ao determinarem a capacidade de proteção contra danos oxidativos em acerola, também verificaram que o valor pela metodologia FRAP (144,91 μmol/g) foi igualmente superior ao do DPPH<sup>\*</sup> (8,41 μmol/g). Tavares et al. (2019) determinaram a capacidade antioxidante por FRAP e DPPH<sup>\*</sup> em uvas BRS Violeta in natura e liofilizada, reportando valores em FRAP de 32,79 e 88,98 μmol/g e em DPPH<sup>\*</sup> de 17,27 e 39,75 μmol/g, respectivamente. Aruwa, Amoo e Kudanga (2019) relataram capacidade

antioxidante via ensaio FRAP para polpa *Opuntia ficus-indica* liofilizada de 137,65  $\mu\text{mol/g}$ , cerca de 52,78% inferior ao do pó da polpa mista liofilizada (L0).

Constata-se que na polpa mista em pó (L0) apresentou capacidade antioxidante superior ao da acerola determinada por Alvarez-Suarez et al. (2017) pela metodologia de DPPH (8,41  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g) e por FRAP (144,91  $\mu\text{mol}$  de sulfato ferroso/g). Carvalho et al. (2017) determinaram a capacidade antioxidante em pós de jambolão liofilizados com valores de 11,71  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g e de 55,99  $\mu\text{mol}$  de sulfato ferroso/g, resultados inferiores ao observado no presente estudo. Estas diferenças se devem, além da composição na polpa mista em pó (L0) ser uma mistura de jambolão e acerola, também ao estágio de maturação dos frutos, ao teor de compostos fenólicos e de vitamina C, as metodologias empregadas, variedades e condições edafoclimáticas de cultivo, tipo de processamento, entre outros fatores.

A vitamina C tem uma influência muito mais significativa do que os compostos fenólicos na capacidade antioxidante da acerola (XU et al., 2020). A atividade antioxidante dos compostos fenólicos tem sido atribuída a vários mecanismos, tais como a prevenção do início da cadeia oxidativa, a ligação com catalisadores de íons de metais de transição, a decomposição de peróxidos, a capacidade de oxirredução e a capacidade de sequestrar radicais livres (LIU et al. 2013).

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios com os respectivos desvios padrão dos parâmetros físicos das polpas mistas em pó obtidas por liofilização. O ângulo de repouso é usado para caracterizar as propriedades de fluxo de sólidos, relacionado com o atrito interpartículas ou resistência ao movimento entre as partículas. De forma geral, quanto menor o ângulo de repouso, melhor a fluidez do pó. Geldart et al. (2006) estabelecem um limite em que pós com ângulos de repouso  $> 50^\circ$  apresentam dificuldades de escoamento.

Observa-se que os valores de ângulo foram maiores para a amostra que não recebeu maltodextrina e menores para as que continham 10%, diferindo significativamente das demais formulações. Observa-se que o ângulo de repouso aumenta com a elevação da adição de maltodextrina entre amostras L10 a L30. Entretanto, o maior ângulo de repouso foi verificado na amostra sem a presença de aditivo (L0). Rocha et al. (2017) observaram o mesmo comportamento analisando o fluxo de pós de polpa de manga contendo diferentes concentrações de maltodextrina. Estes resultados podem ser atribuídos não apenas a composição das amostras, mas também à forma como o material foi pulverizado por meio da moagem, de maneira que ao se produzir partículas com formas irregulares e superfícies rugosas têm-se mais contato intergranular, resultando em maior coesão e menor capacidade de escoamento.

**Tabela 4** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físicos das formulações de polpa mista obtidos por liofilização

Parâmetros	Formulações			
	L0	L10	L20	L30
Ângulo de repouso (°)	37,45±0,68a	25,29±0,61d	28,86±0,85c	33,36±0,32b
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	1,22±0,01a	1,10±0,01b	1,03±0,01d	1,07±0,01c
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,13±0,00c	0,51±0,00b	0,50±0,01b	0,59±0,00a
Densidade compactada (g/cm <sup>3</sup> )	0,20±0,00c	0,68±0,01b	0,67±0,01b	0,72±0,01 <sup>a</sup>
Fator de Hausner	1,52±0,03a	1,34±0,00b	1,34±0,00b	1,21±0,00c
Índice de Carr (%)	34,45±1,35a	25,16±0,32b	25,16±0,32b	17,52±0,25c
Solubilidade (%)	66,54±0,73c	85,95±0,99b	96,79±0,18a	97,84±0,26 <sup>a</sup>

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. Concentração de maltodextrina: L0 (0%) L10 (10%), L20 (20%) e L30 (30%)

Ao contrário da densidade aparente e compactada, que leva em consideração todos os espaços livres entre as partículas, a densidade absoluta corresponde à densidade unitária das partículas, indicando o volume de ar incorporado na própria estrutura. A densidade absoluta foi reduzida significativamente com o aumento do teor de maltodextrina. O aumento do teor de adjuvante resultou na criação de partículas com maior porosidade, conseqüentemente, menos densas. Samborska et al. (2019) detectaram comportamento contrário, ao produzirem mel em pó, verificando que a densidade absoluta não foi influenciada pela adição da maltodextrina. Os autores reportaram valor de 1,50 g/cm<sup>3</sup> nas amostras obtidas.

A densidade de um pó está diretamente ligada à estrutura das partículas e, conseqüentemente, à capacidade de fluxo e compressão. Segundo Aulton (2005), a densidade aparente é uma característica do pó e não das partículas individuais que o compõem, enquanto a densidade compactada é obtida quando o pó atinge um estado de maior equilíbrio, ou seja, um arranjo de empacotamento invariável. Observa-se que a adição de adjuvante aumentou de forma geral a densidade aparente das amostras. Esse aumento se relaciona com uma maior capacidade de acomodação das partículas do pó conferida pela maltodextrina, preenchendo de forma mais eficiente os espaços e diminuindo o volume de ar retido,

Seerangurayar et al. (2017), estudando pós obtidos de tâmaras (*Phoenix dactylifera*) maduras, por meio de liofilização da polpa adicionada com 40% de maltodextrina (DE10), reportaram valor de densidade aparente de 0,6 g/cm<sup>3</sup>. Os autores atribuíram o aumento a presença de partículas mais pesadas.

Em valores absolutos a densidade compactada foi mais elevada na amostra com 30% de maltodextrina, porém, comparando com a densidade aparente, tem-se que a densidade compactada da amostra L0 aumentou 54%, enquanto a que a da L30 aumentou 33% em relação à densidade aparente, indicando que o adjuvante contribuiu para a produção de um pó menos propenso a aglomeração quando exposto a movimentação, o que é conveniente quando o material é submetido ao transporte. HUANG et al. (2018) estudando pós superfinos de polpa de beterraba (*Beta vulgaris*) sacarina encontraram valores de densidade compactada semelhantes ao dos pós das polpas mistas, variando entre 0,65 e 0,70 g/cm<sup>3</sup>.

Para a avaliação da fluidez e para prever as propriedades de coesão de pós dois índices, o fator de Hausner e o índice de Carr, são utilizados, em que o primeiro está relacionado ao atrito entre as partículas, enquanto o índice de Carr indica a capacidade de empacotamento das partículas. As adições de maltodextrina neste estudo resultaram em redução dos dois índices nas polpas mista em pó. De acordo com Geldart et al. (2006) produtos com fator de Hausner >1,5 apresentam problemas de fluxo durante o processamento. Já valores de índice de Carr > 32% possui fluidez paupérrima (USP, 2006).

De acordo com a classificação demonstrada por Jinapong; Suphantharika (2008) as polpas mistas em pó L10, L20 e L30 têm coesão intermediária (FH 1,2-1,4) e L0 alta coesão (FH > 1,4) e quanto ao IC a L30 tem boa fluidez (IC – 15-20%) e os pós L0, L10 e L20 fluidez razoável (IC – 25-35%). Então quanto menor o FH e o IC melhor a fluidez e coesão do pó, indicando o L30 com relação a estes parâmetros com a melhor fluidez.

Jiang, Ameer e Eun (2019), no estudo da estabilidade do pó de pera asiática (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Niitaka), observaram que houve redução do índice de Carr entre a amostra controle (34,42) e a amostra com maltodextrina (32,52), empregada como agente carreador. Mar et al. (2019) ao estudarem o efeito dos aditivos goma arábica e inulina na liofilização de extrato de *Hibiscus acetosella*, reportaram fator de Hausner entre 1,3 e 1,4, similar, portanto, as formulações L20 e L30.

A adição de adjuvante de secagem afetou significativamente a solubilidade, com relação direta com a concentração da maltodextrina, a exceção das formulações L20 e L30 que não apresentaram diferença significativa entre si. Tal fato pode estar relacionada à solubilidade do agente carreador utilizado e também ao tamanho das partículas do material produzido, visto que quanto menor o tamanho das partículas, maior a área de superfície disponível para hidratação. Outro aspecto importante é a dispersão das partículas, dado que a menor aglomeração promove melhor solubilidade da amostra (KUCK; NORENA, 2016). A solubilidade em água do produto em pó depende de vários fatores, principalmente da



composição da estrutura e do tamanho das partículas (CORTÊS-ROJAS; SOUZA; OLIVEIRA, 2015). Fredes et al. (2018), na microencapsulação do suco de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) por liofilização reportaram valores de solubilidade inferiores (59,1-59,9 %) ao reportado neste estudo.

A solubilidade é considerada uma propriedade física importante no processo de reidratação. Nos produtos em pó, a solubilidade é usada para verificar a facilidade do pó em se reconstituir na água à temperatura ambiente, tendo em conta a possibilidade de ser reidratado antes de ser utilizado (SYAMALADEVI et al., 2012).

De forma geral, os alimentos em pó devem ter alta solubilidade, considerando que este é um fator decisivo na qualidade desses produtos. Segundo Juliano e Barbosa-Cánovas (2010), a fluidez dos pós depende do tamanho das partículas, forma e características da superfície.

### 3.2 Isotermas de adsorção de água

Apresentam-se na Tabela 5, os parâmetros dos modelos ajustados aos dados de teor de água de equilíbrio em função da atividade de água, na temperatura de 25 °C, dos pós das polpas mistas liofilizadas, com as três concentrações de maltodextrina.

Como pode ser observado, o modelo de GAB se ajustou com maior precisão os dados de adsorção dos pós das polpas mistas com e sem maltodextrina, com valores de coeficientes de determinação  $R^2$  acima 0,997 e valores de P menores que 2% para todas as amostras. Também os modelos de Peleg, Halsey, Oswin, Kuhn e Iglesias e Chirife, apresentaram ajustes satisfatórios ( $R^2 > 0,96$ ;  $P < 10\%$ ).

O modelo de GAB tem sido relatado na literatura como um dos modelos que melhor descrevem as isotermas de sorção de alimentos, segundo Sappati, Nayak e Vanwalsum (2017), baseando-se no conceito teórico de valor do teor de água multicamada e fornecendo uma boa descrição do comportamento de sorção em faixa de atividade de água de 0 a 0,9.

Observando-se o teor de água na monocamada ( $X_m$ ) pelo modelo de GAB, verifica-se que a adição de adjuvante reduziu o valor de  $X_m$ . Os valores de  $X_m$ , C e K foram maiores para L0 do que para os demais pós, e o teor de água de equilíbrio dos pós foi inversamente proporcional à concentração de maltodextrina.

**Tabela 5** – Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados às isotermas de adsorção de água dos pós polpa mista na temperatura de 25 °C

Modelo	Maltodextrina (%)	Constantes dos modelos				R <sup>2</sup>	P (%)
		k <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>		
Peleg	L0	45,1580	1,1187	133,8995	10,9759	0,9984	1,80
	L10	33,2653	1,0377	75,2231	9,1527	0,9980	1,89
	L20	25,5434	1,3361	61,4644	9,5985	0,9983	2,43
	L30	56,2996	9,5080	24,6521	1,2452	0,9985	2,51
GAB		X <sub>m</sub>	C	K			
	L0	10,8202	36,2469	0,9657		0,9987	1,26
	L10	9,4479	10,4161	0,9348		0,9983	1,56
	L20	7,1130	3,2733	0,9421		0,9985	1,77
Halsey		a	b				
	L0	39,3274	1,3419			0,9989	0,83
	L10	40,1155	1,4520			0,9967	2,15
	L20	15,3512	1,3067			0,9923	5,07
Oswin		a	b				
	L0	19,5997	0,6456			0,9963	3,08
	L10	15,9835	0,5909			0,9979	1,42
	L20	10,2581	0,6694			0,9972	2,29
Iglesias e Chirife		a	b				
	L0	13,1947	8,0790			0,9936	4,14
	L10	11,0821	5,8083			0,9766	6,80
	L20	6,5469	4,4870			0,9710	9,37
Kuhn		a	b				
	L0	8,0183	9,6589			0,9943	3,85
	L10	5,7614	8,5564			0,9782	6,49
	L20	4,4554	4,5787			0,9728	8,96
	L30	4,1808	5,1004			0,9720	9,39

Os valores de K dos pós contendo maltodextrina foram inferiores ao pó da polpa mista sem aditivo (L0), indicando menores interações entre as moléculas na monocamada e a água líquida (PÉREZ-ALONSO et al., 2006). A constante de sorção C trata das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água, assim como o parâmetro K fornece uma medida das interações entre as moléculas na monocamada com o adsorvente e tende a cair entre o valor energético das moléculas na monocamada e o da água líquida (ROCHA et al., 2014).

A adição de maltodextrina pode fornecer aos pós diferentes características de porosidade, estrutura e capacidade de atração de moléculas de água à superfície de sítios hidrofílicos, afetando as interações entre a água e amostras na multicamada (VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ et al., 2015).

Segundo Alves, Fóz e Nicoletti (2015) o teor de água na monocamada (X<sub>m</sub>) indica a quantidade de água fortemente adsorvida em sítios específicos na superfície do produto,

fornecendo o conteúdo de água no qual se tem a estabilidade máxima de um produto desidratado. Em valores de teor de água abaixo do teor de água na monocamada, a taxa das reações de deterioração é mínima. É considerado um valor crítico, acima do qual as taxas de algumas reações de degradação aumentam e a estabilidade da matriz alimentar diminui (OLIVEIRA et al., 2013).

De acordo com Blahovec (2004), as constantes C e K de GAB são um indicativo do tipo de isoterma. De acordo com a classificação de Brunauer as isotermas de adsorção de água dos pós da polpa mista são do Tipo II, em razão dos parâmetros citados situarem-se no intervalo de  $0 < K \leq 1$  e  $C \geq 2$ .

Al-Ghamdi et al. (2019) verificaram também que as isotermas de adsorção de água de abóbora (*Cucurbita pepo* L.) em pó foram bem ajustadas pelo modelo de GAB.

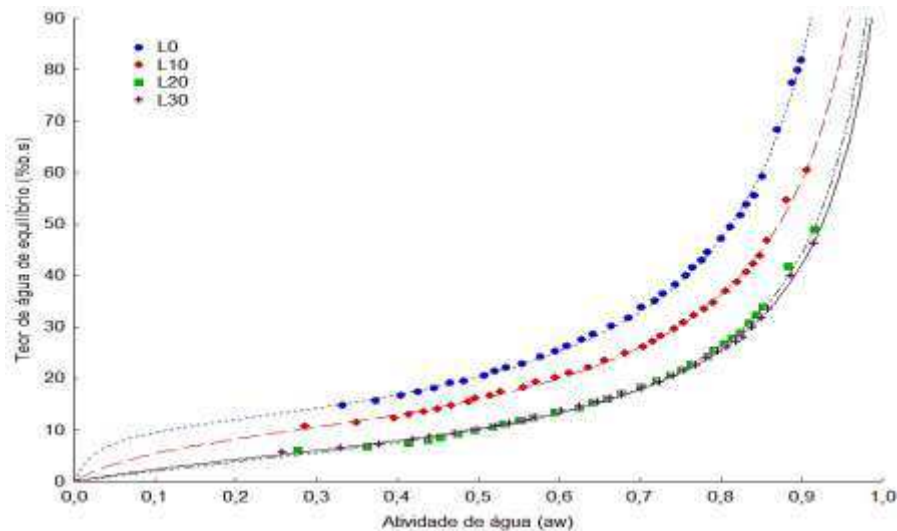
Carmo et al. (2018), ao avaliarem os extratos de beterraba secos por aspersão, usando maltodextrina, inulina e isolado de proteína de soro de leite como agentes carreadores igualmente constataram que o modelo de GAB resultou nos ajustes com menores erros médios relativos (E) e o maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Da mesma forma, Cavalcante et al. (2018), estudando isotermas da polpa de graviola (*Annona muricata*) em pó constataram que o modelo de GAB proporcionou os melhores ajustes, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior que 0,99 e erro médio (E) menor que 5%. Červenka et al. (2019), estudando isotermas da alfarroba (*Ceratonia siliqua* L.) em pó aplicaram a equação GAB obtendo bons parâmetros de ajuste, com  $R^2$  entre 0,990 e 0,997 e os desvios percentuais médios entre 5,76 e 8,91%.

Observa-se a influência da adição de maltodextrina sobre a capacidade de adsorção de água das amostras, com diferença progressiva entre L0, L10 e as demais, evidenciando-se a menor higroscopicidade conferida pela adição de maltodextrina, porém com diferença pouco expressiva entre as proporções de 20 e 30% de adjuvante.

O efeito da concentração de maltodextrina sobre o teor de água de equilíbrio foi também constatado na polpa de manga liofilizada com e sem maltodextrina (FONGIN et al., 2019).

Na Figura 2 são apresentadas as isotermas de adsorção de água das amostras de pó com e sem adjuvante de secagem, com ajustes pelo modelo de GAB.



**Figura 2** – Isothermas de adsorção de água a 25 °C para os pós da polpa mista liofilizada com ajustes pelo modelo de GAB: concentração de maltodextrina L0 (0%), L10 (10%), L20 (20%) e L30 (30%)

Aksil et al. (2019) estudando as curvas de sorção do pó de *Arbutus unedo* L. liofilizado, também reportaram isothermas do tipo II, bem como Tao et al. (2018), no estudo da sorção de água de pós de mirtilo obtidos por liofilização. O mesmo tipo de isoterma foi relatado por Stępień, Witczak e Witczak (2020) em pós liofilizados de abacate e maltodextrina. Segundo os autores a forma isotérmica sigmoidal é característica de substâncias de alto peso molecular, como biopolímeros.

#### 4 Conclusões

As amostras liofilizadas de polpas mistas de jambolão e acerola apresentaram altos teores de compostos bioativos, incluindo ácido ascórbico, compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas e taninos. Os açúcares mantiveram-se como os sólidos predominantes, seguidos pelas proteínas; as adições de maltodextrina como adjuvante de secagem reduziram os teores dos compostos bioativos e demais sólidos, exceto açúcares.

O perfil fenólico revelou a presença de dez ácidos fenólicos, sendo o ácido 2,5-dihidroxibenzoico e o ácido salicílico os principais ácidos fenólicos. O pó da polpa mista L0 apresentou elevada capacidade de sequestro do radical DPPH<sup>•</sup> e neutralização do sistema FRAP, confirmando a alta atividade antioxidante.

A adição de maltodextrina melhorou as características tecnológicas dos pós liofilizados, reduzindo o ângulo de repouso, a densidade absoluta, o fator de Hausner e o índice de Carr, e elevando as densidades aparente e compactada e a solubilidade.

As isotermas de adsorção de água dos pós liofilizados são do tipo II, com formato sigmoidal, e foram bem ajustadas pelo modelo de GAB, seguido pelos modelos de Peleg, Oswin, Halsey, Kuhn e Iglesias e Chirife.

## 5 Referências bibliográficas

- AGUDELO, C.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemical content and antioxidant activity of grapefruit (*Star Ruby*): A comparison between fresh freeze-dried fruits and different powder formulations. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 106–112, 2017.
- AKSIL, T.; ABBAS, M.; TRARI, M.; BENAMARA, S. Water adsorption on lyophilized *Arbutus unedo* L. fruit powder: Determination of thermodynamic parameters. **Microchemical Journal**, v. 145, p. 35-41, 2019.
- AL-GHAMDI, S.; HONG, Y.-K.; QU, Z.; SABLANI, S. S. (2019). State diagram, water sorption isotherms and color stability of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 273, e109820, 2019.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. A.; CABRAL, M. B.; BARROS, E. R.; SOUZA, N. C.; LUIZ, M. R.; AMORIM, F. V.; SILVA, L. R. I. Determinação de compostos bioativos e composição físico-química da farinha da casca de jabuticaba obtida por secagem convectiva e liofilização. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, e157911876, 2020.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; GIAMPIERI, F.; GASPARRINI, M.; MAZZONI, L.; SANTOS-BUELGA, C.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; FORBES-HERNANDEZ, T. Y.; AFRIN, S.; PAEZ-WATSON, T.; QUILES-MORALES, J. L.; BATTINO, M. The protective effect of acerola (*Malpighia emarginata*) against oxidative damage in human dermal fibroblasts through the improvement of antioxidant enzyme activity and mitochondrial functionality. **Food & Function**, v. 8, n. 9, p. 3250–3258, 2017.
- ALVES, T. P.; FÓZ, H. D.; NICOLETI, J. F. Isotermas de dessorção de pimentão verde e energia envolvida no processo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 137-145, 2015.

- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 20th ed, Washington: AOAC, 2016. 3100 p.
- ARAÚJO, J. S. F.; SOUZA, E. L.; OLIVEIRA, J. R.; GOMES, A. C. A.; KOTZEBUE, L. R. V.; AGOSTINI, D. L. S.; OLIVEIRA, D. L. V.; MAZZETTO, S. E.; SILVA, A. L.; CAVALCANTI, M. T. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 143, p. 991-999, 2019.
- AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 677 p.
- ARUWA, C. E.; AMOO, S.; KUDANGA, T. Phenolic compound profile and biological activities of Southern African *Opuntia ficus-indica* fruit pulp and peels. **LWT- Food Science and Technology**, v. 111, p. 337-344, 2019.
- BARROSO, M. E. S.; RUAS, F. G.; SCHE, R.; ENDRINGER, D. C. Frutas microencapsulación de *Musa* cv. Vitória. **Revista cubana de plantas medicinais**, v. 21, n. 2, p. 196-202, 2016.
- 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, n. 1, p. 354–364, 2014.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.
- 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, 108557, 2019.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n°269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder executivo, Brasília, DF, 22 set. 2005.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango power obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

- CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135–148, 2012.
- CRAPISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CARMO, E. L.; TEODORO, R. A. R.; FÉLIX, P. H. C.; FERNANDES, R. V. B.; OLIVEIRA, É. R.; VEIGA, T. R. L. A.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food Chemistry**, v. 249, p. 51–59, 2018.
- CARVALHO, I. M. C.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32–42, 2017.
- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017121, 2018.
- ČERVENKA, L.; STĘPIEŃ, A.; FRÜHBAUEROVÁ, M.; VELICHOVÁ, H.; WITCZAK, M. Thermodynamic properties and glass transition temperature of roasted and unroasted carob (*Ceratonia siliqua* L.) powder. **Food Chemistry**, v. 300, e125208, 2019.
- CHHIKARA, N.; KAUR, R.; JAGLAN, S.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds, pharmacological and food application of *Syzygium cumini*-a review. **Food & Function**, v. 9, n. 12, p. 6096-6115, 2018.
- COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PALLET, J. P. D.; MONTE, D. C. **Quantificação do teor de antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações de açaizeiro**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 15 p.
- CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; MONTEIRO, A. R. G.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic trend of lyophilized “mangaba” pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 356–360, 2017.
- CORTÊS-ROJAS, D. F.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 93, p. 366–376, 2015.

- DEMIRCI, M. A.; IPEK, Y.; GUL, F.; OZEN, T.; DEMIRTAS, I. Extraction, isolation of heat-resistance phenolic compounds, antioxidant properties, characterization and purification of 5-hydroxymaltol from Turkish apple pulps. **Food Chemistry**, v. 269, p. 111–117, 2018.
- DUARTE, E. L.; CARLOS, L. A.; RODRIGUES, C. G.; ANDRADE, R. M.; OLIVEIRA, K. G. Influência da liofilização sobre os carotenoides de frutos do Cerrado e comportamento higroscópico dos produtos liofilizados. **Perspectivas on line: Ciências biológicas e da saúde**, v. 23, n. 7, p. 22-33, 2017.
- EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.
- ERMIS, E.; GÜNER, K. Ö.; YILMAZ, M. T. Characterization of hazelnut milk powders: a comparison of spray-drying and freeze-drying. **International Journal of Food Engineering**, v. 14, n. 11-12, e20180085, 2018.
- FONGIN, S.; ALVINO 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, n. 2, p. 95–103, 2019.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.
- FREDES, C.; BECERRA, C.; PARADA, J.; ROBERT, P. The microencapsulation of Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) juice by spray-drying and freeze-drying produces powders with similar anthocyanin stability and bioaccessibility. **Molecules**, v. 23, n. 5, e1227, 2018.
- GELDART, D.; ABDULLAH, E. C.; HASSANPOUR, A.; NWOKE, L. C.; WOUTERS, I. Characterization of powder flowability using measurement of angle of repose. **China Particuology**, v. 4, n. 3, p. 104-107, 2006.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v. 22, n. 10, p. 2309-2330, 2004.
- GRYGORIEVA, O.; KLYMENKO, S.; VERGUN, O.; MŇAHONČAKOVA, E.; BRINDZA, J.; TEREŇTJEVA, M.; IVANIŠOVA, E. Evaluation of the antioxidante activity and phenolic content of Chinese quince (*Pseudocodynia sinensis* Schneid.) fruit. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 19, n. 1, p. 25–36, 2020.
- HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v. 3, n. 4, p. 7-13, 1967.



- HUANG, X.; DOU, J.; LI, D.; WANG, L. Effects of superfine grinding on properties of sugar beet pulp powders. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 203–209, 2018.
- JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 194–205, 2008.
- JIANG, G.-H.; AMEER, K.; EUN, J.-B. Effects of carrier agents and relative humidity on the physicochemical and microstructural characteristics of hot air-dried Asian pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Niitaka) powder. **Food Biophysics**, v. 14, n. 3, p. 235-248, 2019.
- JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food powders flowability characterization: Theory, methods, and applications. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 211–239, 2010.
- KUMAR, N.; GOEL, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. **Biotechnology Reports**, v. 24, e00370, 2019.
- KUCK, L. S.; NORENA, 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.
- LAMEIRO, M. G. S.; MACHADO, M. I. R.; MACHADO, A. R.; ZAMBIAZI, R. C. Características físico-químicas da amora-preta (*Rubus fruticosus*) e mirtilo (*vaccinium ashei* reade) em seus produtos liofilizados. **Global Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 173-182, 2019.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. **Methods in enzymology**. London: Academic Press, 1987. v. 148, p. 350-382.
- LIMA, R. S.; FERREIRA, S. R. S.; VITALI, L.; BLOCK, J. M. May the superfruit red guava and its processing waste be a potential ingredient in functional foods? **Food Research International**, v. 115, p. 451-459, 2019.
- LIU, J.; JIA, L.; KAN, J.; JIN, C-H. In vitro and in vivo antioxidant activity of ethanolic extract of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). **Food and chemical toxicology**, v. 51, n. 1, p. 310-316, 2013.
- MANSOUR, M.; SALAH, M.; XU, X. Effect of microencapsulation using soy protein isolate and gum arabic as wall material on red raspberry anthocyanin stability, characterization, and simulated gastrointestinal conditions. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, e104927, 2020.

- MAR, J. M.; SILVA, L. S.; LIRA, A. C.; KINUPP, V. F.; YOSHIDA, M. I.; MOREIRA, W. P.; BRUGINSKI, E.; CAMPOS, F. R.; MACHADO, M. B.; SOUZA, T. P.; CAMPELO, P. H.; BEZERRA, J. A.; SANCHES, E. A. Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. **Powder Technology**, v. 360, p. 383-391, 2019.
- MEIRELES, B. R. L. A. **Potencial nutricional e antioxidante do fruto do Catolé (*Syagrus Cearensis*)**. 2017. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- NEMZER, B.; VARGAS, L.; XIA, X.; SINTARA, M.; FENG, H. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, v. 262, p. 242–250, 2018.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.
- OLIVAS-AGUIRRE, F. J.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, G. R.; TORRES-MORENO, H.; ROBLES-ZEPEDA, R. E.; VÁZQUEZ-FLORES, A. A.; ROSA, L. A.; WALL-MEDRANO, A. Radical scavenging and anti-proliferative capacity of three freeze-dried tropical fruits. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 52, n. 7, p. 1699–1709, 2017.
- OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of lyophilized powder of grugru palm (*Acrocomia aculeata*). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 4, n. 10, p. 1-7, 2013.
- OLIVEIRA, R. G.; GODOY, H. T.; PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 244-249, 2010.
- ORQUEDA, M. E.; RIVAS, M.; ZAMPINI, I. C.; ALBERTO, M. R.; TORRES, S.; CUELLO, S.; SAYAGO, J.; THOMAS-VALDES, S.; JIMÉNEZ-ASPEE, F.; SCHMEDA-HIRSCHMANN, G.; ISLA, M. I. Chemical and functional characterization of seed, pulp and skin powder from chilito (*Solanum betaceum*), an Argentine native fruit: phenolic fractions affect key enzymes involved in metabolic syndrome and oxidative stress. **Food Chemistry**, v. 216, n. 1, p. 70-79, 2016.

- PEREIRA, G. A.; ARRUDA, H. S.; MORAIS, D. R.; EBERLIN, M. N.; PASTORE, G. M. Carbohydrates, volatile and phenolic compounds composition, and antioxidant activity of calabura (*Muntingia calabura* L.) fruit. **Food Research International**, v. 108, p. 264–273, 2018.
- PÉREZ-ALONSO, C.; BERISTAIN, C. I.; LOBATO-CALLEROS, C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; VERNON-CARTER, E. J. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 753–760, 2006.
- PORTER, L. H.; HRSTICH, L.N.; CHAN, B. C. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, n. 1, p. 223-230, 1986.
- RESENDE, K. K. O.; SILVA, S. S.; GUEDES, S. F.; LOSS, R. A. Cinética de secagem e avaliação físico-química de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) variedade semínifera. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 74-81, 2019.
- REYES-ÁLVAREZ, C. A.; LANARI, M. C. Storage stability of freeze-dried arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) powders. Implications of carrier type and glass transition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, e108842, 2019.
- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pulp and residue by spray and freeze drying: chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281–291, 2018.
- ROCHA, F. O.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó de manga. **Higiene Alimentar**, v. 31, p. 4372- 4376, 2017.
- ROCHA, E. M. F. F.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Mathematical modeling for isotherms of mango pulp powder, obtained by atomization. **Journal of Encapsulation and Adsorption Science**, v. 4, n. 1, p. 8-14, 2014.
- RODRIGUES, L. M.; JANUÁRIO, J. G. B.; SANTOS, S. S.; BERGAMASCO, R.; MADRONA, G. S. Microcapsules of “jabuticaba” byproduct: Storage stability and application in gelatin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 424–429, 2018.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP)**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 4 p. (Comunicado Técnico, 125).

- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127).
- SAMBORSKA, K.; WIKTOR, A.; JEDLIŃSKA, A.; MATWIJCZUK, A.; JAMRÓZ, W.; SKWARCZYŃSKA-MAJ, K.; KIELCZEWSKI, D.; TULODZIECKI, M.; BLA'ZOWSKI, L.; WITROWA-RAJCHERT, D. Development and characterization of physical properties of honey-rich powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 115, p. 78-86, 2019.
- SAPPATI, P. K.; NAYAK, B.; VANWALSUM, P. Effect of glass transition on the shrinkage of sugar kelp (*Saccharina latissima*) during hot air convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 210, p. 50-61, 2017.
- SCHULZ, M.; SERAGLIO, S. K. T.; BETTA, F. D.; NEHRING, P.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Blackberry (*Rubus ulmifolius* Schott): Chemical composition, phenolic compounds and antioxidant capacity in two edible stages. **Food Research International**, v. 122, p. 627-634, 2019.
- 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.
- SÉRINO, S.; COSTAGLIOLA, G.; GOMEZ, L. Lyophilized tomato plant material: Validation of a reliable extraction method for the analysis of vitamin C. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 81, p. 37-45, 2019.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, M. L. T.; BRINQUES, G. B.; GURAK, P. D. Utilização de farinha de subproduto de brotos para elaboração de massa alimentícia fresca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018063, 2019.
- STĘPIEŃ, A.; WITCZAK, M.; WITCZAK, T. Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 256-261, 2020.
- SYAMALADEVI, R. M.; INSAN, S. K.; DHAWAN, S.; ANDREWS, P.; SABLANI, S. S. Physicochemical properties of encapsulated red raspberry (*Rubus idaeus*) powder: Influence of high-pressure homogenization. **Drying Technology**, v. 30, n. 5, p. 484-493, 2012.

- TAO, Y.; WU, Y.; YANG, J.; JIANG, N.; WANG, Q.; CHU, D.-T.; HAN, Y.; ZHOU, J. Thermodynamic sorption properties, water plasticizing effect and particle characteristics of blueberry powders produced from juices, fruits and pomaces. **Powder Technology**, v. 323, p. 208–218, 2018.
- TAVARES, I. M. C.; LAGO-VANZELA, E. S.; REBELLO, L. P. G.; RAMOS, A. M., GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E.; SILVA, R.S.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, v. 82, p. 1–13, 2016.
- TAVARES, I. M. C.; CASTILHOS, M. B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, e124971, 2019.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.
- VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, S. K.; FIGUEIRA, A. C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; ROMÁN-GUERRERO, A.; CARRILLO-NAVAS, H.; PÉREZ-ALONSO, C. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). **Carbohydrate Polymers**, v. 121, p. 411–419, 2015.
- VILLACREZ, J. L.; CARRIAZO, J.G.; OSÓRIO, C. Microencapsulação do extrato aquoso de Andes Berry (*Rubus glaucus* Benth.) por secagem por pulverização. **Food Bioprocess Technology**, v. 7, p. 1445–1456, 2014.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.
- XU, M.; SHEN, C.; ZHENG, H.; XU, Y.; XUE, C.; ZHU, B.; HU, J. Metabolomic analysis of acerola cherry (*Malpighia emarginata*) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity. **Food Research International**, v. 130, 108915, 2020.
- YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 256-262, 2017.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-515, 1954.

ZAFISAH, N. S.; YUSOF, Y. A.; ALI, M. A.; ROSLAN, N. S.; TAHIR, A.; AZIZ, M. G.; CHIN N. L. Processing of raw coconut milk for its value addition using spray and freeze drying techniques. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 1, e12602, 2018.

## ARTIGO 6 - ESTABILIDADE DO PÓ DA POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA DURANTE O ARMAZENAMENTO

### Resumo

A acerola e o jambolão, devido ao sabor diferenciado, são frutos bastante apreciados, além de apresentar características nutricionais especiais pelo teor elevado de ácido ascórbico e de pigmentos de origem fenólica. A associação dessas duas frutas compõe uma polpa mista de alto valor biológico e com características sensoriais atraentes, pela cor e pela combinação da acidez da acerola com a adstringência e teor de sólidos solúveis elevado do jambolão. A fim de se obter um material de boa armazenabilidade, com manutenção dos princípios ativos e que dispense a cadeia do frio, polpas de frutas originam bons produtos quando submetidas à secagem, restando escolher o método mais adequado visando o compromisso entre qualidade final e custos envolvidos. Obtido o produto, avalia-se então a armazenabilidade, que define a evolução das características do material com o decorrer do tempo. O estudo consistiu em aplicar secagem em camada de espuma e a liofilização para obtenção dos pós da polpa mista de jambolão e acerola, e avaliar o efeito do tempo e da temperatura nas características físico-químicas e físicas ao longo período de armazenamento. Para obtenção da polpa liofilizada a polpa mista foi formulada com 10% de maltodextrina, congelada, e então desidratada em liofilizador a -50 °C por 72 horas. Para obtenção do pó da secagem em camada de espuma, a polpa mista foi adicionada de 1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose, submetida à agitação por 20 minutos e desidratada em estufa com circulação forçada de ar, na temperatura de 70 °C em camada de 0,5 cm de espessura, até massa constante. Os materiais secos por ambos os métodos foram desintegrados em multiprocessador para obtenção das polpas em pó. A estabilidade das polpas mistas em pó obtidas por liofilização e secagem em camada de espuma foi avaliada durante 180 dias em condições controladas de umidade relativa (83%) e temperatura (25 e 40 °C), com as amostras armazenadas em embalagens laminadas e analisadas a cada 30 dias. Todos os parâmetros analisados foram alterados ao longo do armazenamento. Os pós da polpa mista obtidos por liofilização e secagem em camada de espuma, após o período de armazenamento, apresentaram altos teores de compostos bioativos, ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, compostos fenólicos totais e taninos; ao longo de 180 dias de armazenamento os pós da polpa mista em tiveram aumentados o teor de água, a atividade de água, pH e físicos, incluindo Fator de Hausner e Índice de Carr e reduzidos os valores de todos os demais parâmetros físico-químicos, inclusive compostos bioativos. Os aumentos e reduções dos parâmetros, ao longo do armazenamento, e ajustados por regressão linear, com a maioria dos coeficientes de determinação apresentando valores acima de 0,94. A temperatura de armazenamento influenciou a atividade de água, a acidez total titulável, os compostos fenólicos, taninos e a densidade aparente das amostras. A secagem em camada de espuma produziu pós com perdas mais lentas, ao longo do armazenamento, de acidez, ácido ascórbico, flavonoides e antocianinas, enquanto os dois métodos secagem se equivaleram na evolução dos compostos fenólicos, no teor de taninos e na solubilidade.

**Palavras-chave:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; liofilização; secagem em camada de espuma; compostos bioativos; armazenamento.

### Abstract

Acerola and jambolão, due to their distinctive flavor, are highly appreciated fruits, in addition to presenting special nutritional characteristics due to the high content of ascorbic acid and phenolic pigments. The association of these two fruits composes a mixed pulp of

high biological value and with attractive sensory characteristics, due to the color and the combination of the acerola acidity with the astringency and high soluble solids content of the jambolão. In order to obtain a material of good storage, with maintenance of the active principles and that dispense with the cold chain, fruit pulps originate good products when subjected to drying, remaining to choose the most appropriate method aiming the compromise between final quality and costs involved. Once the product obtained, the storability is then evaluated, which defines the evolution of the material's characteristics over time. The study consisted of applying foam layer drying and freeze-drying to obtain the mixed jambolon and acerola pulp powders, and evaluate the effect of time and temperature on the physical-chemical and physical characteristics over the long period of storage. To obtain the lyophilized pulp, the mixed pulp, used formulated with 10% maltodextrin, frozen, and then dehydrated in a lyophilizer at -50 °C for 72 hours. To obtain the powder from drying in a foam layer, the mixed pulp was added with 1% albumin and 0.5% carboxymethylcellulose, submitted to stirring for 20 minutes and dehydrated in an oven with forced air circulation, at a temperature of 70 °C in layer 0.5 cm thick, until constant mass. The materials dried by both methods were disintegrated in a multiprocessor to obtain the powdered pulps. The stability of the mixed powdered pulps obtained by freeze drying and drying in a foam layer was evaluated for 180 days under controlled conditions of relative humidity (83%) and temperature (25 and 40 °C), with the samples stored in laminated packaging and analyzed. every 30 days. All parameters analyzed during storage underwent changes. The mixed pulp powders obtained by freeze drying and drying in a foam layer showed high levels of bioactive compounds. Ascorbic acid, flavonoids, anthocyanins, total phenolic compounds and tannins; over 180 days of storage the mixed pulp powders showed an increase in water content, water activity, pH and physical parameters, including Hausner Factor and Carr Index and reduced values of all other physical-chemical parameters, including bioactive compounds. The increases and decreases of the parameters during the storage, and adjusted by linear regression, with the majority of the coefficients of determination presenting values above 0.94. The storage temperature influenced the water activity, the total titratable acidity, the phenolic compounds, tannins and the apparent density of the samples. Drying in a foam layer produced powders with slower losses, during storage, of acidity, ascorbic acid, flavonoids and anthocyanins, while the two drying methods were equivalent in the evolution of phenolic compounds, in the content of tannins and solubility.

**Keywords:** *Malpighia emarginata*; *Syzygium cumini*; lyophilization; foam mat drying; bioactive compounds; storage.

## 1 Introdução

O jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeells) é fruta da família Mirtaceae, nativa da Índia oriental, também conhecida como jamelão, ou jalão, com formato ovoide e cor roxa escura, têm um sabor adstringente e doce (SERAGLIO et al., 2018). Foi difundida no Brasil, e se adaptou bem ao clima, produzindo anualmente grandes volumes de frutos que são desprezados naturalmente no período de safra (BRANDÃO et al., 2019). O jambolão é uma fonte rica de fitoquímicos valiosos, incluindo vitaminas e compostos fenólicos, como antocianinas, flavonóis e ácidos fenólicos (SINGH et al., 2018).



A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) é uma fruta tropical originária da América Central e do Sul, também conhecida como cereja de Barbados, uma rica fonte de vitamina C e compostos bioativos, que podem exercer efeito antioxidante (NOGUEIRA et al., 2019). Devido ao seu baixo teor de açúcar e elevada acidez, a acerola é mais consumida na forma processada (suco, geleia, néctar, etc.) (SANTOS; RODRIGUES; FERNANDES, 2018).

A busca por alimentos mais saudáveis tem aumentado constantemente como alternativa para melhorar a qualidade de vida e, conseqüentemente, a busca por inovação e desenvolvimento de produtos que contribuam para atender às expectativas e necessidades dos consumidores também tem aumentado (ABREU et al., 2018).

A elaboração de polpas mistas de jambolão e acerola tem alto potencial nutracêutico, visto o elevado teor de ácido ascórbico da acerola e de antocianinas do jambolão, além da combinação de demais princípios e da combinação sensorialmente atrativa formada pelos pigmentos de ambas.

Frutas frescas são excepcionalmente perecíveis, com oferta sazonal e prazo de validade curto. Assim, métodos de conservação são essenciais para aumentar a vida útil, a disponibilidade e o consumo (VIMERCATI et al., 2019). A secagem é uma das técnicas disponíveis para conservação de frutas, com remoção de grande parte da umidade, reduzindo sua atividade de água, propiciando maior estabilidade e vida útil (TELES et al., 2018).

A produção de alimentos em pó é uma atividade industrial cada vez mais importante, propiciando facilidade de manuseio, transporte e armazenamento. O pó de frutas constitui um meio para promover e aumentar o consumo de frutas, atentando-se, para que o processo utilizado para obter o pó garanta a máxima qualidade do produto (GONZÁLEZ et al., 2019).

Dentre as tecnologias mais estudadas para produção de frutas em pó, destaca-se a liofilização. A técnica consiste no processo de separação por sublimação, em que a água ou substância aquosa é retirada como vapor do produto congelado passando diretamente da fase sólida para a fase gasosa (KRUMREICH et al., 2016). A liofilização se destaca por preservar as características do produto e manter a mais alta qualidade final devido à utilização de baixas temperaturas e redução do teor de água (CONEGERO et al., 2017).

Um outro método de desidratação de frutas seria a secagem em camada de espuma, que consiste na transformação do alimento líquido em uma espuma estável, com o auxílio de agentes espumantes e estabilizantes, submetendo-a a secagem em temperaturas variando de 50 a 80 °C (ABBASI; AZIZPOUR, 2016; ARAÚJO et al., 2017). Esta secagem é adequada para alimentos sensíveis ao aquecimento, porque a estrutura porosa da espuma proporciona maior área superficial e volume, aumentando a taxa de transferência de calor,

com conseqüente redução no tempo de desidratação e gasto de energia do processo, minimizando a degradação de compostos termolábeis (SCHMIDT et al., 2018).

Os pós de frutas têm alto valor nutritivo, mas durante o armazenamento são expostos a uma ampla gama de condições indesejáveis, como umidade, oxigênio, luz, atividade de água e temperatura, que podem influenciar na estabilidade química dos compostos bioativos e comprometer o uso dos pós como ingrediente funcional (CHENG et al., 2017). A qualidade dos alimentos durante o armazenamento pode mudar a tal ponto que, além de perder aceitabilidade, pode ser prejudicial ao consumidor (SHISHIR et al., 2017).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do armazenamento nas propriedades físicas e físico-químicas de pós de polpas mistas de jambolão e acerola obtidas por liofilização e por secagem em camada de espuma, mantidos em embalagens laminadas por 180 dias, sob condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Processamento dos frutos e obtenção da polpa mista**

Foram utilizadas matérias-primas exemplares de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), proveniente do município de Macaíba, no Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m).

Os frutos foram selecionados, lavados em água corrente e higienizados por imersão em água clorada (50 ppm) por 15 minutos. Em seguida, foram despulpados em despulpadeira de batelada (Itametal<sup>®</sup>, modelo compacta, Itabuna, BA, Brasil). As polpas foram envasadas em embalagens de polietileno de baixa densidade e armazenada em freezer (-18 ± 2 °C) até a utilização nos experimentos.

Antes da realização dos processos de secagem as polpas de jambolão e de acerola foram descongeladas sob refrigeração (4 ± 1 °C) e homogeneizadas na proporção de 1:1 em liquidificador doméstico, durante 1 minuto, obtendo-se a polpa mista.

### **2.2 Liofilização**

A formulação para o processo de liofilização foi elaborada com a polpa mista adicionada de 10% de maltodextrina (DE 10 - MOR-REX<sup>®</sup> – Ingredion, São Paulo, SP,

Brasil). A formulação passou por homogeneização em liquidificador doméstico por cerca de 5 minutos até completa dissolução da maltodextrina.

A formulação foi distribuída em moldes plásticos e submetida a congelamento lento em freezer (-18 °C) por 48 horas. Após o congelamento, o material foi levado imediatamente para o liofilizador (Liobras<sup>®</sup>, modelo L101, São Carlos, SP, Brasil), permanecendo no equipamento por 72 horas a -50 °C. Após, as amostras liofilizadas foram desintegradas em mini processador (Mallory, modelo Oggi<sup>+</sup>, Maranguape, CE, Brasil) para obtenção do pó.

### **2.3 Secagem em camada de espuma**

A espuma foi produzida a partir da adição de 1% de albumina (Infinity Pharma<sup>®</sup>, Campinas, SP, Brasil) e 0,5% de carboximetilcelulose (CMC - Neon<sup>®</sup>, Suzano, SP, Brasil) à polpa mista, submetendo-se a mistura ao batimento em batedeira planetária na velocidade máxima (Arno<sup>®</sup>, Deluxe, 300 W, Itatiaia, RJ, Brasil) durante 20 minutos.

A espuma produzida foi espalhada sobre bandejas de aço inoxidável, em espessura de 0,5 cm de camada de espuma, medida com paquímetro digital (Onebycittess, DD2018011001, 0-6"/150 mm). As espumas nas bandejas foram levadas para secagem em estufa (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil) com circulação forçada de ar com velocidade do ar de 1,0 m/s, na temperatura de 70 °C, pesando-as em intervalos regulares de tempo até massa constante. O material seco foi removido das bandejas e triturado em um mini processador (Mallory, modelo Oggi<sup>+</sup>, Maranguape, CE, Brasil) para obtenção do pó.

### **2.4 Armazenamento dos pós de polpa mista**

Os pós obtidos por liofilização e por secagem em camada de espuma foram acondicionados em embalagens laminadas (composta de uma camada de PET transparente, metalização e filme de polietileno de baixa densidade - PEDB, com gramatura total nominal de 120 g/m<sup>2</sup>, taxa de transmissão de vapor de água de 5,38 g/m<sup>2</sup>/dia e taxa de permeabilidade ao oxigênio de 60 cc/m<sup>2</sup>/dia) com dimensões de 10 x 17,5 cm, com permanência até o momento das análises, em triplicata, contendo 20 g cada, armazenadas em recipientes herméticos de vidro, contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl), propiciando umidade relativa média de 83%. Os recipientes com os pós embalados foram levados para câmara do tipo BOD a 25 e a 40 °C. Os pós foram submetidos a análises físico-químicas e físicas no início (tempo zero) e a cada 30 dias, durante 180 dias de armazenamento.

## 2.5 Análises físico-químicas e físicas dos pós de polpa mista

As análises físico-químicas determinadas, em triplicata, nos pós foram: pH, pelo processo potenciométrico, em pHmetro (Tecnal, modelo TEC-2, Piracicaba, SP, Brasil); acidez total titulável, por titulação potenciométrica com solução de NaOH (0,1 mol/L), padronizado até atingir pH = 8,2-8,4 (g ácido cítrico/100 g bs); teor de água por gravimetria, utilizando estufa convencional a 105 °C até massa constante (g/100 g bs), de acordo com metodologias recomendadas pela AOAC (2016).

As medidas da atividade de água ( $a_w$ ) foram determinadas por leitura direta a 25 °C em equipamento Aqualab 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA).

A determinação do ácido ascórbico foi realizada de acordo com o protocolo de Oliveira, Godoy e Prado (2010), por meio de titulação com 2,6-diclorofenol-indofenol sódio (DCFI). O resultado foi expresso em mg ácido ascórbico/100 g bs.

O método pela diferença de pH foi utilizado para medir o teor total de antocianinas (COHEN et al., 2006). O extrato foi produzido com solução de etanol (95%)- HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. A absorbância de cada diluição foi medida a  $\lambda = 510$  e 700 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) após 24 horas de repouso em refrigeração com resultados expressos em mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo por 100 g bs.

Os flavonoides totais foram determinados segundo método descrito por Francis (1982), no qual o extrato foi produzido com solução etanol (95%)-HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. As leituras das absorbâncias feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 374 nm após 24 horas de repouso sob refrigeração. A concentração de flavonoides foi expressa em mg/100 g bs.

O teor dos compostos fenólicos totais nos extratos foi quantificado pelo método espectrofotométrico com Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006). As leituras de absorbância foram obtidas a 765 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em mg de equivalente de ácido gálico/100 g (mg EAG/100 g bs). A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico como padrão, na concentração de 100  $\mu\text{g/mL}$ .

A concentração de taninos totais foi quantificada pelo método de Porter, Hrstich e Chan (1986), utilizando-se Folin-Denis como reagente. As leituras foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 765 nm. A curva padrão foi

construída com solução padrão de ácido tânico a 0,1 mg/mL e os resultados expressos em mg equivalente de ácido tânico por 100 g da amostra (mg EAT/100 g bs).

Para determinação da densidade aparente utilizou-se uma massa de pó conhecida, transferida para uma proveta graduada de 10 mL, calculando-se a relação entre a massa e o volume ocupado ( $\text{g/cm}^3$ ), segundo (GOULA; ADAMOPOULOS, 2004). Para determinação da densidade compactada utilizou-se a metodologia de Tonon et al. (2013), dada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada ( $\text{g/cm}^3$ ).

A densidade absoluta dos pós foi determinada pelo método picnométrico, utilizando hexano como líquido imiscível, na temperatura de 25 °C, o qual consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra (CAPARINO et al., 2012).

O fator de Hausner foi calculado pela relação entre a densidade compactada e a densidade aparente (HAUSNER, 1967). O índice de Carr (%) foi calculado conforme Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014).

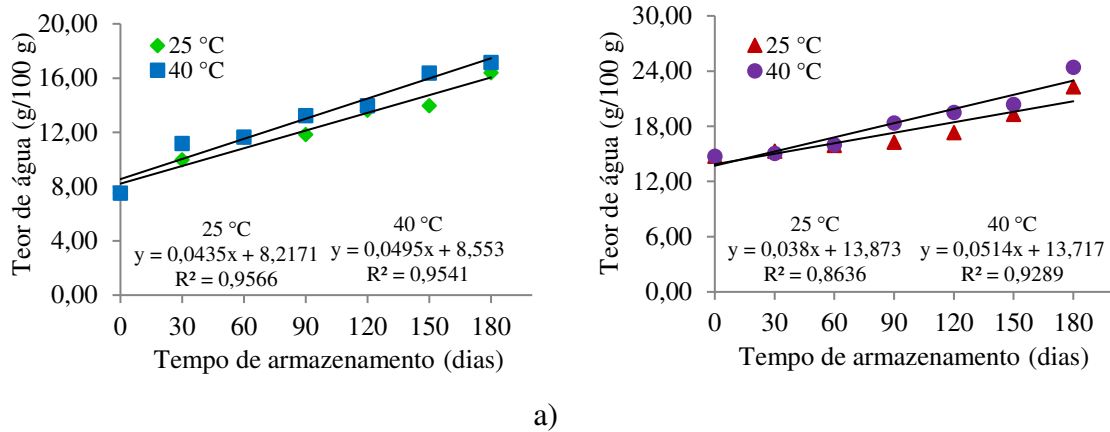
A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman; Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama de pó foi adicionado a 100 mL de água destilada e agitado na velocidade máxima de agitação em um agitador magnético, durante 5 min. O pó disperso em água foi centrifugado a 2.600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma cápsula de alumínio, previamente tarada e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

## 2.6 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada no programa computacional Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016), em delineamento inteiramente casualizado por meio de análise de regressão polinomial na análise de variância, sendo selecionadas as equações significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para representar os dados avaliados durante o armazenamento dos pós da polpa mista.

## 3 Resultados e discussão

Verificam-se na Figura 1 os valores médios de teor de água de água das polpas mistas em pó durante o armazenamento. Observa-se que as amostras armazenadas nas temperaturas de 25 e 40 °C apresentaram aumento significativo no teor de água ao fim do armazenamento.

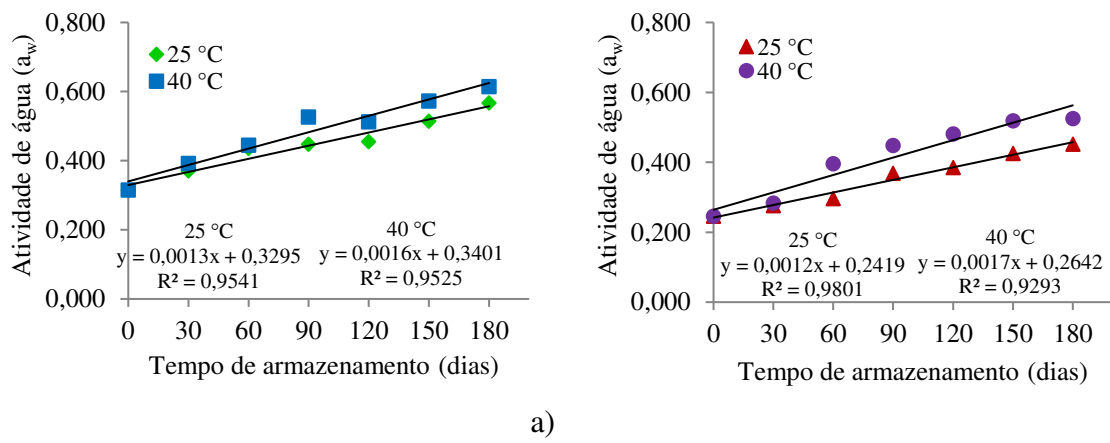


**Figura 1** – Teor de água (bs) dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

O ganho do teor de água na amostra liofilizada foi notável a partir de 30 dias, encerrando o período de 180 dias com o teor de água 2 vezes maior do que o verificado no tempo zero. Ao final do armazenamento, o pó obtido por secagem em camada de espuma obteve ganho de 51% a 25 °C e 65% a 40 °C. Apesar do maior ganho percentual do teor de água ter sido da amostra liofilizada, o pó desidratado em estufa a 70 °C apresentou maior média de teor de água ao término do armazenamento. Logo, pode-se afirmar que o processo de liofilização proporcionou menores valores de teor de água ao longo do armazenamento. A possível razão para o aumento do teor de água dos pós durante o armazenamento é devido à entrada de água através das embalagens, que tem um grau de permeabilidade ao vapor de água que é função da temperatura e umidade relativa (MUZAFFAR; KUMAR, 2016).

Tanto na amostra liofilizada quanto na secada a 70 °C, a temperatura mais elevada de armazenamento acarretou maior absorção de água pelas amostras. Shishir et al. (2017) observaram que o teor de água aumentou significativamente quando o pó de goiaba rosa foi armazenado a 25 °C em comparação a temperatura de 5 °C, após 10 semanas de armazenamento. Visualmente, após 180 dias de armazenamento, foi possível verificar que as amostras estocadas apresentaram aglomeração das partículas. Goula e Adamopoulos (2008) atribuem esse efeito à absorção de água pela superfície das partículas, formando uma solução saturada, tornando as partículas pegajosas, comprometendo o manuseio e causando o endurecimento ou aglomeração. Oliveira et al. (2015), ao avaliarem a estabilidade do mandacaru em pó formulado com 10% de maltodextrina durante 50 dias de armazenamento constataram aumento de 102,57% do teor de água ao final do período.

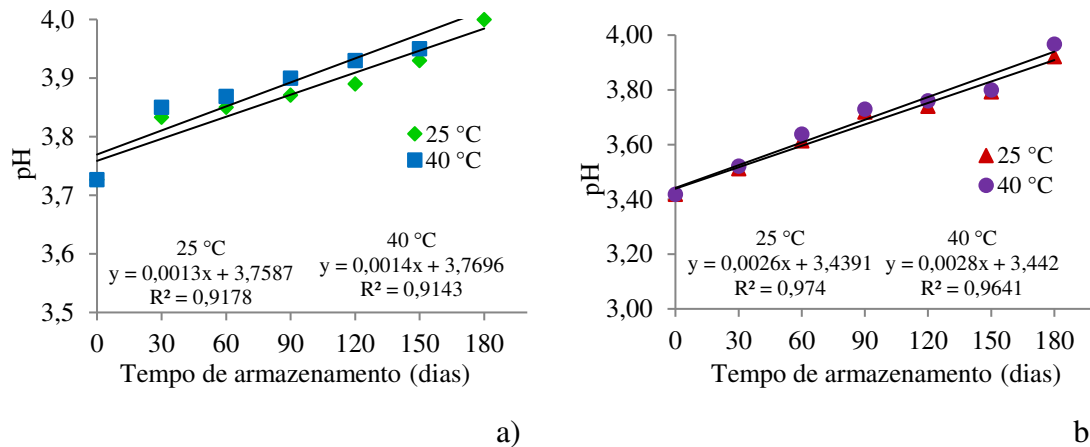
Na Figura 2 pode-se observar a variação da atividade de água ( $a_w$ ) das polpas mista em pó em função do tempo e temperatura de armazenamento. As polpas mistas desidratadas por liofilização e por secagem em camada de espuma armazenadas a 25 °C aumentaram a atividade de água em cerca de 80 e 84%, respectivamente, mostrando desempenho semelhante entre si e quanto à tendência de ganho. Acompanhando o teor de água, observa-se que as atividades de água dos pós armazenados a 40 °C aumentaram em mais de 100% ao final do armazenamento.



**Figura 2** – Atividade de água dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

Constata-se valor mais alto de atividade de água nos pós liofilizados em relação ao processo de secagem em camada de espuma, o que se deve a um valor mais elevado no tempo zero. O fato de se ter atividades de água mais altas nas amostras liofilizadas, apesar de nestas os teores de água ser menores, pode ser explicado, conforme Pinto et al. (2018), por uma maior aproximação das moléculas de maltodextrina com os outros constituintes, que favorece fortes interações e conduz a uma redução dos sítios disponíveis para ligação com a água, resultando em maior atividade da água, mesmo com menor teor de água. Mesmo com o aumento na  $a_w$  verificado durante o armazenamento, os valores finais ainda se encontram próximos de 0,60, garantindo estabilidade microbiológica, enzimática e química. Conegero et al. (2017) relataram, em estudo com polpa de mangaba (*Hancornia speciosa*) liofilizada, o aumento da atividade de água após 90 dias de armazenamento, em que a  $a_w$  final atingiu o valor de 0,474.

Observa-se na Figura 3 que a secagem em camada de espuma gerou um pó com pH inicialmente mais baixo que o produzido por liofilização. Estas diferenças podem estar relacionadas tanto a temperatura do processo de secagem quanto ao tipo e concentração dos adjuvantes de secagem utilizados nas formulações.



**Figura 3** – pH dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

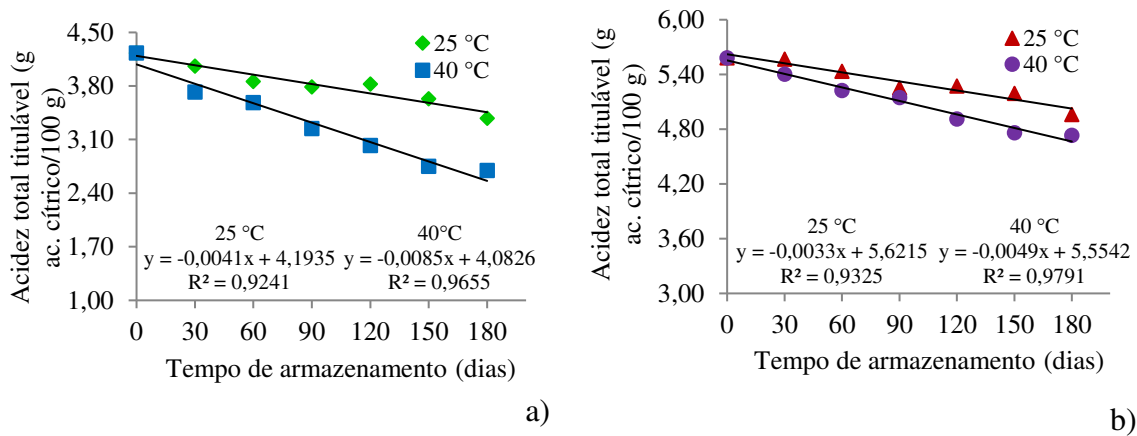
Constata-se acréscimo mais pronunciado do pH da amostra da secagem em camada de espuma, com aumentos do pH no tempo final em relação ao inicial a 25 °C e a 40 °C correspondentes a 14,62 e 16,08%, respectivamente, com taxas de aumento semelhantes.

Os valores de pH do pó da liofilização chegaram a 4,00 e 4,02, nas temperaturas de armazenamento de 25 e 40 °C, respectivamente. O acréscimo do valor do pH ao longo dos 180 dias variou de 7,24% a 25 °C e 7,77% a 40 °C, considerando o primeiro e o último dia de armazenamento. Apesar de apresentar valores diversos desde o tempo zero, o pH dos pós nos armazenamentos a 25 e a 40 °C apresentaram evolução idêntica ao longo do período de armazenamento. Ao final do armazenamento o aumento do pH não atingiu níveis críticos para a conservação, uma vez que, conforme Gava (2010), ao manter-se abaixo de 4,0 preserva a propriedade de inibir o crescimento de micro-organismos.

A variação da acidez total titulável com o tempo de armazenamento dos pós da polpa mista é mostrada na Figura 4. Observa-se redução da acidez, consistente com o aumento do pH, durante o período de estocagem para os dois processos de secagem. As diminuições nos valores da acidez partiram de valores mais elevados nas amostras obtidas na secagem em camada de espuma, de forma que, aliada à taxa de redução mais acentuada nos pós liofilizados, a amostra obtida na estufa preservou melhor os teores de acidez. Além disso, as



perdas de acidez forma menores nas amostras a 25 °C obtidas nos dois processos e ainda mais na secagem em estufa.



**Figura 4** – Acidez total titulável (bs) dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

As reduções da acidez nos pós da liofilização foram de 23,17% a 25 °C e de 36,17% a 40 °C em relação ao seu conteúdo inicial. Nota-se que a redução mais pronunciada a 40 °C é consequência do efeito da temperatura que, mais alta, intensifica as reações bioquímicas como a oxidação, exercendo influência no teor de acidez (FERNANDES et al., 2014).

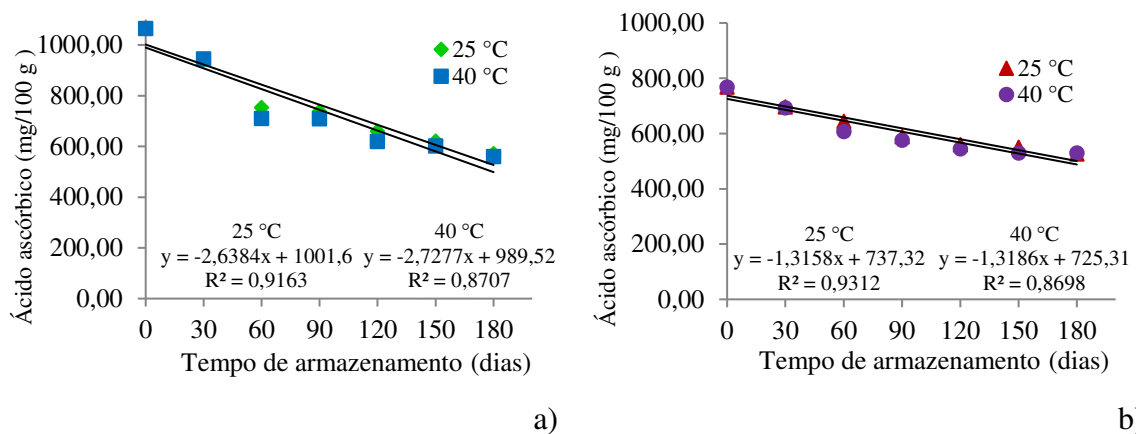
Ao final do armazenamento, os pós de polpa mista apresentaram valores de acidez no pó liofilizado de 3,38 g ac. cítrico/100 g bs (25 °C) e 2,70 g ac. cítrico/100 g bs (40 °C) e nos pós obtidos por secagem em camada de espuma de 4,96 g ac. cítrico/100 g bs (25 °C) e 4,73 g ac. cítrico/100 g bs (40 °C). Santos et al. (2016) estudaram o armazenamento de pó de umbu-cajá (*Spondias spp.*), liofilizado com adição de 10% de maltodextrina, durante 180 dias, reportando, ao final do período, acidez de 6,33%, tratando-se de um material com acidez inicial particularmente alta.

Menores valores de acidez na amostra liofilizada podem ser atribuídos não ao processo em si, mas aos 10% de maltodextrina adicionados, em oposição a apenas 1,5% de aditivos usados na secagem em camada de espuma. Maciel et al. (2020) verificaram para pós de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Shum*), obtidos por liofilização, que a adição de 15% de maltodextrina contribuiu para redução da acidez sob a amostra com 5% de maltodextrina.

Segundo Rinaldi et al. (2017), de maneira geral os valores de acidez titulável em produtos vegetais tendem a diminuir durante o armazenamento, devido à interação dos

ácidos de sua composição como oxigênio. Borges et al. (2010), apontaram que a oscilação na acidez pode estar relacionada às reações metabólicas de enzimas presentes nas amostras.

O teor de ácido ascórbico ao longo do armazenamento é apresentado na Figura 5. Independentemente da condição de temperatura de armazenamento, os pós da polpa mista obtidos na liofilização apresentaram redução no teor de ácido ascórbico de 46,32% a 25 °C e 47,38% a 40 °C em relação ao seu conteúdo inicial, contudo, mantiveram, ao final do armazenamento, teores ainda elevados.



**Figura 5** – Ácido ascórbico (bs) dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

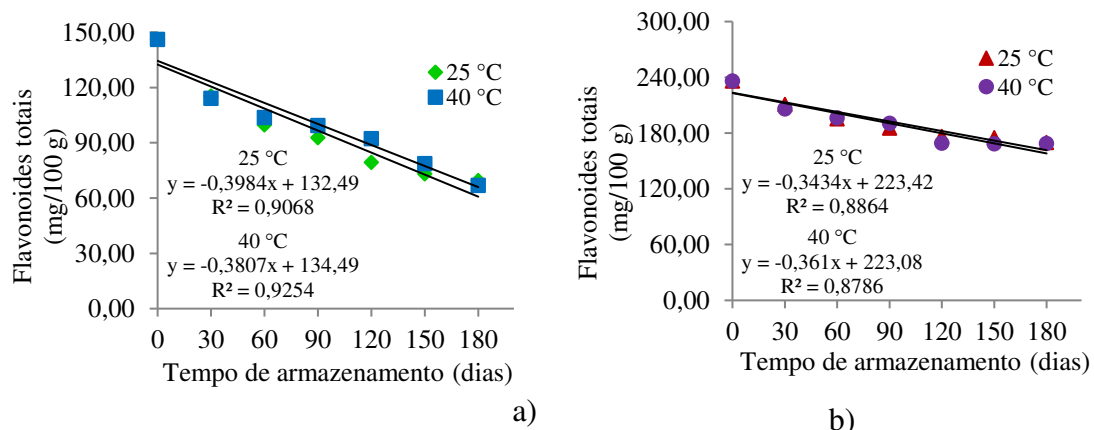
O pó produzido da secagem em camada de espuma apresentou teor de ácido ascórbico inicialmente menor em relação a amostra liofilizada, condição explicável pelas reações de oxidação, aceleradas pelo aquecimento e incorporação de ar durante as etapas do processamento, que favorece as reações aeróbicas de degradação. Com o tempo de armazenamento, no entanto, os maiores teores da amostra liofilizada sofreram degradação mais acentuada, de forma que aos 180 dias os níveis de ácido ascórbico praticamente se igualaram. Também a diferença entre as temperaturas de armazenamento teve pouco efeito sobre a velocidade de degradação, principalmente na amostra produzida em estufa, em que esse efeito é praticamente nulo, com redução de aproximadamente 31%.

No Brasil, a ingestão diária de ácido ascórbico recomendada para adultos saudáveis é de 60 mg (BRASIL, 2005), dosagem superada em mais de 6 vezes pelas amostras, mesmo ao final de 180 dias de armazenamento.

Pieczkolan e Kurek (2019) constataram redução no teor de ácido ascórbico de 46,96% em pó de arônia (*Aronia menalocarpa*) liofilizado e revestido com inulina, armazenando por sete dias em temperatura ambiente.

González et al. (2019), ao estudarem a estabilidade do pó de toranja (*Citrus paradise*) formulado com goma arábica, maltodextrina e proteína isolada de soro de leite, reportaram reduções durante o armazenamento a 20 °C do ácido ascórbico, relacionando tal comportamento ao aumento do teor de água e da atividade de água. Resultados inferiores de ácido ascórbico (450 mg/100 g) foram obtidos em amostras de polpa de laranja (*Citrus sinensis* var. Navel) em pó obtida por liofilização após 10 meses de armazenamento a 20 °C (PACHECO et al., 2019). Sousa et al. (2016) avaliaram suco de caju (*Anacardium occidentale* L.) em pó obtido por secagem em leito de jorro, armazenado por 60 dias. Ao final do armazenamento, o conteúdo de ácido ascórbico manteve-se em 537,15 mg/100 g.

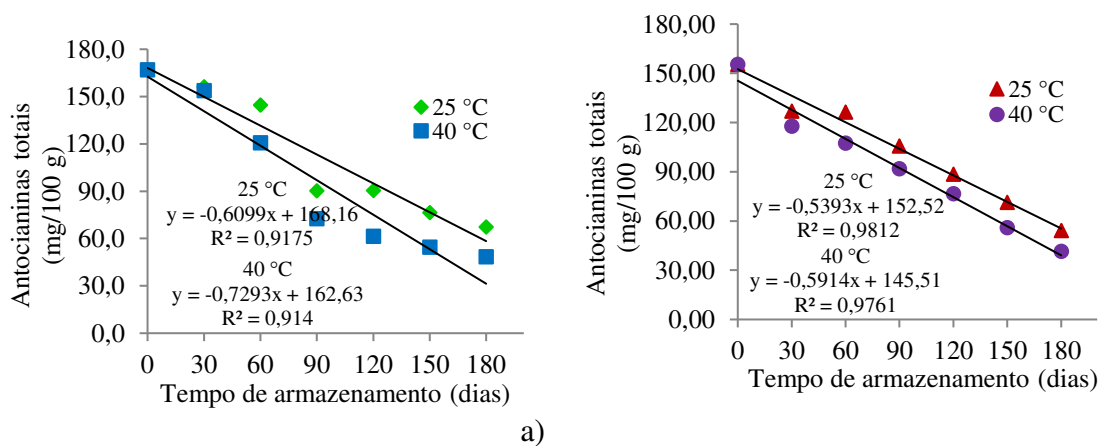
Na Figura 6 apresenta-se o comportamento dos flavonoides totais com o tempo e temperatura de armazenamento. Pela comparação entre os valores de flavonoides obtidos no tempo zero e ao fim de 180 dias de armazenamento, nota-se redução para os pós da liofilização de 46,32 e 47,38% e da secagem em camada de espuma de 32,91 e de 32,09% nas temperaturas de 25 e 40 °C, respectivamente. Os valores no tempo zero da amostra produzida em camada de espuma superaram os da amostra liofilizada, mantendo-se mais elevados em todo o armazenamento, inclusive com taxas de redução inferiores. Entre temperaturas, as taxas de redução foram praticamente idênticas, indicando efeito pouco expressivo dessa variável sobre o teor de flavonoides ao longo do armazenamento.



**Figura 6** – Flavonoides totais (bs) dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

Segundo Biesaga (2001), a extensão da degradação de flavonoides depende do número e posições dos grupos OH. O maior número de grupos hidroxila promove degradação dos flavonóides ao ser exposta ao calor, luz e oxigênio. A magnitude de degradação depende da temperatura, duração do aquecimento e estrutura molecular, estes parâmetros afetam sua estabilidade e atividade biológica (CHAABAN et al., 2017). Reyes-Álvarez e Lanari (2020) constataram que o armazenamento de araçá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em pó por 90 dias a 20 °C, reduz o teor de flavonoides, atingindo ao final 71%.

Na Figura 7 são apresentados os teores de antocianinas totais dos pós obtidos por liofilização e por secagem em camada de espuma armazenados ao longo de 180 dias. Os teores de antocianinas no material liofilizado no tempo zero foram superiores aos valores observados para as amostras da secagem em camada de espuma. Nas duas amostras, obtidas por liofilização e secagem em camada de espuma, as antocianinas totais foram reduzidas a menos da metade dos seus valores iniciais ao final dos 180 dias de armazenamento. A temperatura também afetou os teores, com maiores perdas na temperatura de 40 °C. Entre os métodos de secagem, as antocianinas nas amostras liofilizadas sofreram reduções mais acentuadas, bem como a temperatura, neste método, elevou a taxa de decréscimo. Esse comportamento pode ser devido a maior porosidade das partículas de pós produzidos pela liofilização. Pós com alta porosidade possuem muitos espaços vazios com maior presença de oxigênio, o que pode desencadear reações de oxidação (ZOTARELLI et al., 2017). Para melhor manutenção das antocianinas das amostras secadas em camada de espuma durante o armazenamento seria pelo efeito protetor da albumina, conforme Chung et al. (2015).



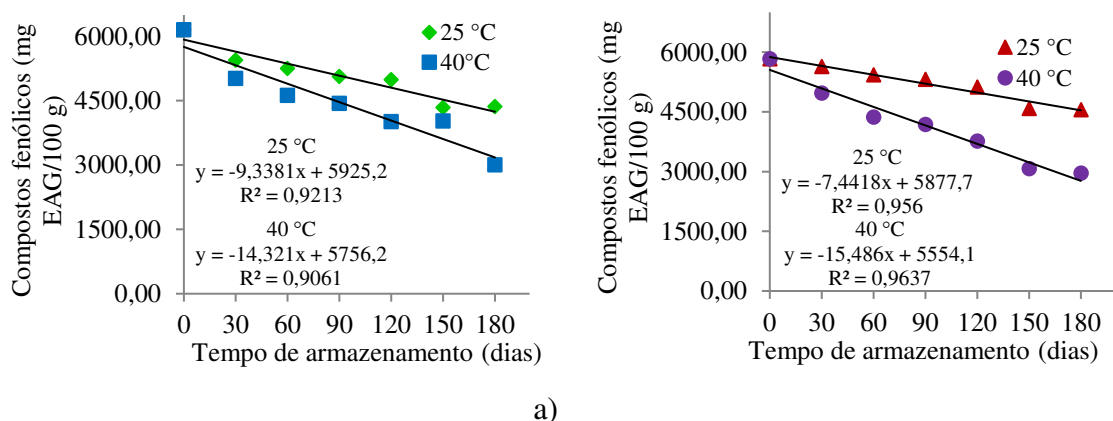
**Figura 7** – Antocianinas totais (bs) dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

As reduções no final do armazenamento do teor de antocianinas dos pós da liofilização foram de 59,64 e 70,92% e da secagem em camada de espuma de 65,21 e 73,32% nas temperaturas de 25 e 40 °C, respectivamente. para Albarici, Pessoa e Forim (2006), o tempo prolongado de estocagem de produtos contendo antocianinas é acompanhado de branqueamento de alguns pigmentos ou do desenvolvimento da cor marrom.

Cheng et al. (2017) estudaram a estabilidade das antocianinas nos pós de bayberry (*Myrica rubra* Sieb. e Zucc.) secos por liofilização e por secagem por aspersão, armazenados a 25 °C, verificando que a secagem com temperatura mais baixa foi mais eficaz na estabilidade das antocianinas em comparação com o método utilizando calor. Ozcelik et al. (2020) relataram que as antocianinas do pó de framboesa seca por liofilização foram reduzidas em 76% ao final de um período de 12 semanas de armazenamento a 37 °C.

Observando a influência do tempo de armazenamento nas concentrações de antocianinas de suco de jambolão em pó, Tavares et al. (2020) verificaram redução ao final de 150 dias de armazenamento. Associa-se tal perda as reações de oxidação e heterogeneidade da estrutura do material seco, além da polimerização das antocianinas monoméricas pela absorção de água durante o armazenamento. Santiago et al. (2015) verificaram que o armazenamento de cascas de jambolão (*Syzygium cumini* L.) em pó em temperatura ambiente, manteve a estabilidade o produto até o segundo mês (60 dias), com perda de 36% da concentração de antocianinas após 5 meses de armazenamento.

Na Figura 8 são apresentados os teores dos compostos fenólicos totais dos pós, obtidos por liofilização e secagem em camada de espuma, armazenados por 180 dias.



**Figura 8** – Compostos fenólicos (bs) dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

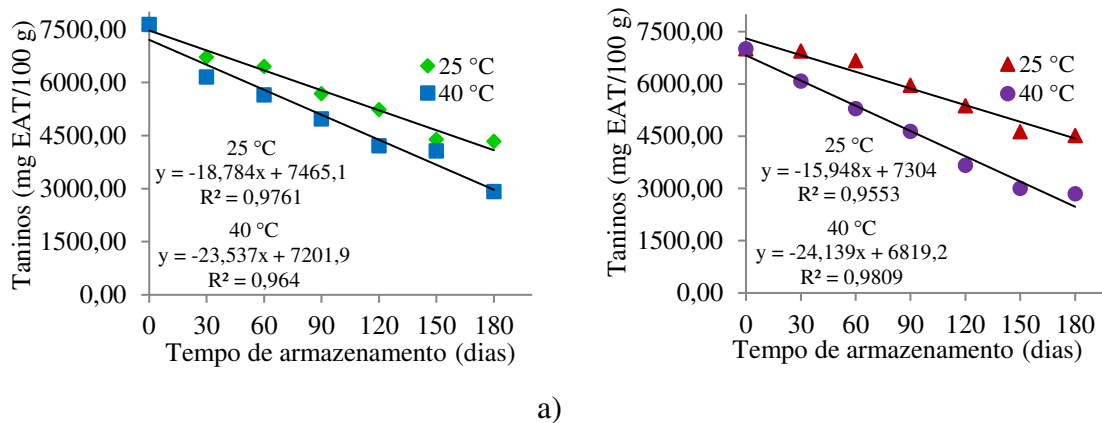
Os teores iniciais de compostos fenólicos foram semelhantes nos pós obtidos por ambas as técnicas de secagem. Durante o armazenamento, os comportamentos das amostras foram diferentes conforme o método de secagem utilizado. No final do armazenamento, as taxas de redução de CFT da amostra liofilizada superaram a da amostra da secagem em camada de espuma. As diferenças de temperatura igualmente influenciaram os teores, com maior divergência entre as curvas das amostras secadas em camada de espuma.

Valores iniciais semelhantes do conteúdo fenólico proveniente do processo de secagem a 70 °C e liofilização podem estar relacionadas à inibição da atividade da polifenoloxidase no material espumado. De acordo com Cheng, Zhang e Adhikkari (2013), a polifenoloxidase não mostra uma perda significativa de atividade quando exposta a temperaturas abaixo de 55 °C.

Em ambos os métodos de secagem empregados a maior estabilidade foi alcançada no armazenamento sob menor temperatura (25 °C), com retenção maior que 70% ao final do período aplicado para os dois procesos. O aumento da temperatura de armazenamento nas amostras de ambos os métodos levou a uma degradação de cerca de 50% no final do armazenamento na temperatura de 40 °C. Baixas temperaturas proporcionam maior estabilidade aos compostos fenólicos (RUTZ et al., 2013) e sua diminuição ao longo do armazenamento ocorre, provavelmente, pela oxidação seguida da reação de polimerização destes compostos (LAORKO et al., 2013).

Rodrigues et al. (2018), estudando a estabilidade de compostos em casca de jabuticaba em pó, verificaram que o conteúdo de compostos fenólicos foi reduzido ao longo do armazenamento. Cheng et al. (2017), trabalhando com pós de amora (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) silvestre, produzidos por liofilização e em secador por aspensão, verificaram a diminuição gradual desses componentes após 50 dias de armazenamento. Os autores não constataram diferença na retenção desses compostos quando armazenados a 4 e a 25 °C, concluindo que o tempo de armazenamento foi o principal fator influenciador nos níveis de fenóis totais. Altos teores de compostos fenólicos (904,16 – 2333,48 mg/100 g) também foram encontrados em polpas de peras espinhosa espanhola e mexicana (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) liofilizadas (GARCÍA-CAYUELA et al., 2018).

Na Figura 9 são apresentados os teores de taninos dos pós obtidos por liofilização e por secagem em camada de espuma, armazenados ao longo de 180 dias. Os pós obtidos por ambas as técnicas de secagem apresentaram altos teores iniciais de taninos, não demonstrando sofrer efeito térmico na secagem em camada de espuma.



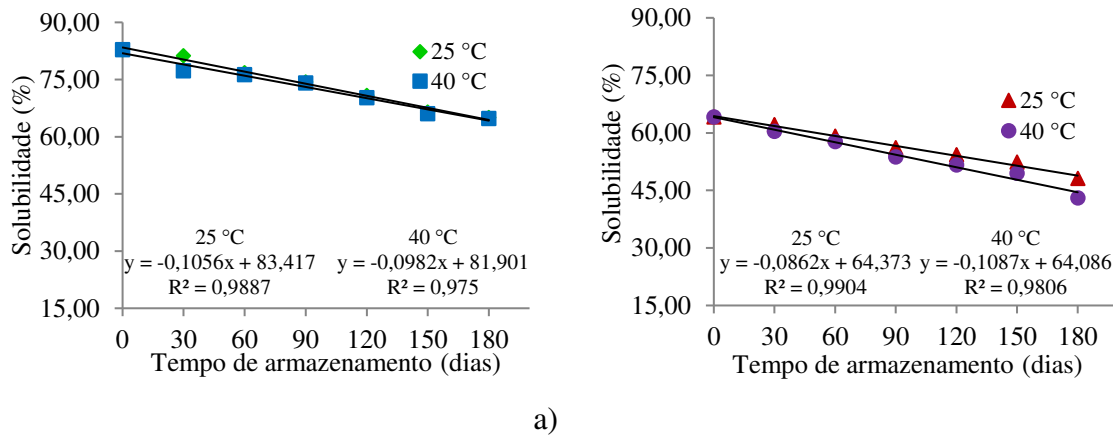
**Figura 9** – Taninos (bs) dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

Bento et al. (2019) também verificaram alto conteúdo de ácido tânico (5420 mg AT/100 g) em farinha de batata teiu (*Jatropha elliptica* (Pohl) Oken). Fernandes et al. (2018), estudando secagem de pétalas de centáurea (*Centaurea cyanus*), por convecção com ar quente e por liofilização, reportaram valores de taninos de 1158 mg/100 g e 1535 mg/100 g, respectivamente. Na temperatura de 25 °C constatou-se menores reduções dos taninos no final do armazenamento nos pós da liofilização (43,25%) e da secagem em camada de espuma (35,54%) do que na temperatura de 40 °C em que essa redução foi de 61,80 e 59,39%, respectivamente, com taxas de redução mais acentuadas na amostra obtida na liofilização.

De acordo com Vergara-Salinas et al. (2013), o emprego de temperaturas mais severas leva a possível degradação e desnaturação de taninos. A exposição a temperatura mais alta por tempo prolongado podem promover uma perda de taninos por oxidação (DERKYI et al., 2011).

Segundo Benevides et al. (2013), a redução dos taninos pode estar associada com a formação de complexos com outros componentes do material, como as proteínas e os minerais.

Na Figura 10 são apresentados os valores de solubilidade dos pós obtidos por liofilização e por secagem em camada de espuma, armazenados ao longo de 180 dias. A solubilidade inicial das amostras foi superior nos pós liofilizados, superando os pós obtidos em estufa em mais de 15%.



**Figura 10** – Solubilidade dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

Ao longo do armazenamento a solubilidade foi sendo reduzida nas quatro amostras, com menores reduções nos pós da liofilização e com pequeno efeito do aumento temperatura. As reduções no final do armazenamento foram na liofilização de 21,44 e 21,71% e na secagem em camada de espuma de 24,94 e 32,91%, nas temperaturas de 25 e 40 °C, respectivamente.

Khalifa et al. (2019) observaram que a presença da maltodextrina resultou em maiores valores de solubilidade, superiores à proporcionada pela mistura de goma arábica e proteínas de soro de leite utilizada na polpa de amora chinesa (*Morus australis*) em pó. De acordo com Mahdavi et al. (2016), a estrutura química da maltodextrina, que têm um alto número de ramificações com grupos hidrofílicos, podem se ligar facilmente às moléculas de água do ar ambiente durante o manuseio do pó após a secagem.

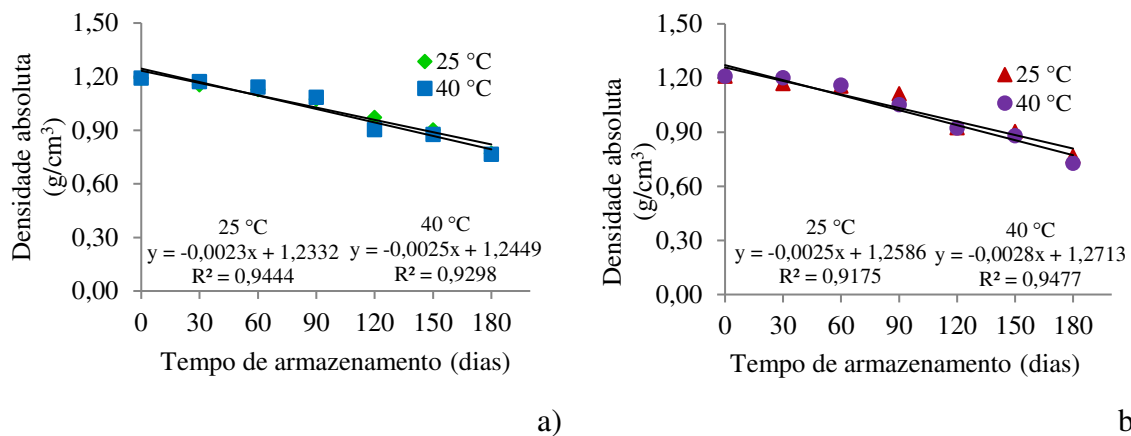
Reyes-Álvarez e Lanari (2020) produziram araçá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em pó, com adição de uma combinação de maltodextrina/goma arábica, reportando uma solubilidade nos pós obtidos de 81,01%. Yamashita et al. (2017), em estudo com amora liofilizada, adicionada de maltodextrina DE10 e D20, relataram solubilidade de 44,78 e 44,86%, respectivamente.

Segundo Kuck e Norenã (2016), a baixa solubilidade pode estar associada ao tamanho grande das partículas, causado pelo processo de baixa temperatura e pela falta de força necessária para quebrar as gotas congeladas ou alterar a superfície durante a secagem. Partículas com menor tamanho propiciam maior área de superfície disponível para hidratação.



Conforme Valentina et al. (2016), a porosidade também explica a solubilidade, preservando o volume e acarretando uma reidratação rápida e quase completa quando a água é adicionada.

Na Figura 11 mostra-se o comportamento da densidade absoluta nas condições de armazenamento estudadas.



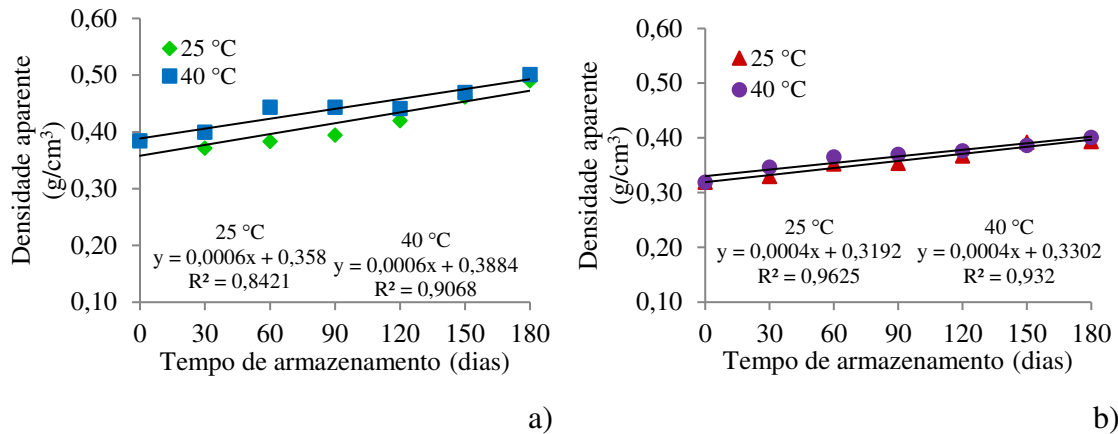
**Figura 11** – Densidade absoluta dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

O valor inicial da densidade das partículas liofilizadas foi menor em comparação com as dos pós obtidos por secagem em camada de espuma. Os perfis de densidade para ambas as técnicas de secagem foram semelhantes, partindo de valores próximos no tempo zero e reduzindo-se com o tempo em taxas próximas. Da mesma forma, as diferenças de temperatura durante o armazenamento não demonstraram afetar a densidade absoluta das amostras.

Mahdi et al. (2020), relataram em estudo com pós de cidra (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle), obtidos em secador por aspersão, densidades absolutas entre 1,43 e 1,83 g/cm<sup>3</sup>.

Em estudo com suco de limão seco por secagem em camada de espuma (70 °C), Dehghannya et al. (2019) verificaram densidade absoluta de 0,84 g/cm<sup>3</sup>.

Na Figura 12 são apresentados os valores de densidade aparente dos pós obtidos por liofilização e por secagem em camada de espuma, armazenados ao longo de 180 dias.



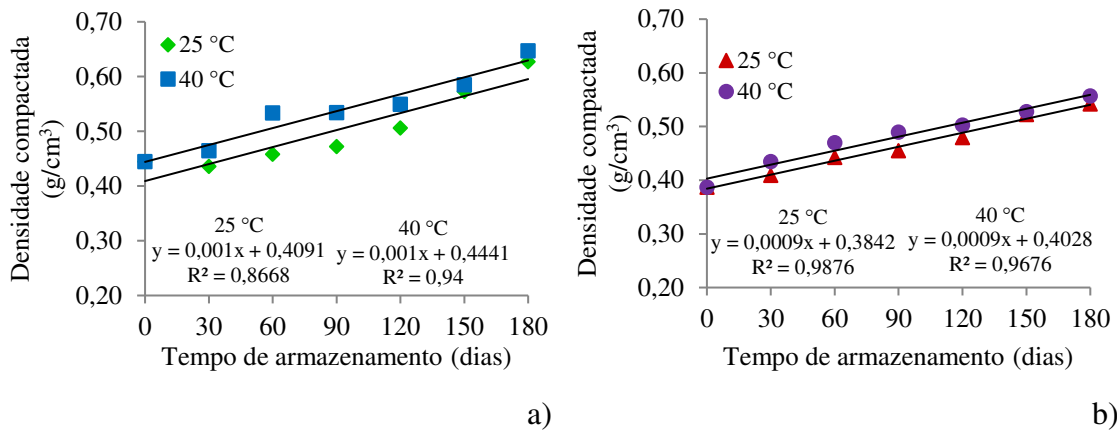
**Figura 12** – Densidade aparente dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

Os pós produzidos na secagem em camada de espuma apresentaram densidade aparente inicial menor do que a dos pós obtidos por liofilização. Ao longo do armazenamento as densidades foram aumentando, mas com as taxas de aumento das amostras produzidas em estufa inferiores às das amostras liofilizadas, ainda assim, porém, mantendo densidades inferiores durante todo o armazenamento. Na amostra liofilizada a densidade aparente apresentou maiores valores na temperatura de 40 °C.

Segundo Tonon et al. (2013), a adição da maltodextrina aumenta o peso molecular das partículas, e quanto mais pesado o material, mais facilmente esse se acomoda nos espaços vazios, ocupando menor volume e resultando em maior densidade. Densidades aparentes mais altas permitem acomodação de mais material em recipientes menores, constituindo sob esse aspecto uma característica positiva.

Darniadi, Ho e Murray (2017), estudando pós de mirtilo (*Vaccinium myrtillus* L.) obtidos por liofilização observou que estes apresentaram densidade aparente menor do que os pós obtidos por secagem por aspersão, com valores entre 0,3 e 0,4 g/cm³. De acordo com Ganesan, Rosentrater e Muthukumarappan (2008), as densidades dos pós dependem de vários efeitos combinados, como teor de água, tamanho e forma das partículas e força de coesão entre elas.

Na Figura 13 são apresentados os valores de densidade compactada dos pós obtidos por liofilização e por secagem em camada de espuma, armazenados ao longo de 180 dias.



**Figura 13** – Densidade compactada dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

As densidades compactadas seguiram comportamento semelhante aos das densidades aparentes, com maiores valores iniciais verificados nos pós liofilizados e aumento mais rápido destes no período total de 180 dias. Além disso, a amostra liofilizada repetiu valores mais elevados de densidade compactada na temperatura de 40 °C neste caso, comportamento que também foi seguido pela amostra obtida da secagem em camada de espuma.

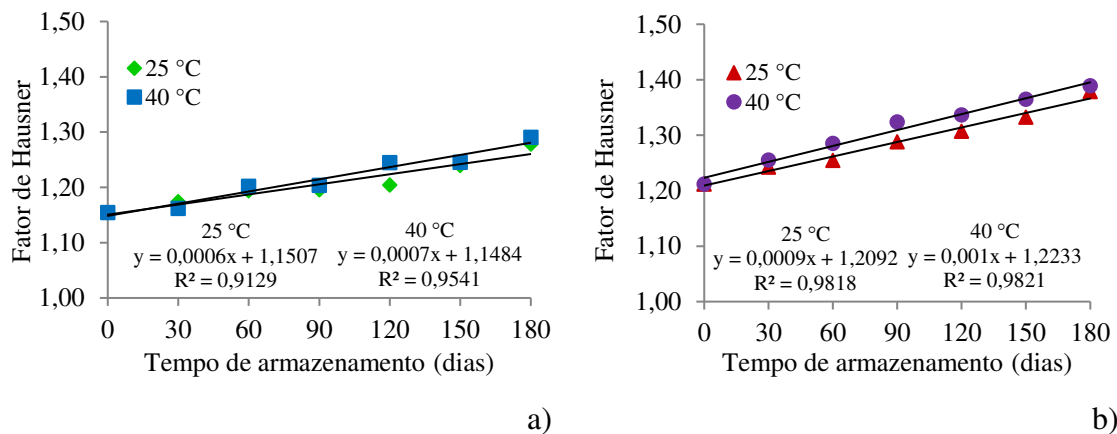
A densidade compactada é maior que a densidade aparente porque o batimento permite que as partículas menores ocupem os vazios entre partículas maiores e atinjam uma condição de empacotamento (MITRA et al., 2017).

Um produto seco com alta densidade compactada pode ser armazenado em embalagens menores e também reduzem os espaços com consequente redução da presença de oxigênio no interior do produto, isso pode ser devido às distâncias entre as partículas que se aproximam pela força de Van Der Waals, fazendo com que as partículas que ficam em um espaço fechado se tornem compactas (CHANG et al., 2018). Por outro lado, produtos muito comprimidos exibem difícil reidratação, vindo a dificultar a difusão de água através da estrutura do material em pó (BOTREL et al., 2016).

Samborska et al. (2019), ao caracterizarem o mel em pó adicionado de maltodextrina como adjuvante de secagem, verificaram densidades aparentes entre 0,37 e 0,48 g/mL e densidades compactadas entre 0,48 e 0,62 g/mL, faixas semelhantes às observadas nos pós das polpas mistas de jambolão e acerola. Shishir et al. (2017), estudando pó de goiaba armazenado a 5 e 25 °C por 10 semanas, relataram densidade aparente de 0,50 g/cm<sup>3</sup> e densidade compactada de 0,57 g/cm<sup>3</sup>. Dehghannya et al. (2019) reportaram densidade

aparente de  $0,37 \text{ g/cm}^3$  e densidade compactada de  $0,56 \text{ g/cm}^3$  em suco de limão em pó, da secagem em camada de espuma a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Os resultados obtidos para o fator de Hausner estão descritos na Figura 14. O fator de Hausner é importante como parâmetro indicador das propriedades de fluxo que são consideradas no manuseio e transporte de pós. Os pós produzidos por liofilização apresentaram fator de Hausner mais baixos, quando comparados com os pós correspondentes à secagem em camada de espuma, demonstrando maior fluidez entre as amostras.



**Figura 14** – Fator de Hausner dos pós da polpa mista obtidos por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ )

De acordo com Garcia, Pereira e Dias (2012), o fator de Hausner (FH) relaciona a densidade aparente e a densidade compactada de forma a determinar o grau de fricção entre as partículas, permitindo, assim, estimar as propriedades de escoamento. Pós com FH entre 1,0 e 1,11 apresentam excelente fluxo, pós com FH entre 1,12 e 1,18 fluxo bom, pós com FH entre 1,19 e 1,25 fluxo fraco, pós com FH entre 1,26 e 1,45 fluxo pobre e pós com FH maiores que 1,5 apresentam fluxo muito pobre. De acordo com os resultados obtidos, constata-se, no tempo zero, que o pó produzido em estufa apresentou fluidez fraca, e o liofilizado, boa fluidez.

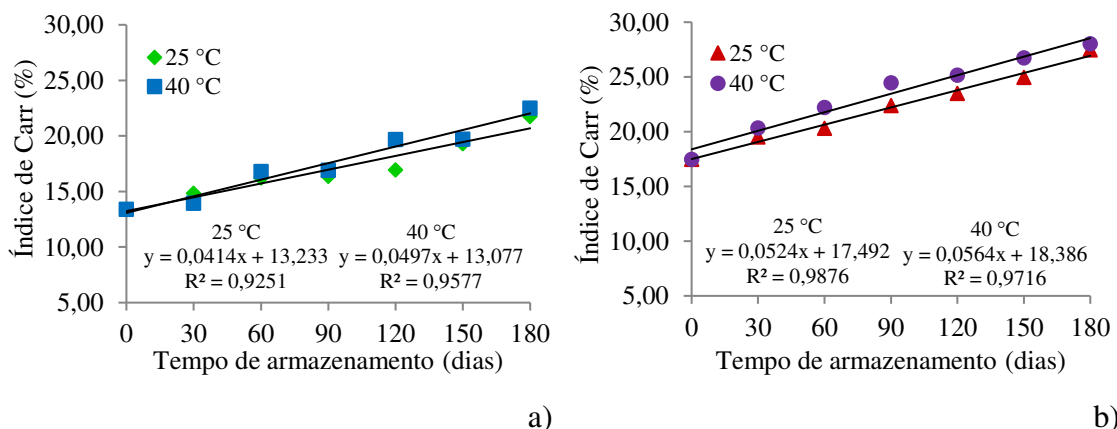
Com o decorrer do tempo de armazenamento, os fatores de Hausner dos pós foram aumentando, mostrando menor fluidez ao término do processo. Aos 180 dias os pós liofilizados e as amostras da secagem em camada de espuma, atingiram o intervalo de fluxo pobre. A diferença de temperaturas de armazenamento resultou em pouca influência sobre o FH de ambos os materiais.

Mar et al. (2019), estudando pós de extrato de *Hibiscus acetosella* produzidos por liofilização, utilizando inulina como adjuvante de secagem, reportaram fator de Hausner 1,3. Vivek, Mishra e Pradhan (2019), em trabalho com pó de Sohiong (*Prunus nepalensis*), determinaram FH durante o armazenamento, constatando que os valores aumentaram com o tempo, variando de 1,19 a 1,31. Os autores atribuem o aumento nos valores durante o armazenamento ao aumento na quantidade de água adsorvida pelo pó, elevando a coesão das partículas e resultando em menor fluidez com o decorrer do armazenamento.

Seerangurayar et al. (2017) relataram valores de fator de Hausner entre 1,31 e 1,35 em espuma de tâmara em pó, produzido pelo método de liofilização, utilizando maltodextrina como agente carreador em concentrações de 40 e 50%.

Na Figura 15 são apresentados os valores do índice de Carr dos pós obtidos por liofilização e camada de espuma, armazenados ao longo de 180 dias. O índice de Carr e o fator de Hausner são parâmetros inter-relacionados que permitem avaliar o comportamento do fluxo com base nas densidades aparente e compactada. O índice de Carr das amostras obteve aumento ao longo do armazenamento, com comportamento ao longo do tempo bem representado por regressões lineares.

Desde o tempo zero o pó da liofilização apresentou índice de Carr mais baixo em comparação ao pó da secagem em camada de espuma. Valores mais baixos de índice de Carr indicam melhor fluidez de alimentos em pó. O tamanho relativamente pequeno e uniforme das partículas no pó diminuem os vazios entre partículas e oferece uma superfície de contato maior com o ambiente, resultando em baixo valor do índice de Carr.



**Figura 15** – Índice de Carr dos pós da polpa mista em pó obtida por liofilização (a) e por secagem em camada de espuma (b) em função do tempo de armazenamento e da temperatura (25 e 40 °C)

Segundo Garcia, Pereira e Dias (2012), pós com índice de Carr (IC) entre 5 e 15%, são considerados de fluidez excelente, pós com IC de 12 a 16%, são considerados com bom fluxo, pós com IC de 18 a 21% de fluidez escassa, IC de 22 a 35%, são considerados de fluxo fraco, de 35 a 38%, são considerados de fluxo muito fraco e pós com IC maiores que 40%, são considerados de fluxo extremamente fraco.

De acordo com o índice de Carr, os pós liofilizados apresentaram boa fluidez até 60 dias de armazenamento, passando a partir desse tempo a exibir escassa fluidez. Os pós da secagem em camada de espuma demonstraram fluxo escasso até os 60 dias de armazenamento, entrando na faixa de fraca fluidez a partir de então.

Seerangurayar et al. (2017) relataram valores de índice de Carr de 22 a 26% em tâmara em pó liofilizada, utilizando maltodextrina nas proporções de 40 e 50% como adjuvante de secagem.

Vivek, Mishra e Pradhan (2019), em trabalho com pó de *Sohiong (Prunus nepalensis)*, reportaram valores de índice de Carr aumentando de 16,07% a 23,67% durante ensaio de armazenamento.

Varhan, Elmas e Koç (2019) encontraram resultado para o índice de Carr de 23,31%, em pó de figo produzido em secagem em camada de espuma a 70 °C, com espessura de 0,5 cm.

Mandi et al. (2019) determinaram valor médio do índice de Carr de 27,35% ao investigarem pós do extrato de cidra (*Citrus medica* L.) com diferentes formulações, usando como agentes carreadores goma arábica, maltodextrina, amido modificado e proteína de soro de leite.

#### **4 Conclusões**

As polpas mistas em pó de jambolão e acerola produzida por liofilização e por secagem em camada de espuma apresentaram altos teores de compostos bioativos, em especial de ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, compostos fenólicos totais e taninos.

Com o decorrer de 180 dias de armazenamento, as amostras de polpa mista em pó de jambolão e acerola, produzidas por liofilização e em secagem em camada de espuma, tiveram aumentados o teor de água, a atividade de água, e o pH; bem como as propriedades físicas densidades aparente e compactada, Fator de Hausner, e Índice de Carr; os demais parâmetros físico-químicos, acidez total titulável, ácido ascórbico, teores de flavonoides,

antocianinas, compostos fenólicos e taninos passaram por reduções, assim como, a solubilidade e densidade absoluta.

Os comportamentos dos parâmetros avaliados foram bem ajustados por modelos de regressão linear, com a maioria dos coeficientes de determinação apresentando valores acima de 0,94.

A temperatura de armazenamento afetou a atividade de água, a acidez total titulável e a densidade aparente das amostras obtidas por pelo menos um dos dois métodos de secagem empregados, influenciando os teores de compostos fenólicos e o de taninos dos pós produzidos por ambos.

A secagem por liofilização gerou amostras com maiores teores de ácido ascórbico, antocianinas, maior solubilidade, melhores Fator de Hausner e Índice de Carr; na secagem em camada de espuma obteve-se pós com maior acidez titulável e maior teor de flavonoides; os dois métodos se equivaleram no teor de compostos fenólicos.

Entre os métodos de secagem, a técnica de secagem em camada de espuma produziu pós com perdas mais lentas, ao longo do armazenamento, de acidez, ácido ascórbico, flavonoides e antocianinas; por esse critério, os dois métodos de secagem se equivaleram na evolução dos compostos fenólicos, no teor de taninos e na solubilidade.

## 5 Referências bibliográficas

- ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT-Food Science and Technology**, v. 68, n. 1, p. 105-110, 2016.
- ABREU, E.; PRECI, D.; ZENI, J.; STEFFENS, C.; STEFFENS, J. Desenvolvimento de Frozen Yogurt de iogurte em pó de leite de ovelha. **Revista Ceres**, v. 65, n.1, p. 7-15, 2018.
- ALBARICI, T. R.; PESSOA, J. D. C.; FORIM, M. R. **Efeito das variações de pH e temperatura sobre as antocianinas na polpa de açaí: estudos espectrofotométricos e cromatográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2006, 5 p.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 20th ed, Washington: AOAC, 2016. 3100 p.
- ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leite de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 1, e2016152, 2017.
- BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, R. D. B.; SOUZA, M. V.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em vegetais. **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 3, p. 321-327, 2013.

- BENTO, J. A. C.; SOUZA NETO, M. A.; RODRIGUEZ, A. G.; BATAUS, L. A. M.; CALIARI, M.; SOARES JUNIOR, M. S. Physical, chemical, technological and toxicological characteristics of teiu potato flour (*Jatropha elliptica* (Pohl) Oken). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 172-179, 2019.
- 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, n. 1, p. 354–364, 2014.
- BIESAGA, M. Influence of extraction methods on stability of flavonoids. **Journal of Chromatography A**, v. 1218, n. 18, p. 2505–2512, 2011.
- BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; SILVA JÚNIOR, A.; LUCENA, E. M. P.; SALES, J. C. Estabilidade da pré-mistura de bolo elaborada com 60% de farinha de banana verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 173-181, 2010.
- BOTREL, D. A.; RODRIGUES, I. C. B.; SOUZA, H. J. B.; FERNANDES, R. V. B. Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 32-39, 2016.
- BRANDÃO, T. S. O.; PINHO, L. S.; TESHIMA, E.; DAVID, J. M.; RODRIGUES, M. I. Optimization of a technique to quantify the total phenolic compounds in jambolan (*Syzygium cumini* Lamark) pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018158, 2019.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, que dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.
- CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.
- CHAABAN, H.; IOANNOU, I.; CHEBIL, L.; SLIMANE, M.; GÉRARDIN, C.; PARIS, C.; CHARBONNEL, C.; CHEKIR, L.; GHOUL, M. Effect of heat processing on thermal stability and antioxidant activity of six flavonoids. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 5, e13203, 2017.



- CHANG, L. S.; KARIM, R.; ABDULKARIM, S. M.; YUSOF, Y. A.; GHAZALI, H. M. Storage stability, color kinetics and morphology of spray-dried soursop (*Annona muricata* L.) powder: effect of anticaking agents. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 1937-1954, 2018.
- CHENG, A. W.; XIE, H. X.; QI, Y.; LIU, C.; GUO, X.; SUN, J. Y.; LIU, L. N. Effects of storage time and temperature on polyphenolic content and qualitative characteristics of freeze-dried and spray-dried bayberry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 78, p. 235-240, 2017.
- CHENG, X.; ZHANG, M.; ADHIKARI, B. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase in mushroom (*Agaricus bisporus*) during thermal and thermosonic treatments. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 20, n. 2, p. 674-679, 2013.
- CHUNG, C.; ROJANASASITHARA, T.; MUTILANGI, W.; MCCLEMENTS, D. J. Enhanced stability of anthocyanin-based color in model beverage systems through whey protein isolate complexation. **Food Research International**, v. 76, n. 3, p. 761-768, 2015.
- COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PALLET, J. P. D.; MONTE, D. C. **Quantificação do teor de antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações de açaizeiro**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 15 p.
- CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; MONTEIRO, A. R. G. Stability of “mangaba” pulp powder obtained by freeze drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 645-650, 2017.
- DARNIADI, S.; HO, P.; MURRAY, B. S. Comparison of blueberry powder produced via foam-mat freeze-drying versus spray-drying: evaluation of foam and powder properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 5, p. 2002-2010, 2017.
- DEGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 135, p. 30–43, 2019.
- DEGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. A multivariable approach for intensification of foam-mat drying process: Empirical and three-dimensional numerical analyses. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 135, p. 22-41, 2019.
- DERKYI, N. S. A.; ADU-AMANKWA, B.; SEKYERE, D.; DARKWA, N. A. Optimum acetone and etanol extraction of polyphenols from *Pinus caribaea* Bark: maximizing tannin

contente using response surface methodology. **Chemical Product and Process Modeling**, v. 6, n. 1, p. 1-22, 2011.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.

FERNANDES, L.; CASAL, S.; PEREIRA, J. A.; SARAIVA, J. A.; RAMALHOSA, E. Effects of different drying methods on the bioactive compounds and antioxidant properties of edible *Centaurea (Centaurea cyanus)* petals. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, n. 1, e2017211, 2018.

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; SOUZA, V. R.; LIMA, C. F. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 35, n. 3, p. 1267-1278, 2014.

FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.

GANESAN, V.; ROSENTRATER, K. A.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders: A review with implications for DDGS. **Biosystems Engineering**, v. 101, n. 4, p. 425–435, 2008.

GARCIA, A. Q. R.; PEREIRA, T. C. B.; DIAS, I. L. T. Estudo das propriedades de fluxo no desenvolvimento de paracetamol pó veiculado em sachê. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 93, n. 4, p. 469-475, 2012.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 2010.

GONZÁLEZ, F.; GARCIA-MARTÍNEZ, E.; CAMACHO, M. D. M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Stability of the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of spray-dried grapefruit powder. **Food Bioscience**, v. 28, p. 74-82, 2019.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery. **Drying technology**, v. 26, n. 6, p. 714-725, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v. 22, n. 10, p. 2309-2330, 2004.

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, e100445, 2019.

- KRUMREICH, F.; D'AVILA, R. F.; FREDA, S. A.; CHAVES, F. C.; CHIM, J. F. Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica. **Revista Thema**, v. 13, n. 2, p. 4-17, 2016.
- KUCK, L.S.; NOREÑA, C.P.Z. Microencapsulation of grape (*Vitislabrusca* 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.
- LAORKO, A.; TONGCHITPAKDEE, S.; YOURAVONG, W. Storage quality of pineapple juice non-thermally pasteurized and clarified by microfiltration. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 554-561, 2013.
- MACIEL, R. M. G.; LIMA, S. B.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, 2020.
- MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379–385, 2016.
- MAHDI, A. A.; MOHAMMED, J. K.; AL-ANSI, W.; GHALEB, A. D. S.; AL-MAQTARI, Q. A.; MA, M.; AHMED, M. I.; WANG, H. Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 1125-1134, 2020.
- MAR, J. M.; SILVA, L. S.; LIRA, A. C.; KINUPP, V. F.; YOSHIDA, M. I.; MOREIRA, W. P.; BRUGINSKI, E.; CAMPOS, F. R.; MACHADO, M. B.; SOUZA, T. P.; CAMPELO, P. H.; BEZERRA, J. A.; SANCHES, E. A. Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. **Powder Technology**, v. 360, p. 383-391, 2019.
- MITRA, H.; PUSHPADASS, H. A.; FRANKLIN, M. E. E.; AMBROSE, R. K.; GHOROI, C.; BATTULA, S. N. Influence of moisture content on the flow properties of basundi mix. **Powder Technology**, v. 312, p. 133-143, 2017.
- MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p. 322-327, 2016.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.

- OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 147–153, 2015.
- OLIVEIRA, R. G.; GODOY, H. T.; PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 244-249, 2010.
- OZCELIK, M.; AMBROS, S.; MORAIS, S. I. F.; KULOZIK, U. Storage stability of dried raspberry foam as a snack product: effect of foam structure and microwave-assisted freeze drying on the stability of plant bioactives and ascorbic acid. **Journal of Food Engineering**, v. 270, e109779, 2020.
- PIECZYKOLAN, E.; KUREK, M. A. Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta-glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 129, p. 665–671, 2019.
- PINTO, M. R. M. R.; PAULA, D. A.; ALVES, A. I.; RODRIGUES, M. Z.; VIEIRA, É. N. R.; FONTES, E. A. F.; RAMOS, A. M. Encapsulation of carotenoid extracts from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) by emulsification (O/W) and foam-mat drying. **Powder Technology**, v. 339, p. 939-946, 2018.
- PORTER, L. H.; HRSTICH, L.N.; CHAN, B. C. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, n. 1, p. 223-230, 1986.
- REYES-ÁLVAREZ, C. A.; LANARI, M. C. Storage stability of freeze-dried arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) powders. Implications of carrier type and glass transition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, e 108842, 2020.
- RINALDI, M. M.; FIALHO, J. F.; VIEIRA, E. A.; OLIVEIRA, T. A. R.; ASSIS, S. F. O. Utilização de ácido cítrico para a conservação pós-colheita de raízes de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2017072, 2017.
- RODRIGUES, L. M.; JANUÁRIO, J. G. B.; SANTOS, S. S.; BERGAMASCO, R.; MADRONA, G. S. Microcapsules of “jaboticaba” byproduct: Storage stability and application in gelatin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 424–429, 2018.
- RUTZ, J. K.; ZAMBIAZI, R. C.; BORGES, C. D.; KRUMREICH, F. D.; LUZ, S. R.; HARTWIG, N.; ROSA, C. G. Microencapsulation of purple Brazilian cherry juice in xanthan, tara gums and xanthan-tara hydrogel matrixes. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 2, p. 1256-1265, 2013.

- SAMBORSKA, K.; WIKTOR, A.; JEDLIŃSKA, A.; MATWIJCZUK, A.; JAMRÓZ, W.; SKWARCZYŃSKA-MAJ, K.; KIELCZEWSKI, D.; TULODZIECKI, M.; BLA'ZOWSKI, L.; WITROWA-RAJCHERT, D. Development and characterization of physical properties of honey-rich powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 115, p. 78-86, 2019.
- SANTIAGO, M. C. P. A.; GOUVÊA, A. C. M. S.; PEIXOTO, F. M.; BORGUINI, R.; GODOY, R. L. O.; PACHECO, S.; NASCIMENTO, L. S. M.; NOGUEIRA, R. I. Characterization of jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit peel powder for use as natural colorant. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 3-8, 2016.
- SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M.; ARAUJO, G. T. Storage of “umbu-cajá” pulp powder produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1118–1123, 2016.
- SANTOS, V.O.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Improvements on the stability and vitamin content of acerola juice obtained by ultrasonic processing. **Foods**, v. 7, n. 5, p. 68, 2018.
- SCHMIDT, J.M.; DAMGAARD, H.; GREVE-POULSEN, M.; LARSEN, L.B.; HAMMERSHOJ, M. Foam and emulsion properties of potato protein isolate and purified fractions. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 367–378, 2018.
- 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.
- SERAGLIO, S. K. T.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; BETTA, F. D.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649–656, 2018.
- SHISHIR, M. R. I.; TAIP, F. S.; SAIFULLAH, M.; AZIZ, N. A.; TALIB, R. A. Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 12, n. 24, p. 83–90, 2017.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Review compounds present in jambolan (*Syzygium cumini*) along with their health-promoting effects. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 11, p. 1–17, 2018.

- SOUSA, S. L.; MORAIS, B. A.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 678–682, 2016.
- TAVARES, I. M. C.; SUMERE, B. R.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; SILVA, R.; LAGO-VANZELA, E. S. Storage stability of the phenolic compounds, color and antioxidant activity of jambolan juice powder obtained by foam mat drying. **Food Research International**, v. 128, e108750, 2020.
- TELES, A. S. C.; CHÁVEZ, D. W. H.; GOMES, F. S.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Effect of temperature on the degradation of bioactive compounds of Pinot Noir grape pomace during drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017059, 2018.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.
- VALENTINA, V.; PRATIWI, A. R.; HSIAO, P. Y.; TSENG, H. T.; HSIEH, J. F.; CHEN, C. C. Sensorial characterization of foods before and after freeze-drying. **Austin Food Sciences**, v. 1, n. 6, 1027, 2016.
- VARHAN, E.; ELMAS, F.; KOÇ, M. Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, e13022, 2019.
- VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Effect of temperature on drying kinetic in foam mat and anthocyanin degradation in strawberry. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018221, 2019.
- VERGARA-SALINAS, J. R.; BULNES, P.; ZÚÑIGA, M. C.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; TORRES, J. L.; MATEOS-MARTÍN, M. L.; AGOSIN, E.; PÉREZ-CORREA, J. R. Effect of pressurized hot water extraction on antioxidants from grape pomace before and after enological fermentation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 28, p. 6929–6936, 2013.
- VIVEK, K.; MISHRA, S.; PRADHAN, R. C. Characterization of spray dried probiotic Sohiong fruit powder with *Lactobacillus plantarum*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 117, e108699, 2020.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p.3-5, 2006.
- YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-

product extract by freeze-drying. **LWT- Food Science and Technology**, v. 84, p. 256–262, 2017.

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

## ARTIGO 7 – ELABORAÇÃO DE IOGURTE CONCENTRADO COM ADIÇÃO DE POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA

### Resumo

O iogurte é uma bebida fermentada a qual pode-se adicionar culturas de bactérias probióticas e polpas de frutas tornando-o mais atrativo para os consumidores. O consumo regular de frutas ricas em antioxidantes como jambolão e acerola é benéfico para a manutenção de vida saudável. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar a composição física, físico-química, os compostos bioativos, o perfil de textura e avaliação sensorial de cinco formulações de iogurtes concentrados adicionados de polpa mista em pó e integral de jambolão e acerola. Foram preparadas cinco formulações de iogurtes concentrados: F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de maltodextrina liofilizada; e F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose). A adição de polpa mista integral e em pó no iogurte concentrado alterou significativamente os parâmetros avaliados. Os iogurtes com adição dos pós da polpa mista tiveram redução da atividade de água, teor de água e sinérese, bem como, aumento da acidez, açúcares totais e cinzas. A incorporação da polpa mista integral e em pó ao iogurte concentrado aumentou o teor de compostos bioativos, principalmente nas amostras com os pós da polpa mista. O perfil de textura demonstrou que o iogurte F4 apresentou os maiores valores de firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade. Na avaliação sensorial todos os iogurtes testados tiveram notas iguais ou superiores a cinco indicando boa aceitação sensorial, com destaque para os iogurtes F2 e F4. A adição da polpa de jambolão e acerola integral e na forma de pó possui potencial para utilização na elaboração de iogurtes concentrados.

**Palavras-chave:** *Syzygium cumini*; *Malpighia emarginata*; iogurte grego; compostos bioativos; perfil de textura; análise sensorial.

### Abstract

Yogurt is a fermented drink to which you can add cultures of probiotic bacteria and fruit pulps making it more attractive to consumers. Regular consumption of fruits rich in antioxidants such as jambolão and acerola is beneficial for maintaining a healthy life. In this sense, the objective of this work was to develop and evaluate the physical, physical-chemical composition, bioactive compounds, texture profile and sensory evaluation of five formulations of concentrated yoghurt added with mixed pulp powder and whole of jambolão and acerola. Five formulations of concentrated yoghurts were prepared. F1 - Control yogurt (without the addition of mixed pulp); F2 - Yogurt with 20% of mixed whole pulp; F3 - Yogurt with 10% powder from the freeze-dried mixed pulp (without additives); F4 - Yogurt added with 10% powder from the mixed pulp with 10% lyophilized maltodextrin, and F5 - Yogurt with 10% mixed pulp powder from drying in a foam layer (1% albumin and 0.5% carboxymethylcellulose). The addition of mixed whole and powdered pulp in the concentrated yogurt significantly changed the evaluated parameters. Yogurts with the addition of mixed pulp powders had reduced water activity, water content and syneresis, as well as increased acidity, total sugars and ashes. The incorporation of the whole and powdered mixed pulp to the concentrated yogurt increased the content of bioactive compounds, mainly in the samples with the mixed pulp powders. The texture profile showed



that the F4 yogurt had the highest values of firmness, consistency, cohesiveness and viscosity index. In the sensory evaluation, all the yogurts tested had scores equal to or higher than five, indicating good sensory acceptance, with emphasis on the yogurts F2 and F4. The addition of jambolão and acerola pulp in powder form has the potential to be used in the production of concentrated yoghurts.

**Keywords:** *Syzygium cumini*; *Malpighia emarginata*; greek yogurt; bioactive compounds; texture profile; sensory analysis.

## 1 Introdução

A fermentação é um dos métodos mais antigos usados para prolongar a vida útil do leite, convertendo-o em vários produtos, dentre eles o iogurte. O iogurte é um produto lácteo fermentado amplamente consumido devido ao seu sabor e os seus benefícios à saúde. É o produto resultante da fermentação do leite pasteurizado ou esterilizado, por fermentos lácticos próprios (BRASIL, 2007). Podem ser utilizadas diferentes culturas bacterianas; no entanto, *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* spp. são as mais eficazes em termos de produção e formação do coágulo. Elas crescem rápido e têm melhor desempenho quando usadas em conjunto do que quando inoculadas separadamente. Na fabricação de iogurte, o pH é diminuído pelo processo de fermentação das bactérias do ácido láctico, convertendo a lactose em ácido láctico. A acidificação é responsável pela coagulação e formação do gel no leite (SERT; MERCAN; DERTLI, 2017).

Iogurte é um produto lácteo muito apreciado e disponível em várias texturas e consistências (tradicional, batido e líquido), teor de matéria gorda (integral, com creme, desnatado e parcialmente desnatado), espécies de leite (vaca, cabra, ovelha, búfala, camelo, etc.) e outros ingredientes, a exemplo de frutas, cereais e falovORIZANTES sintéticos (FAZILAH et al., 2018).

Os produtos lácteos fermentados com alto teor de proteínas são nomeados de acordo com sua origem geográfica e vários aspectos tecnológicos durante a fabricação. Eles incluem principalmente iogurtes concentrados rotulados como iogurte grego, iogurte coado, *labneh* (Oriente Médio), *skyr* (Islândia), iogurte *Tuluq* (Irã), iogurte *Torba* (Turquia), *shrikhand* (Índia), *besa* (Bulgária) e *laban zeer* (Egito) (KÖRZENDÖRFER; HINRICHS, 2019). O iogurte concentrado ou grego por ser um produto relativamente novo no mercado alimentício brasileiro, ainda não tem uma definição exata para tal produto, existindo somente para iogurtes em geral.

O iogurte concentrado é um produto semissólido produzido por uma prática simples e tradicional, no qual parte do soro é drenada pressionando o iogurte em sacos de tecido por 12-18 horas em temperaturas de refrigeração, até atingir o nível de sólido total desejado. Originalmente, foram utilizadas peles de animais para a produção do iogurte, em que ocorria a absorção do soro pela pele e a exsudação natural pelos poros, favorecendo a evaporação pelas paredes do recipiente, resultando no concentrado (BONATTO; CANTERI, 2017). Os métodos modernos de fabricação, em escala industrial, incluem fortificação com leite em pó, evaporação ou filtração por membrana, ou após fermentação, drenagem do soro por separação mecânica (JØRGENSEN et al., 2018).

O iogurte concentrado possui sabor ligeiramente ácido, cor creme, com consistência cremosa, macia e suave, boa capacidade de espalhamento e pouca sinérese (MOHAMED et al., 2016).

Com a concentração do produto, ocorre um aumento da contagem das bactérias lácticas, do ácido lático e de sólidos totais, o que promove uma melhoria da conservação do produto final. As propriedades nutricionais deste iogurte são consideradas semelhantes ou mesmo melhores que as do iogurte tradicional, uma vez que, possui 2,5 vezes mais proteínas, 50% mais minerais e menor concentração de lactose (MAESTRI et al., 2014).

Com o intuito de valorizar as características sensoriais e nutricionais e ampliar o consumo de frutas regionais ricas em compostos bioativos, existem pesquisas com iogurtes com adição de vários tipos de polpa de frutas, como iogurte com suco de romã em pó (PAN et al., 2019), polpa de mangostão (SHORI; RASHID; BABA, 2018) e com polpa de jujuba (FENG et al., 2018).

Dentre as frutas ricas em compostos bioativos tem-se o jambolão (*Eugenia jambolana* Lam.) que é uma fruta tropical rica em pigmentos com cor violeta intensa a preta, sendo uma fonte fitoquímica natural (BEZERRA et al., 2015).

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) também é uma fruta tropical originária da América Central e do Sul, rica em vitamina C e compostos bioativos (NOGUEIRA et al., 2019).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo analisar a composição física, físico-química, os compostos bioativos e o perfil de textura e aceitação sensorial de cinco formulações de iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Matérias-primas e processamento dos frutos

Foram utilizados como matérias-primas o jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) maduros, proveniente do município de Macaíba, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil (latitude: 5° 51' 36" S, longitude 35° 20' 59" O, altitude 15 m).

Os frutos (jambolão e acerola) foram selecionados, lavados em água corrente e sanitizados por imersão em água clorada (50 ppm) por 15 minutos, seguidos de enxágue em água potável. Em seguida, os frutos foram despulpados em despulpadora horizontal de aço inoxidável. As polpas de jambolão e acerola foram envasadas em embalagens de polietileno de baixa densidade e armazenadas em freezer ( $-18 \pm 2$  °C) até a realização dos experimentos.

### 2.2 Formulações, liofilização e secagem em camada de espuma

As polpas de acerola e jambolão foram descongeladas sob refrigeração ( $5 \pm 2$  °C); em seguida foi feita uma mistura da polpa de jambolão com a polpa de acerola na proporção de 1:1, sendo homogeneizadas em liquidificador doméstico durante 1 minuto, denominada de polpa mista integral.

A polpa mista de jambolão e acerola foi formulada com adição de 10% de maltodextrina (DE 10 - MOR-REX<sup>®</sup> – Ingredion, São Paulo, Brasil), sendo homogeneizada em liquidificador doméstico por cerca de 5 minutos até completa dissolução da maltodextrina. Esta formulação foi congelada em freezer (-18 °C) por 48 horas. Após o congelamento, a formulação com maltodextrina foi liofilizada (Liobras<sup>®</sup>, modelo L101, São Carlos, SP, Brasil) a -50 °C, por 72 horas. Em seguida, a formulação liofilizada foi desintegrada em processador para obtenção da polpa mista em pó por liofilização.

Uma segunda formulação foi elaborada com a polpa mista de jambolão e acerola com adição de 1% de albumina (Infinity Pharma<sup>®</sup>, Campinas, SP, Brasil) e 0,5% de carboximetilcelulose – (CMC - Neon<sup>®</sup>, Suzano, SP, Brasil). Esta formulação foi submetida ao batimento em batedeira planetária na velocidade máxima (Arno<sup>®</sup>, Deluxe, 300 W, Itatiaia, RJ, Brasil) durante 20 minutos para obtenção de espuma. Esta espuma foi espalhada em bandejas de aço inoxidável, com espessura da camada de 0,5 cm, medidas com o auxílio de um paquímetro digital (Onebycitess, DD2018011001, 0-6"/150 mm). As espumas nas

bandejas foram levadas para secagem em camada de espuma em estufa (FANEM, modelo 320E, São Paulo, SP, Brasil) com circulação forçada de ar com velocidade do ar de 1,0 m/s e temperatura de 70 °C até massa constante. O material seco foi removido com espátula, sendo posteriormente triturado em um multiprocessador doméstico para obtenção da polpa mista em pó do processo de secagem em camada de espuma.

### 2.3 Elaboração de iogurte concentrado

Na elaboração do iogurte concentrado foi utilizada a cultura láctica termofílica liofilizada (*stater*) composta por (*Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*) (Vilac Foods Tecnologia Ingredientes Ltda., Natal, RN, Brasil) adquirida no comércio. Inicialmente, foi inoculado 1 g da cultura liofilizada em 1000 mL de leite pasteurizado (75 °C/15 s), dividido em tubos de Falcon de 50 mL e congelado em freezer a -18 °C, conforme instruções do fabricante, para ser utilizado na etapa de inoculação.

No processo de elaboração do iogurte, o leite cru foi padronizado em 10% de sólidos totais com a adição de leite em pó integral (Ninho<sup>®</sup> Forti+ integral, Nestlé, Brasil), com o objetivo de melhorar a viscosidade do produto final, em seguida foi adicionado 15% (m/m) de açúcar cristal comercial (Estrela<sup>®</sup>, Arês, RN, Brasil), dissolvidos manualmente. Após, submetido à pasteurização rápida a (75 °C/15 s), resfriado até 45 °C e inoculado com 1% (em relação ao volume do leite) da cultura previamente preparada e incubada a 42 °C.

Para o acompanhamento da cinética do processo fermentativo uma porção do leite inoculado foi subdividida em tubos tipo Falcon (24 x 200 mm) e incubado juntamente com o restante do material em estufa a 42 °C. Em intervalos de 30 minutos uma alíquota foi retirada para determinar o pH e a acidez até atingir pH 4,6 e 0,65% de ácido lático. Após o final da fermentação, o produto foi resfriado em banho de gelo e armazenado em câmara fria à temperatura de  $5 \pm 1$  °C até atingir temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C).

O coágulo foi transferido cuidadosamente para sacos de algodão esterilizados (autoclave - 121 °C/15 min) e colocados sob resfriamento em câmara fria a  $5 \pm 1$  °C por 16 h para drenagem parcial do soro do leite. Após esse período, a massa foi retirada, homogeneizada manualmente com espátula e dividida em porções para adição da polpa:

F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de

maltodextrina liofilizada; e F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose). Os iogurtes foram acondicionados em recipientes de polipropileno de 50 mL, fechados com tampa termossoldável e conservados a  $5 \pm 1$  °C para manter a temperatura de refrigeração durante as análises.

#### **2.4 Avaliação microbiológica**

Foram realizadas análises de coliformes totais e termotolerantes pela determinação do número mais provável (NMP/g), contagem de bolores e leveduras (UFC/g), *Salmonella* spp. (presença ou ausência) em 25 g de iogurte, conforme as metodologias propostas pela *American Public Health Association* (APHA, 2001). Os resultados foram comparados com os padrões estabelecidos pela RDC n° 331, de 23 de dezembro de 2019, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (BRASIL, 2019) e de acordo com a instrução normativa n° 46, de 23 de outubro de 2007 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA que estabelece os padrões de identidade e qualidade de leites fermentados (BRASIL, 2007).

#### **2.5 Avaliação dos parâmetros físicos, físico-químicos e compostos bioativos dos iogurtes**

As análises físicas, físico-químicas e compostos bioativos dos iogurtes concentrados foram realizados em triplicata.

As análises físico-químicas para a caracterização dos iogurtes concentrados seguiram as metodologias da AOAC (2016). A avaliação dos iogurtes foi determinada pelas análises de: pH por leitura direta em pHmetro digital (Tecnal, modelo TEC-2, Piracicaba, SP, Brasil); acidez total titulável por titulação com NaOH 0,1 mol/L até pH 8,1 (g de ácido láctico/100 g); proteínas foi estimada através da medida do conteúdo de nitrogênio total pelo método micro Kjeldahl e convertido em proteína total usando o fator de 6,38; teor de água em estufa a 105 °C até massa constante; cinzas por incineração em mufla a 550 °C. As medidas da atividade de água ( $a_w$ ) foram determinadas por leitura direta a 25 °C em analisador de atividade de água Aqualab 3TE 3TE (Decagon Devices, Washington, EUA). Os lipídios foram quantificados seguindo a metodologia proposto por Bligh e Dyer (1959).

O teor de açúcar solúvel total foi medido pelo método de antrona (YEMM; WILLIS, 1954), com as leituras de absorvância obtidas a 620 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35

D, Santo André, SP, Brasil) e a curva padrão preparada utilizando-se glicose na concentração de 100 µg/mL. O conteúdo de açúcares redutores foi quantificado pelo método colorimétrico usando ácido 3,5-dinitrosalicílico (MILLER, 1959), com as leituras de absorvância realizadas a 540 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e a curva padrão preparada utilizando-se glicose na concentração de 2,5 µM/mL.

O teor dos compostos fenólicos totais nos extratos foi quantificado pelo método espectrofotométrico com o reagente Folin-Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006). As leituras de absorvância foram obtidas a 765 nm em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil). A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico como padrão, na concentração de 100 µg/mL. Os resultados expressos em mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g da amostra (mg EAG/100 g).

A concentração de taninos totais foi quantificada pelo método de Porter, Hrstich e Chan (1986), utilizando-se Folin-Denis como reagente. As leituras foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 765 nm. A curva padrão foi construída com solução padrão de ácido tânico a 0,1 mg/mL e os resultados expressos em mg equivalente de ácido tânico por 100 g da amostra (mg EAT/100 g).

O teor total de antocianinas foi determinado pelo método de diferença de pH (COHEN et al., 2006). Duas diluições da mesma amostra foram feitas em soluções tampão de pH = 1 (cloreto de potássio 0,025 M) e pH = 4,5 (acetato de sódio 0,4 M). O extrato foi produzido com solução Etanol (95%) - HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. A absorvância de cada diluição foi medida a  $\lambda = 510$  e 700 nm contra um branco de água destilada usando um espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) e os resultados expressos em mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo por 100 g da amostra.

Os flavonoides totais foram estabelecidos pelo método descrito por Francis (1982). O extrato foi produzido com solução Etanol (95%) - HCl (1,5 N) na proporção de 85:15. As leituras das absorvâncias foram feitas em espectrofotômetro (Coleman, 35 D, Santo André, SP, Brasil) a 374 nm. A concentração de flavonoides foi expressa em mg/100 g.

A sinérese foi determinada com base no método da centrifugação (GAUCHE et al., 2009). As amostras (10 g) foram pesadas em tubo Falcon (15 mL) e centrifugadas (QUIMIS<sup>®</sup>, Q222TM2, Diadema, SP, Brasil) a 3000 rpm por 15 minutos. A porcentagem de sinérese foi calculada com base na relação entre a massa de soro de leite separada da rede de gel após a centrifugação e a massa de iogurte inicial. O soro sobrenadante foi retirado com auxílio de uma seringa.

A capacidade de retenção de água (CRA) foi medida por meio de centrifugação (QUIMIS<sup>®</sup>, Q222TM2, Diadema, SP, Brasil), centrifugando-se 10 g do iogurte a 3500 rpm por 15 minutos (HARTE et al., 2003). Após a centrifugação, o fluido sobrenadante foi drenado por 10 min e pesado. A capacidade de retenção de água foi calculada pela diferença entre a massa inicial da amostra e a massa do sobrenadante, dividido pela massa de iogurte inicial, multiplicado por 100.

## 2.6 Perfil de textura

A análise do perfil de textura (APT), em triplicata, foi avaliada em texturômetro universal (TA-XT plus, Stable Micro Systems, Inglaterra) com software Exponent Stable Micro Systems integrado, utilizando-se o probe P-36R Back Extrusion Cell (A/BE), para a obtenção dos atributos de firmeza (N), consistência (N/s), coesividade (N) e índice de viscosidade (N/s). Os parâmetros de teste foram os seguintes: diâmetro da sonda do cilindro de 35 mm, velocidade de pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade de teste de 1,0 mm/s, distância de penetração de 20 mm e velocidade pós teste de 10,0 mm/s. O iogurte foi homogeneizado manualmente e transferido com o auxílio de espátula para um béquer com capacidade para 50 mL para realização da análise.

## 2.7 Análise sensorial

Os iogurtes concentrados foram analisados por 110 provadores não treinados, de ambos os sexos, entre acadêmicos e colaboradores da instituição, consumidores de iogurte concentrado, na faixa etária de 15 a 68 anos.

No laboratório de análise sensorial, os participantes foram acomodados em cabines individuais, orientados sobre as contraindicações (alergia ou problema de saúde) de algum dos ingredientes usados, preencheram o termo de assentimento livre e esclarecido – TALE (e o termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE, só então receberam os iogurtes.

As amostras foram servidas em copos descartáveis contendo 25 mL de cada iogurte (F1, F2, F3, F4 e F5) a aproximadamente 10 °C, codificados com números aleatórios de três dígitos, sempre duas horas antes ou depois das refeições, no período mais adequado para realização desta avaliação. Os julgadores foram orientados a utilizarem água à temperatura ambiente entre as amostras, para a limpeza do palato.

Para avaliar a aceitação dos iogurtes os atributos sensoriais sabor, cor, aroma, consistência, aparência e impressão global foram avaliados utilizando-se uma ficha com escala hedônica de nove pontos ancorada nos extremos do teste de “desgostei muitíssimo” (nota 1) a “gostei muitíssimo” (nota 9) (DUTCOSKY, 2013). Os iogurtes foram considerados aceitos quando tiveram média igual ou superior a 5,0 (termo hedônico “nem gostei/nem desgostei”).

A intenção de compra foi avaliada usando escala hedônica estruturada de 5 pontos, com notas variando de 1 (com certeza não compraria) à 5 (com certeza compraria) (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1991).

Este projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética, conforme parecer nº 3.692.447/2019.

## **2.8 Análise estatística**

As análises foram conduzidas utilizando-se 3 repetições. Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as diferenças significativas entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do software *Assistat* versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## **3 Resultados e discussão**

Na Tabela 1 pode ser observados os resultados da caracterização físico-química dos iogurtes concentrados para as diferentes formulações.

Verifica-se que o teor de água é o principal componente dos iogurtes (68,54-75,81g/100 g), apresentando maior valor no iogurte F2 que tem 20% de polpa mista integral ( $p < 0,05$ ) e os menores nos iogurtes F4 e F5. Os resultados sugerem que a adição do pó da polpa mista ao iogurte concentrado reduziu significativamente o teor de água, conseqüentemente o teor de sólidos totais é aumentado. É de grande importância os sólidos adicionados aos gelados comestíveis a base de leite por atuarem na melhoria da textura e cremosidade do produto elaborado (COELHO et al., 2019).

Resultados de teor de água semelhantes aos iogurtes F1 e F2 foram encontrados por Pereira et al. (2018) em iogurtes concentrados salgados com adição de orégano, salsa e manjeriço desidratados com valores entre 73,67-78,85 g/100 g. Ao analisar os parâmetros



de qualidade de iogurte grego, Costa et al. (2019) determinaram teor de água de 67,30-69,30 g/100 g que se assemelham aos valores dos iogurtes com pó da polpa mista.

**Tabela 1** – Características físico-químicas de iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó

Parâmetros	F1	F2	F3	F4	F5
Teor de água <sup>1</sup>	74,28±0,12b	75,81±0,31a	69,61±0,53c	68,54±0,54d	68,54±0,46d
a <sub>w</sub>	0,983±0,000a	0,986±0,000a	0,975±0,000b	0,968±0,000c	0,969±0,000c
Acidez <sup>2</sup>	0,98±0,01e	1,08±0,02d	1,55±0,02b	1,33±0,01c	2,05±0,02a
pH	4,57±0,01a	4,52±0,02b	4,13±0,02d	4,27±0,01c	4,03±0,01e
Açúcares não redutores <sup>3</sup>	5,79±0,01e	7,76±0,02d	7,94±0,02c	11,27±0,01a	10,85±0,01b
Açúcares redutores <sup>4</sup>	0,03±0,01c	0,04±0,01c	0,08±0,01a	0,06±0,01b	0,06±0,01b
Açúcares totais <sup>4</sup>	6,13±0,01e	8,21±0,02d	8,44±0,02c	11,92±0,01a	11,49±0,01b
Cinzas <sup>1</sup>	1,01±0,02c	0,90±0,01d	1,24±0,01a	1,14±0,01b	1,25±0,01a
Lipídios <sup>1</sup>	7,50±0,10a	5,78±0,10c	6,62±0,06b	6,68±0,13b	6,57±0,09b
Proteínas <sup>1</sup>	6,24±0,05b	4,86±0,06e	5,20±0,05d	6,02±0,01c	6,98±0,06a
CRA <sup>1</sup>	74,87±0,73bc	64,87±0,75d	76,77±2,43ab	78,83±1,25a	72,05±0,86c
Sinérese <sup>1</sup>	29,08±0,71b	30,65±1,11a	26,61±0,74c	14,50±0,22e	24,57±0,73d

1 – g/100 g; 2 – g ácido láctico/100 g; 3 – g sacarose/100 g; 4 – g glicose/100 g.

Médias com letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade CRA – Capacidade de retenção de água; F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de maltodextrina liofilizada ; F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose).

A atividade da água (a<sub>w</sub>) afeta a segurança microbiológica e a vida útil de produtos alimentícios. Observa-se comportamento da a<sub>w</sub> semelhante ao do teor de água, com os menores valores nos iogurtes com adição da polpa mista em pó (F3, F4 e F5) diferindo significativamente dos iogurtes F1 e F2. Os valores de atividade da água de iogurtes enriquecidos com pós de tomate (*Lycopersicon esculentum*) (0,953 a 0,967) também decaíram em relação ao iogurte controle (DEMIRCI et al., 2020).

A acidez total titulável dos iogurtes apresentou comportamento inverso ao do pH, aumentando significativamente com acréscimo da polpa mista em pó (F3, F4 e F5) comparada com F1 e F2. O teor mais alto da acidez foi do iogurte F5, estando fora da faixa de 0,6 a 1,5% estabelecida na legislação (BRASIL, 2007).

A acidificação causa várias mudanças no iogurte, como dissolve gradualmente o cálcio e o fosfato inorgânico e diminui a carga elétrica líquida negativa das micelas da

caseína, o que enfraquece a estabilidade coloidal (DÖNMEZ; MOGOL; GÖKMEN, 2017). Magalhães e Torre (2018) analisaram diferentes marcas de iogurte grego comercializadas no Sul do Estado de Minas Gerais, encontrando valores para acidez entre 1,07 e 1,37 g/100 g, que se assemelham aos iogurtes F2 e F4.

O pH é um parâmetro importante na formação de gel de iogurte, pois afeta a solubilidade de minerais como cálcio e fósforo (UDUWERELLA; CHANDRAPALA; VASILJEVIC, 2017). A natureza física do fosfato de cálcio coloidal muda em níveis mais baixos de pH e desempenha um papel importante na formação da estrutura do iogurte, pois grande parte desses sais de cálcio passam a estar não dissociados na fase aquosa (PEREIRA et al., 2018).

Com relação ao pH, observa-se que houve diferença significativa entre os iogurtes. Os resultados mostram que a adição de 10% de pó diminuiu significativamente o pH dos iogurtes. Comportamento semelhante foi verificado por Wang, Kristo e LaPointe (2020) em que a adição de 2 e 3% de bagaço de maçã liofilizado reduziu o pH dos iogurtes.

Os valores de pH enquadraram-se na faixa estabelecida pela legislação brasileira para iogurtes, que é entre 3,6 e 4,5 (BRASIL, 2007). Os iogurtes por terem apresentado valores de pH inferiores a 4,5 podem ser consideradas como alimento ácido, o que contribui para sua conservação. Oliveira et al. (2019) avaliaram duas formulações de iogurte tipo *sundae* sabor jabuticaba encontrando pH de 4,28 e 4,50.

Com relação ao pH, observa-se que houve diferença significativa entre os iogurtes. Os resultados mostram que a adição da polpa mista em pó diminuiu significativamente o pH dos iogurtes comparado as demais formulações. Comportamento semelhante foi verificado por Wang; Kristo; LaPointe (2020) em que a adição de 2 e 3% de bagaço de maçã liofilizado reduziu o pH dos iogurtes. Mendes et al. (2019) também verificaram que a incorporação de xarope de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) e de extrato de caju ao iogurte proporcionou o aumento dos açúcares totais e redutores em relação ao iogurte controle.

Os iogurtes que utilizaram polpa mista em pó (F3, F4 e F5) apresentaram médias para as cinzas superiores ( $p < 0,05$ ) em relação àqueles que usaram polpa mista integral (F2) e o iogurte controle (F1). Este comportamento ocorreu em razão de que os processos de secagem concentram os constituintes das amostras, mesmo a polpa mista em pó ter sido utilizada em concentração 50% inferior ao da polpa mista integral. Os valores de cinzas encontrados nos iogurtes foram inferiores ao verificado por Carvalho et al. (2020) em iogurte contendo microcápsulas de jambolão, produzidas pelo método de gelificação iônica, com

teor de 1,7%; mas superiores ao relatado por Almeida et al. (2018) em iogurtes com diferentes formulações contendo curcumina em pó (0,76-0,81 g/100 g) cinzas.

Os iogurtes com adição dos pós (F3, F4 e F5) apresentaram teores de lipídeos significativamente inferiores ao do iogurte controle (F1), mas com altos teores de gordura, acima do limite estabelecido (3,0 a 5,9% - leite fermentado integral) pela legislação em vigor (BRASIL, 2007).

O menor teor de lipídeos foi do iogurte F2, adicionado da polpa mista integral e em uma concentração maior que os adicionados da polpa mista em pó, aliado também a menor capacidade de retenção de água (CRA) e teor de proteínas. O teor reduzido de lipídeos e proteínas de F2 pode causar a separação do soro devido à estrutura fraca, diminuindo a CRA, uma vez que os lipídeos aumentam a CRA, que pode melhorar a interação das membranas de caseína e glóbulos gordurosos. Além disso, Akgun, Yazici e Gulec (2016) relataram que a diminuição do pH e o maior teor de lipídeos causam o equilíbrio iônico da matriz de gel, o que pode manter a formação estável de gel.

O nível de lipídeos é importante para manter a espessura, textura, consistência e a sensação cremosa dos iogurtes (DESAI; SHEPARD; DRAKE, 2013) e, portanto, um importante indicador dos atributos sensoriais do iogurte. Valores semelhantes de lipídeos foram reportados por Bezerra et al. (2019), ao avaliarem iogurtes grego naturais (5,75 a 7,45 g/100 g) elaborados com diferentes concentrações de sacarose.

O teor de proteína dos diferentes iogurtes variou de 4,76 a 6,84 g/100 g, estando dentro do valor estabelecido pela legislação brasileira que é de um mínimo de 2,9% (BRASIL, 2007). O maior teor de proteínas foi verificado no iogurte F5, que continha em sua formulação a polpa mista em pó da secagem em camada de espuma com albumina que é uma proteína, seguido do iogurte controle (F1). A etapa de dessoragem no processamento dos iogurtes concentrados contribui para obtenção de maiores teores de proteínas do que em iogurtes tradicionais. Uduwerella, Chandrapala e Vasiljevic (2017) avaliaram a viabilidade da aplicação de ultrafiltração para concentrar iogurtes, produzindo produtos com alto teor de proteínas (9,9-10,2 g/100 g) e baixa sinérese.

O comportamento do teor de proteínas dos iogurtes foi consistente com o relatado por Yadav et al. (2017), em que a adição do extrato de semente de uva diminuiu o teor de proteínas, enquanto que a incorporação do extrato de semente de uva encapsulado com soro de leite e goma arábica elevou a concentração proteica do iogurte. Valores semelhantes foram relatados por Alirezalu et al. (2019) ao analisarem o conteúdo de proteínas e lipídeos

em iogurtes concentrados Tuluq e Torba verificando valores de 5 e 6 g/100 g para proteínas e de 6 e 7 g/100 g para os lipídeos, respectivamente.

A capacidade de retenção de água (CRA) do iogurte é a capacidade de reter toda ou parte de sua própria água. A adição de polpa mista integral no iogurte F2 diminuiu ( $p < 0,05$ ) a CRA em relação ao iogurte controle (F1), enquanto nos iogurtes com adição da polpa mista em pó a CRA permaneceu estatisticamente igual (F3 e F5) ou superior (F4) a F1. O iogurte F4 que continha o pó da polpa mista com maltodextrina apresentou o maior teor de CRA entre as formulações, que por sua constatou-se menor teor de água.

Vianna et al. (2019) relataram que o maior teor de sólidos totais, lipídios e proteínas reflete na maior CRA e menor sinérese, conseqüentemente, o iogurte exibe uma microestrutura mais compacta e uma matriz homogênea com menos poros. Diante desse argumento, evidencia-se a importância da etapa de dessoragem na estabilidade da matriz coloidal. Sendo assim, a menor CRA detectada no iogurte F2 pode estar associada ao baixo conteúdo de proteínas e sólidos totais na formulação. Dai, Corke e Shan (2016) relataram que a maior CRA leva a menor separação do soro do leite do iogurte. A adição da polpa mista em pó resultou em uma estrutura com partículas menores no gel de iogurte, permitindo que a água ficasse retida e tornando o gel mais firme. O comportamento do iogurte F2 foi consistente com o verificado por Feng et al. (2018), em que a adição de polpa de jujuba, no qual diminuiu a CRA do iogurte de leite cabra (45%), afetada principalmente pelo baixo teor de sólidos e proteínas da polpa.

A separação de fases em iogurtes é medida pela sinérese. A sinérese representa um dos principais defeitos encontrados em iogurtes, sendo importante para a avaliação da qualidade e aceitabilidade desses produtos pelos consumidores. Esse fenômeno é causado pelo desprendimento espontâneo de água do gel, acompanhado de redução de volume (HEYDARI et al., 2018). Observa-se que a sinérese foi influenciada significativamente pela adição da polpa mista integral e da polpa mista em pó. Dentre os iogurtes o F4, apresentou a menor sinérese e o iogurte F2 a maior ( $p < 0,05$ ). A adição da polpa mista em pó acarretou no aumento do teor dos sólidos totais favorecendo a diminuição da sinérese e aumento da CRA. Observou-se também uma relação entre a tendência de diminuição da sinérese com a redução do pH.

A sinérese dos iogurtes foi inferior a 39% que é considerado como o valor máximo satisfatório (APORTELA-PALACIOS et al., 2005). Egea et al. (2019) constataram sinéreses em três marcas de iogurtes comerciais de morango variando entre 39 a 43 g/100 g) avaliadas por Egea et al. (2019). Mudgil et al. (2018) relataram para iogurte suplementado com

gelatina que a redução na sinérese pode ser causada pela imobilização da fase aquosa e por aprimorar a agregação da rede tridimensional de proteínas de caseína. Kim et al. (2019) usaram goma de sementes de manjerição como substituto de gordura em iogurtes obtendo baixos valores de sinérese (15 a 20 g/100 g). Valores de sinérese entre 25,65 e 33,39 g/100 g foram verificados em formulações de iogurtes adicionados de cultura probiótica (*Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis* Bb-12) e prebióticos (frutooligosacarídeo – FOS) (WITSCHINSKI et al., 2018).

Estão representados na Tabela 2, os valores médios e desvios padrão encontrados para as análises de compostos fenólicos totais (CFT), taninos totais, flavonoides e antocianinas dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista integral e em pó.

**Tabela 2** – Composição dos compostos bioativos dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó

Parâmetros	F1	F2	F3	F4	F5
Flavonoides <sup>1</sup>	5,95±0,01e	7,92±0,01d	8,84±0,01a	8,03±0,01b	7,99±0,01c
Antocianinas <sup>2</sup>	0,34±0,00e	5,27±0,04d	24,16±0,05a	18,98±0,06b	6,27±0,04c
Taninos totais <sup>3</sup>	22,79±0,05e	140,35±0,27d	814,22±0,54a	388,76±0,32c	524,47±0,00b
Compostos fenólicos totais <sup>4</sup>	22,13±0,05e	136,15±0,26d	791,86±0,52a	377,97±0,31c	509,57±0,00b

1 –mg/100 g; 2 - mg de equivalente cianidina-3-glicosídeo/100 g; 3 - mg EAT/100 g; 4 - mg EAG/100 g. Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de maltodextrina liofilizada; F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose).

Observa-se que os iogurtes adicionados da polpa mista integral e da polpa mista em pó apresentaram maiores teores dos compostos bioativos em relação ao iogurte controle (F1), indicando que a polpa mista gerou o enriquecimento dos iogurtes concentrados, aumentando seu potencial funcional. O enriquecimento de iogurtes com polpas de frutas ou seus produtos ricos em compostos bioativos pode melhorar os benefícios à saúde do consumidor (JASTER et al., 2018). O processamento inovador de produtos funcionais de iogurte inclui a incorporação de vários componentes bioativos de fontes naturais para melhorar os valores nutricionais, perfil sensorial, características físico-químicas e reológicas, bem como fornecer propriedades terapêuticas (FAZILAH et al., 2018).

Observa-se que os maiores teores dos flavonoides, antocianinas, CFT e taninos ocorreram no iogurte F3 diferindo estatisticamente das demais formulações. Com relação

aos iogurtes F4 e F5, os maiores teores de flavonoides e antocianinas foram do iogurte F4, indicando que provavelmente a temperatura de secagem teve uma maior influência nestes parâmetros. Para os CFT e taninos os maiores valores ( $p < 0,05$ ) foram do iogurte F5 quando comparado com F4, indicando neste caso que a maior influência foi dos adjuvantes. Valores superiores de flavonoides foram determinados por Coentrão et al. (2019) em iogurtes com e sem adição de xarope (polpa de jaboticaba + pó da casca de jaboticaba + açúcar) observando valores de 30,93 e 24,15 mg equivalente quercetina/100 g.

A combinação do jambolão com a acerola proporcionou iogurtes ricos em antocianinas com valores superiores aos obtidos por Jaster et al. (2018), quando adicionaram suco de morango concentrado em duas proporções (15 e 30%) em iogurtes, verificando teores de antocianinas, de 1,86 e 2,99 mg/100 g, respectivamente. Os teores de taninos nos iogurtes com polpa mista foram superiores ao determinado por Arelhano et al. (2019) em frozen yogurt com adição de 9,8% de castanha de baru (*Dipteryx alata* Vog) com teor de 269,87 mg EAT/100 g.

O enriquecimento de iogurtes e outros produtos alimentícios com compostos fenólicos totais de frutas e seus produtos foi também verificado por Pan et al. (2019) para o iogurte adicionado de 1-5% de suco de romã em pó, constatando valores de aproximadamente 35-60  $\mu\text{g/mL}$  nos iogurtes enriquecidos e de aproximadamente 30  $\mu\text{g/mL}$  no iogurte controle (sem pó de romã); por Demirci et al. (2020) em iogurtes enriquecidos com pó de tomate em diferentes concentrações (0,5, 1, 2%) que identificaram o aumento de CFT de 0,50-1492,00 mg EAG/100 g em relação ao iogurte controle (sem tomate) com 0,50 mg EAG/100 g.

De acordo com Rufino et al. (2010), os iogurtes com adição da polpa mista F2 e F4 podem ser classificados quanto ao teor de CFT como de médio teor (100–500 mg EAG/ 100 g), F3 e F5 como de alto teor ( $> 500$  mg EAG/100 g) e o iogurte controle (F1) como de baixo teor ( $< 100$  mg/100 g), indicando que houve o enriquecimento dos iogurtes com a adição da polpa mista integral ou em pó.

Na Tabela 3 encontram-se os valores obtidos para os parâmetros de textura (firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade). Avaliar os parâmetros de textura de iogurtes é importante tanto para a sua caracterização quanto para aceitação pelo consumidor (SECKIN; OZKILINC, 2011).

Observa-se que incorporação dos pós da polpa mista proporcionaram aumento significativo da firmeza, consistência e índice de viscosidade em relação ao iogurte controle (F1), com a maior firmeza, consistência e índice de viscosidade no iogurte F4, que tinha em

sua composição 10% do pó da polpa mista com maltodextrina, seguido dos iogurtes F3 e F5. A adição de 20% da polpa integral no iogurte F2 resultou em redução significativa da firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade em relação a F1, provocado principalmente pela diminuição dos sólidos totais, lipídeos e proteínas. O teor de lipídios, sólidos totais e proteínas do iogurte estão fortemente relacionados à firmeza do mesmo, pelo fato de influenciar na estruturação proteica do gel formado na fermentação (LIMA et al., 2011; NGUYEN et al., 2018).

**Tabela 3** – Parâmetros do perfil de textura dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó

Parâmetros	F1	F2	F3	F4	F5
<b>Firmeza (N)</b>	0,95±0,17c	0,45±0,03d	1,21±0,06b	2,19±0,02a	1,15±0,03b
<b>Consistência (N/s)</b>	16,36±3,69d	7,15±0,44e	22,61±1,83b	39,51±3,19a	19,89±0,23c
<b>Coesividade (N)</b>	2,20±0,92b	1,66±0,24c	2,32±0,31b	3,60±1,82a	1,54±0,11c
<b>Índice de viscosidade (N/s)</b>	2,36±0,59c	0,97±0,23d	2,74±0,43b	3,73±1,41a	2,37±0,13c

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de maltodextrina liofilizada; F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose).

Vieira et al. (2017) observaram comportamento semelhante, verificando perda de firmeza ao aumentarem a proporção de suco de limão (2-8%) em iogurtes com valores entre 0,124-0,136 N. Esses valores são inferiores ao iogurte F2, indicando que mesmo com a adição da polpa mista integral o iogurte pode ser considerado concentrado em razão da sua maior firmeza em relação aos iogurtes tradicionais.

Valores de firmeza próximos aos iogurtes adicionados de polpa mista em pó foram verificados por Barros et al. (2020) em que a firmeza variou de 1,027 a 2,049 N em iogurtes do tipo grego adicionados de diferentes concentrações de amido de milho (15-25%) e de geleia de abóbora (5-15%). A firmeza instrumental é definida como a força necessária para atingir uma dada deformação e no contexto da análise sensorial, representa a força necessária para comprimir o alimento entre os molares na primeira mordida (GARRIDO; LOZANO; GENOVESE, 2015).

Para o parâmetro consistência verificou-se forte relação com a firmeza, ou seja, quanto mais firmes e coesos, os iogurtes se apresentavam conseqüentemente mais consistentes, destacando-se o iogurte F4 que obteve a maior média (39,51 N/s). Wang, Kristo

e LaPointe (2020) verificaram que a adição de 1-3% de bagaço de maçã em pó também alterou a estrutura do iogurte e aumentou sua consistência de 7,66 N/s (controle) para 7,90-15,18 (3%) N/s (iogurtes com bagaço de maçã). Barros et al. (2020) constataram em iogurtes gregos adicionados de amido de milho (15-25%) e de geleia de abóbora (5-15%) valores de consistência de 13,95 a 25,88 N/s.

Observou-se também para a coesividade que o iogurte F4 apresentou o maior valor seguido de F3, mas diferente dos demais parâmetros de textura os iogurtes F2 e F5 apresentaram coesividade inferiores a F1. Esse atributo permite avaliar a resistência do produto ao se dissolver durante a degustação do provador (MANTOVANI et al., 2012).

O índice de viscosidade é um parâmetro de qualidade dos iogurtes e pode ser influenciado pela composição físico-química das amostras, tipo de cultura utilizada, tratamento térmico e métodos de processamento (SUN-WATERHOUSE; ZHOU; WADHWA, 2013).

Nota-se que a CRA dos iogurtes mostrou comportamento alinhado com os parâmetros de textura. De acordo com Fonseca et al. (2014) estes parâmetros de textura podem ser influenciados também por modificações na capacidade de retenção de água do produto, ocasionado pelo aumento da fração de sólidos, e por seu perfil hidrofílico ou hidrofóbico.

Na Tabela 4, encontram-se os resultados das análises microbiológicas dos iogurtes concentrados com adição de polpa mista de jambolão e acerola.

**Tabela 4** – Resultados das análises microbiológicas dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó

Parâmetros	F1	F2	F3	F4	F5
<b>Coliformes totais (NMP/g)<sup>1</sup></b>	<3	<3	<3	2,3x10 <sup>-1</sup>	2,3x10 <sup>-1</sup>
<b>Coliformes termotolerante (NMP/g)<sup>1</sup></b>	<3	<3	<3	<3	<3
<b>Bolores e leveduras (UFC/g)<sup>2</sup></b>	<1,0x10 (Est.)	<1,0x10 (Est.)	<1,0x10 (Est.)	1,0x10 <sup>1</sup>	1,0x10 <sup>1</sup>
<b>Salmonella spp.<sup>3</sup></b>	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

1 – (número mais provável/g); 2 – (unidades formadoras de colônias/g); 3 – Ausência ou presença em 25 g de iogurte. Est. – Estimativa. F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de maltodextrina liofilizada; F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose).



Os iogurtes foram submetidos às análises microbiológicas, nas quais foram observadas ausência ou a contagem encontrava-se dentro das especificações estipuladas pela legislação vigente. Este resultado evidenciou que as diferentes formulações foram processadas em condições higiênico-sanitárias adequadas e todas se encontravam aptas para o consumo no momento da análise sensorial.

De acordo com a RDC nº 331, o iogurte tem que ter ausência de *Salmonella* spp. em 25 mL de amostra (BRASIL, 2019) e a Instrução normativa nº 46 preconiza o valor máximo de 100 NMP de coliformes totais/g de iogurte, 10 NMP de coliformes termotolerantes/g de iogurte e 200 UFC de bolores e leveduras/g de iogurte (BRASIL, 2007).

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios referentes à análise sensorial realizada nos iogurtes adicionados de polpa mista integral e em pó em relação aos atributos sensoriais: aparência, odor, sabor, textura, cor e impressão global.

**Tabela 5** – Valores médios dos parâmetros avaliados na análise sensorial dos iogurtes concentrados adicionados de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó

Parâmetros	F1	F2	F3	F4	F5
<b>Aparência</b>	8,29±0,84a	7,31±1,27b	7,03±1,30b	7,41±0,98b	5,99±1,65c
<b>Odor</b>	7,65±1,25a	6,76±1,40bc	6,35±1,39cd	6,87±1,20b	6,02±1,64d
<b>Sabor</b>	8,54±0,73a	6,37±1,63b	5,37±1,88c	6,50±1,58b	5,32±1,88c
<b>Textura</b>	8,56±0,61a	7,13±1,37b	6,98±1,62b	7,25±1,38b	5,94±1,87c
<b>Cor</b>	8,38±0,93a	7,64±1,22b	7,26±1,42b	7,45±1,11b	5,86±1,85c
<b>Impressão Global</b>	8,52±0,62a	6,98±1,29b	6,20±1,46c	6,74±1,28b	5,54±1,68d

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F1 – Iogurte controle (sem adição de polpa mista); F2 – Iogurte adicionado de 20% de polpa mista integral; F3 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista liofilizada (sem aditivos); F4 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista com 10% de maltodextrina liofilizada; F5 – Iogurte adicionado de 10% de pó da polpa mista da secagem em camada de espuma (1% de albumina e 0,5% de carboximetilcelulose).

A análise sensorial foi realizada com 110 julgadores não treinados, no qual, 56,36% eram do gênero feminino e 39,09% do gênero masculino, com frequência de idade entre 15 e 68 anos. Os julgadores apresentaram grau de escolaridade cursando o ensino médio 59,09%, o ensino superior 31,82% e possuíam pós-graduação 4,55%. Com relação à frequência de consumo de iogurte pelos julgadores, obteve-se o seguinte resultado: 2,73% - diariamente; 16,36% - pelo menos uma vez por semana; 31,82% - de duas a três vezes por semana; 44,54% - de uma a duas vezes por mês; e 4,54% não responderam.

Observa-se que houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) para os atributos avaliados entre os iogurtes o que mostra que a utilização da polpa mista de jambolão e acerola adicionada na forma integral e em pó aos iogurtes influenciou na avaliação dos julgadores.

Pode-se observar de modo geral com relação à aceitação que os iogurtes com polpa mista obtiveram notas entre 5,32 e 7,64, estando na escala entre nem gostei/nem desgostei e gostei moderadamente, apresentando desse modo uma boa aceitação sensorial, com notas superiores ou iguais a cinco.

Observa-se que para os atributos aparência, textura e cor dos iogurtes F2, F3 e F4 não houve diferenças estatísticas entre as médias ( $p > 0,05$ ), assim segundo os julgadores para esses atributos as amostras de iogurte F3 e F4 que foram adicionadas da polpa mista em pó liofilizada sem e com maltodextrina, respectivamente, não relataram diferença em relação à amostra F2 que foi adicionada da polpa integral.

A textura é um atributo de extrema importância em iogurtes, neste atributo as amostras F2, F3 e F4 não diferiram estatisticamente ( $p > 0,05$ ) entre si, mas diferiram das demais formulações F1 e F5. Pode-se observar que para esse atributo as formulações, exceto a F5, adicionadas da polpa mista seja integral ou em pó não apresentaram diferença para os julgadores mostrando que a utilização da polpa em pó não afetou e/ou desagradou em termos de textura o produto.

Os iogurtes F2, F3 e F4 não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre si em relação à cor, assim, afirma-se que visualmente os iogurtes adicionados dos pós da polpa mista liofilizada apresentam-se semelhantes ao iogurte adicionado da polpa integral, indicando que a liofilização do ponto de vista sensorial não alterou a cor da polpa integral.

Com relação ao atributo odor houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre as médias, apresentando odor característico tanto da polpa mista integral quanto da polpa mista em pó foi percebido em todas as amostras pelos julgadores em relação ao iogurte controle (F1), verificando-se que mesmo em menor concentração foi suficiente para promover mudança no odor. Dieb et al. (2015) avaliaram iogurtes adicionados de 7% de polpa de graviola em pó obtido pelo método de secagem em camada de espuma, relatando que a menor média obtida em sua análise sensorial foi para o atributo odor (6,4) e a maior média foi atribuída para o atributo textura (7,5), obtendo boa aceitação pelos julgadores.

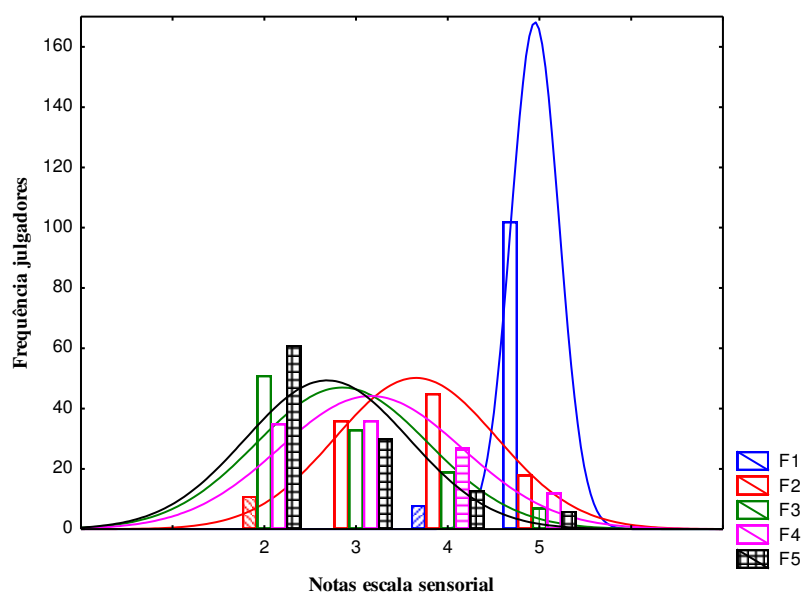
Para o atributo sabor verificou-se que o iogurte controle (F1) obteve os maiores escores seguido das amostras F2 e F4, e dos iogurtes F3 e F5. A equivalência entre F2 e F4 provavelmente se deve de acordo com Ribeiro et al. (2016) em que a utilização de adjuvantes como a maltodextrina no processo de liofilização de polpas de frutas garante a obtenção de

um pó com alta solubilidade. Adicionados com polpa mista em pó liofilizada sem utilização de aditivos e polpa mista em pó seca por camada de espuma, respectivamente, obtiveram os menores escores. As notas mais baixas dadas pelos julgadores às formulações F3 e F5 provavelmente ocorreram pelo fato da menor solubilidade da polpa mista em pó no iogurte, deixando o mesmo com aspecto e sensação arenosa e com isso propiciando uma sensação menos satisfatória do que em relação às demais formulações. Tal característica, possivelmente, também se deve a forma manual que os pós foram introduzidos nos iogurtes não oferecendo uma boa dispersão dos mesmos, bem como as características inerentes as polpas, aos adjuvantes e aos processos utilizados na obtenção dos pós.

Senadeera et al. (2018) observaram que, exceto para o atributo textura no qual o iogurte controle obteve o maior escore, para os demais atributos avaliados os maiores escores foram para os iogurtes adicionados de polpas de frutas, devido a presença dos açúcares naturais das polpas de frutas que agradou aos julgadores.

Seguindo o comportamento da maioria dos atributos, a impressão global, tida como uma avaliação geral dos atributos estudados, verificou-se que o iogurte F1 teve os maiores escores, seguido das amostras F2 e F4 e sem diferença significativa, F3 e F5 ( $p < 0,05$ ).

A intenção de compra avalia a intenção dos julgadores em adquirir o produto que está sendo avaliado, caso o mesmo estivesse disponível no comércio. A Figura 1 ilustra os resultados para a intenção de compra das amostras de iogurte, com a distribuição de frequência das notas de acordo com a escala utilizada para avaliação.

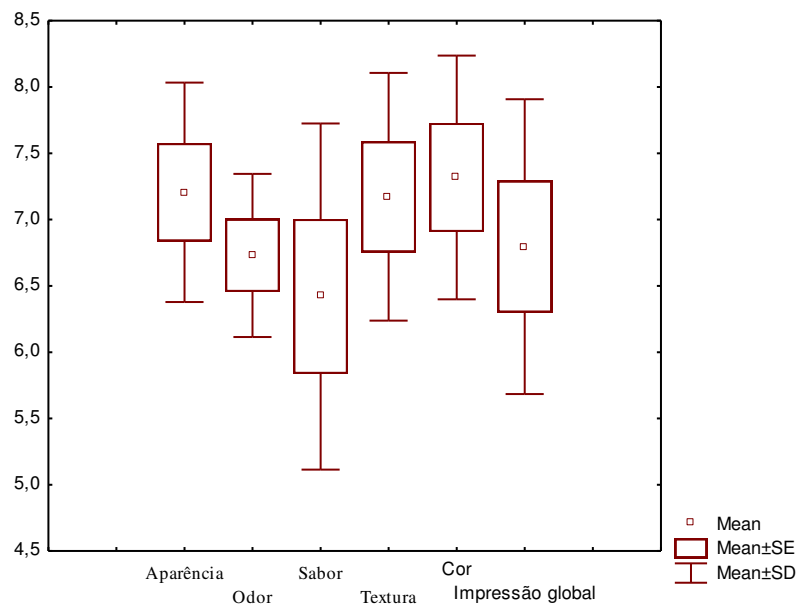


**Figura 1** – Histograma de frequência para intenção de compras

Observa-se que a amostra F1 obteve a maior concentração de notas 5, correspondente a “certamente compraria”, seguida das amostras F2, F4, F3 e F5. Para a nota 4, correspondente a “provavelmente compraria” a maior concentração de notas esteve para as formulações F2 e F4. As amostras F3 e F5 obtiveram a maior concentração de notas 2 correspondente a “provavelmente não compraria”. Com isso, observa-se que está condizente ao que foi observado na avaliação dos atributos sensoriais os iogurtes F1, F2 e F4 destacam-se dentre as demais formulações e caso sejam comercializados seriam bem aceitos pelo público uma vez que detiveram a melhor intenção de compras pelos julgadores.

Ranadheera et al. (2012) relataram que a adição de polpa de frutas integral ao iogurte pode levar a uma maior aceitabilidade do consumidor, o que também foi verificado por Şengül et al. (2012) que observaram maior aceitabilidade para o iogurte que continha polpa de fruta integral.

Para analisar a distribuição dos dados sensoriais, foi obtido o gráfico Box plot que pode ser observado na Figura 2.

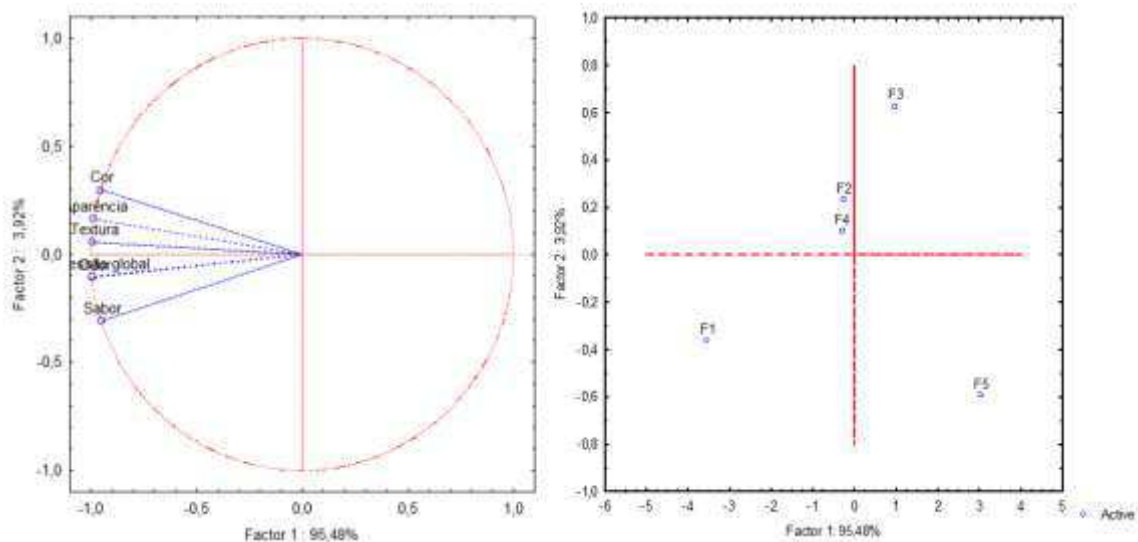


**Figura 2** – Gráfico box plot para os atributos analisados na análise sensorial Mean = média; Mean±SE = média±erro padrão; Mean±SD = média±desvio padrão

Verifica-se algumas informações a respeito do centro dos dados em relação à média ou mediana e a amplitude dos dados para os valores máximo e mínimo. Através da média e do desvio padrão verifica-se a variabilidade dos dados em torno da média. E com a média e o erro padrão, verifica-se o intervalo de confiança. O atributo sabor obteve a menor média e

o atributo cor foi o que obteve a maior média entre as amostras analisadas. Com relação à variabilidade das notas, os atributos sabor e impressão global apresentaram maiores variabilidades e, conseqüentemente, maiores valores de desvio padrão. O atributo odor obteve menor variabilidade e menores valores para o desvio padrão.

Na Figura 3 observa-se o gráfico da Análise de Componentes Principais (ACP), cada amostra de iogurte é representada por um ponto, em que o mesmo representa o valor médio atribuído pela equipe sensorial. Amostras que apresentam similaridade ocupam regiões próximas no gráfico e são caracterizadas pelos vetores (atributos) que se apresentam mais próximos a elas. Observa-se que as formulações apresentam características sensoriais distintas, pois se encontram situadas em quadrantes diferentes, exceto as formulações F2 e F4 que estavam no mesmo quadrante.



**Figura 3** – Bidimensional da Análise de Componentes Principais (ACP) dos atributos sensoriais das amostras de iogurte concentrado

A maior parte das variações que ocorreram entre as amostras foi explicada pelo Componente Principal 1 (95,48%), no entanto quando avaliada e associada ao Componente Principal 2 observou-se que os dois componentes explicaram 99,4% das informações contidas nos valores médios das sensoriais, isto significa que a variabilidade entre as formulações pode ser praticamente explicada utilizando esses dois eixos. Observa-se que a formulação F2 e F4 foram discriminadas das demais formulações quanto à aparência, textura e cor enquanto a formulação F1 (controle) foi discriminada pelo sabor e impressão global. Não foi exposta por nenhum dos atributos sensoriais, a formulação F3 e F5, estas se encontram distantes dos atributos no espaço vetorial e em quadrantes opostos, indicando

uma correlação negativa em relação aos atributos sensoriais. Apesar de não serem discriminadas por nenhum atributo sensorial, as formulações F3 e F5 obtiveram uma boa aceitação sensorial, no entanto, apresentaram menores escores em todos os atributos avaliados não sendo as formulações preferidas dos julgadores.

#### 4 Conclusões

A adição de polpa mista de jambolão e acerola integral e em pó ao iogurte concentrado alterou significativamente os parâmetros físicos, físico-químicos e compostos bioativos. Os iogurtes com adição dos pós da polpa mista tiveram redução da atividade de água, teor de água e sinérese, bem como, aumento da acidez, açúcares totais e cinzas. Recomenda-se a incorporação da polpa mista integral e em pó ao iogurte concentrado para aumentar o teor de compostos fenólicos totais, flavonoides e antocianinas, principalmente nas amostras com polpa mista em pó. O perfil de textura demonstrou que o iogurte F4 apresentou os maiores valores de firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade. Na avaliação sensorial todos os iogurtes testados tiveram notas iguais ou superiores a cinco indicando boa aceitação sensorial, com destaque para os iogurtes F2 e F4; que também tiveram a melhor intenção de compra. Pode-se concluir que a adição da polpa de jambolão e acerola integral e na forma de pó, de dois processos de secagem, possui potencial para utilização na elaboração de iogurtes concentrados, comprovando boa alternativa para a indústria de gelados comestíveis.

#### 5 Referências bibliográficas

- AKGUN, A., YAZICI, F GULEC, H. A. Effect of reduced fat content on the physicochemical and microbiological properties of buffalo milk yoghurt. **LWT – Food Science and Technology**, v. 74, p. 521-527, 2016.
- ALIREZALU, K.; INÁCIO, R. S.; HESARI, J.; REMIZE, F.; NEMATI, Z.; SARAIVA, J. A.; BARBA, F. J.; SANT’ANA, A. S.; LORENZO, J. M. Nutritional, chemical, syneresis, sensory properties, and shelf life of Iranian traditional yoghurts during storage. **LWT-Food Science and Technology**, v. 114, 108417, 2019.
- ALMEIDA, H. H. S.; BARROS, L.; BARREIRA, J. C. M.; CALHELHA, R. C.; HELENO, S. A.; SAYER, C.; MIRANDA, C. G.; LEIMANN, F. V.; BARREIRO, M. F.; FERREIRA, I. C. F. R. Bioactive evaluation and application of different formulations of the natural

colorant curcumin (E100) in a hydrophilic matrix (yogurt). **Food Chemistry**, v. 261, p. 224-232, 2018.

ANTUNES, A. R.; FARINÃ, L. O.; KOTTWITZ, L. B. M.; PASSOTTO, J. A. Desenvolvimento e caracterização química e sensorial de iogurte semidesnatado adicionado de concentrado proteico de soro. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 70, n. 1, p. 44-54, 2015.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 20th ed, Washington: AOAC, 2016. 3100 p.

APORTELA-PALACIOS, A.; SOSA-MORALES, M. E.; VÉLEZ-RUIZ, J. F. Rheological and physicochemical behavior of fortified yogurt, with fiber and calcium. **Journal of Texture Studies**, v. 36, n. 3, p. 333-349, 2005.

APHA - American Public Health Association. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington DC. 2001. 687 p.

ARELHANO, L. E.; CANDIDO, C. J.; GUIMARÃES, R. C. A.; PRATES, M. F. O. Caracterização nutritiva, bioativas e sensorial de frozen yogurt adicionado de castanhas de baru. **Interações**, v. 20, n. 1, p. 257-265, 2019.

BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; MONTEIRO, S. S.; MELO, M. O. P.; SILVA, V. M. A.; GOMES, J. P. Influência da adição de geleia de abóbora e amido de milho nas características físico-químicas e texturais de iogurte grego. **Revista Principia**, v. 1, n. 48, p. 128-138, 2020.

BEZERRA, M.; ARAUJO, A.; SANTOS, K.; CORREIA, R. Caprine frozen yoghurt produced with fresh and spray dried jambolan fruit pulp (*Eugenia jambolana* Lam) and *Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis* BI-07. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, n. 2, p. 1099-1104, 2015.

BEZERRA, K. C. A.; OLIVEIRA, E. N. A.; FEITOSA, B. F.; FEITOSA, R. M.; MATIAS, J. K. S. Perfil físico-químico e sensorial de iogurtes gregos naturais elaborados com diferentes concentrações de sacarose. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 89-97, 2019.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007**. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leites fermentados. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 24 de outubro de 2007, Seção 1.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019**. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília (DF), 23 de dezembro de 2019.
- BONATTO, F.; CANTERI, M. H. G. Caracterização do iogurte concentrado “tipo labneh”. **Revista Stricto Sensu**, v. 2, n. 1, p. 11-22, 2017.
- CARVALHO, C.; PAGANI, A.; TELES, A.; SANTOS, J.; PACHECO, T.; COMBUCA JUNIOR, R.; POZZA, M. Jamelão capsules containing bioactive compounds and its application in yoghurt. **Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria**, v. 19, n. 1, p. 47-56, 2020.
- COELHO, B. E. S.; SOUSA, K. S. M.; SILVA, C. N.; SANTANA, M. S.; MUDO, L. E. D.; ALVES, D. C. Desenvolvimento de sorvete a base de leite saborizado com polpa da romã ‘wonderful’. **Nucleus**, v. 16, n. 1, p. 215-224, 2019.
- COENTRÃO, C. A. M.; MÁRSICO, E. T.; FRASÃO, B. S.; RIBEIRO, R. O. R.; GARCIA, L. G. C.; SILVA, F. A.; CRUZ, A. G.; SIMÕES, J. S.; SILVA, A. C. O. Jaboticaba yoghurts enriched with whey protein or albumin: evaluation of phenolic content and color. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 26, n. 4, p. 158-164, 2019.
- COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PALLET, J. P. D.; MONTE, D. C. Quantificação do teor de antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações de açazeiro. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2006. 15 p.
- COSTA, M. F.; PIMENTEL, T. C.; GUIMARAES, J. T.; BALTHAZAR, C. F.; ROCHA, R. S.; CAVALCANTI, R. N.; ESMERINOC, E. A.; FREITAS, M. Q.; RAICESA, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. **LWT-Food Science and Technology**, v. 105, p. 371-376, 2019.
- DAI, S.; CORKE, H.; SHAH, N. P. Utilization of konjac glucomannan as a fat replacer in low-fat and skimmed yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7063–7074, 2016.
- DELIKANLI, B.; T. OZCAN. Effects of various whey proteins on the physicochemical and textural properties of set type nonfat yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, v. 67, n. 4, p. 495-503, 2014.
- DEMIRCI, T.; SERT, D.; AKTAŞ, K.; ATIK, D. S.; NEGIŞ, H. İ. O.; AKIN, N. Influence of hot and cold break tomato powders on survival of probiotic *L. paracasei* subsp. *Paracasei* F19, texture profile and antioxidative activity in set-type yoghurts. **LWT-Food Science and Technology**, v. 118, 108855, 2020.



- DESAI, N.T.; SHEPARD, L. E.; DRAKE, M. A. Sensory properties and drivers of liking for Greek yogurts. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 12, p. 7454-7466, 2013.
- DIEB, J. T.; GURGEL, C. M.; DANTAS, T. P.; MEDEIROS, M. F. D. Secagem da polpa de graviola pelo processo foam-mat e avaliação sensorial do produto obtido. **Tecnologia e informação**, v. 2 n. 2, p. 1-9, 2015.
- DÖNMEZ, Ö.; MOGOL, B. A.; GÖKMEN, V. Syneresis and rheological behaviors of set yogurt containing green tea and green coffee powders. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 2, p. 901-907, 2017.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4 ed. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 2013. 531 p.
- EGEA, M. B.; GOMES, A. C. G.; LIMA, M. S.; TAKEUCHI, K. P. Relação entre as características físico-químicas e reológicas e o valor comercial de iogurte integral com sabor morango. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 26, p. 1-11, e019003, 2019.
- FAZILAH, N. F.; ARIFF, A. B.; KHAYAT, M. E.; RIOS-SOLIS, L.; HALIM, M. Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. **Journal of Functional Foods**, v. 48, p. 387-399, 2018.
- FENG, C.; WANG, B.; ZHAO, A.; WEI, L.; SHAO, Y.; WANG, Y.; CAO, B.; ZHANG, F. Quality characteristics and antioxidante activities of goat milk yogurt with added jujube pulp. **Food Chemistry**, v. 277, p. 238-245, 2018.
- FONSECA, C. M.; BOARI, C. A.; DOMINGUES, P. H. F.; MEIRA, D. P.; FERNANDES, L. S. F.; DUMONT, M. A. Iogurte produzido com cajuí (*Anacardium othonianum* Rizz). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1829-1836, 2014.
- FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982, p. 181-207.
- GARRIDO, J. I.; LOZANO, J. E.; GENOVESE, D. B. Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. **Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 325-332, 2015.
- GAUCHE, C.; TOMAZI, T.; BARRETO, P. L. M.; OGLIARI, P. J.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 239-243, 2009.
- HARTE, F.; LUEDECKE, L.; SWANSON, B.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Low fat set yogurt made from milk subjected to combinations of high hydrostatic pressure and 265ngred processing. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 4, p. 1074-1082, 2003.

- HEYDARI, S.; AMIRI-RIGI, A.; EHSANI, M. Z.; MOHAMMADIFAR, M. A.; KHORSHIDIAN, N.; KOUSHK, M. Z.; MORTAVIAN, A. M. Rheological behaviour, sensory properties and syneresis of probiotic yoghurt supplemented with various prebiotics. **International Journal of Dairy Technology**, v. 71, n. 1, p. 175-184, 2018.
- JASTER, H.; ARENDA, G. D.; REZZADORI, K.; CHAVES, V. C.; REGINATTO, F. H.; PETRUS, J. C. C. Enhancement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with concentrated strawberry pulp obtained by block freeze concentration. **Food Research International**, v. 104, p. 119-125, 2018.
- JØRGENSEN, C. E.; ABRAHAMSEN, R. K.; RUKKE, E.-O.; HOFFMANN, T. K.; JOHANSEN, A.-G.; SKEIE, S. B. Processing of high-protein yoghurt: A review. **International Dairy Journal**, v. 88, p. 42-59, 2018.
- KIM, S. Y.; HYEONBIN, O.; LEE, P.; KIM, Y. S. The quality characteristics, antioxidant activity, and sensory evaluation of reduced-fat yogurt and nonfat yogurt supplemented with basil seed gum as a fat substitute. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 2, p. 1324-1336, 2019.
- KÖRZENDÖRFER, A.; HINRICHS, J. Manufacture of high-protein yoghurt without generating acid whey: impact of the final pH and the application of power ultrasound on texture properties. **International Dairy Journal**, v. 99, 104541, 2019.
- LIMA, S. C. G.; OLIVEIRA, P. D.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B.; RODRIGUES, L. S.; NERES, L. S. Efeito da adição de diferentes sólidos na textura, sinérese e característica sensorial de iogurte firme. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 66, n. 383, p. 32-39, 2011.
- MAESTRI, B.; HERERRA, L.; SILVA, N. K.; RIBEIRO, D. H. B.; CHAVES, A. C. S. D. Avaliação do impacto da adição de inulina e de maçã em leite fermentado probiótico concentrado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 1, p. 58-66, 2014.
- MAGALHÃES, A. U.; TORRE, A. C. G. D. Composição química e análise sensorial do iogurte grego comercializado no sul do estado de Minas Gerais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 73, n. 1, p. 10-18, 2018.
- MANTOVANI, D.; CORAZZA, M. L.; FILHO, L. C.; COSTA, S. C. Elaboração de iogurte com diferentes concentrações de sólidos totais, análise físico-química e perfil da textura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 6, n. 1, p. 680-687, 2012.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**. London: CRP Press, 1991, 287 p.

- MENDES, A. H. L.; DIONÍSIO, A. P.; MOUTA, C. F. H.; ABREU, F. A. P.; PINTO, C. O.; GARRUTI, D. S.; ARAÚJO, I. M. Sensory acceptance and characterization of yoghurt supplemented with yacon syrup and cashew apple extract as a source of bioactive compounds. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018153, 2019.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOHAMED, A. G.; EL-SAYED, H. S.; MEHANNA, N. S.; EL-SHIBINY, S. Extending the shelf-life of labneh by use of Papaya seeds extract. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v. 7, n. 5, p. 2050-2058, 2016.
- MUDGIL, P.; JUMAH, B.; AHMAD, M.; HAMED, F.; MAQSOOD, S. Rheological, micro-structural and sensorial properties of camel milk yogurt as influenced by gelatin. **LWT – Food Science and Technology**, v. 98, p. 646-653, 2018.
- NGUYEN, H. T. H.; AFSAR, S.; DAY, L. Differences in the microstructure and rheological properties of low-fat yoghurts from goat, sheep and cow milk. **Food Research International**, v. 108, p. 423-429, 2018.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.
- OLIVEIRA, C. D.; PAULO, F. J.; OLIVEIRA, J. C. C.; FERREIRA, B. A.; RIBEIRO, B. P.; FAGUNDES, K. R. M.; CLAUDINO, T. O. Caracterização físico-química do iogurte tipo sundae sabor jabuticaba. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 6, p. 5091-5097, 2019.
- OLIVEIRA, J. F.; GARCIA, L. N. H.; PASTORE, V. A. A.; RAGHIANTE, F.; POSSEBON, F. S.; PINTO, J. P. A. N.; MARTINS, O. A. Qualidade de iogurtes de coco e morango. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 11, n. 4, p. 416-425, 2017.
- PAN, L. H.; LIU, F.; LUO, S. Z.; LUO, J. Pomegranate juice powder as sugar replacer enhanced quality and function of set yogurts: structure, rheological property, antioxidant activity and *in vitro* bioaccessibility. **LWT – Food Science and Technology**, v. 115, 108479, 2019.
- PEREIRA, J. P. F.; CAMPOS, N. S.; OLIVEIRA, A. M. F.; SOUSA, R. A.; PAULA, J. C. J.; SILVA, P. F. F. Determinação da composição, partição e bioacessibilidade de cálcio em queijos minas padrão comerciais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 73, n. 4, p. 226-234, 2018.

- PEREIRA, P. A. P.; FAGUNDES, B. M.; DIVINO, V. B.; DIAS, J. G.; GANDRA, K. M. B.; CUNHA, L. R. Desenvolvimento e avaliação de iogurte concentrado salgado adicionado de especiarias. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 5, n. 2, p. 66-84, 2018.
- PORTER, L. H.; HRSTICH, L. N.; CHAN, B. C. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, n. 1, p. 223-230, 1986.
- RAMOS, G. D.; DIAS, S. L. S.; FERREIRA, I. M.; SILVA, A. M. O.; CARVALHO, M. G. Vida de prateleira de iogurte de cajá com *Bacillus clausii*: avaliação química, físico-química e microbiológica. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 13, n. 4, p. 424-439, 2019.
- RANADHEERA, C. S.; EVANS, C. A.; ADAMS, M. C.; BAINES, S. K. Probiotic viability and physico-chemical and sensory properties of plain and stirred fruit yogurts made from goat's milk. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1411-1418, 2012.
- RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269-274, 2016.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.
- SANTOS LUZ, S. R.; ALVES, M. S.; ARAÚJO, M. C.; JORGE, M. B.; SOUSA, N. L.; COIMBRA, L. M. P. L. Elaboração e análise sensorial de iogurte sabor sapoti (*Manilkara zapota* L.). **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 1-7, 2019.
- SECKIN, A. K.; OZKILINE, A. Y. Effect of some prebiotics usage on quality properties of concentrated yoghurt. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 10, n. 9, p. 1117-1123, 2011.
- SENADEERA, S. S.; PRASANNA, P. H. P.; JAYAWARDANA, N. W. I. A.; GUNASEKARA, D. C. S.; SENADEERA, P.; CHANDRASEKARA, A. Antioxidant, physicochemical, microbiological, and sensory properties of probiotic yoghurt incorporated with various *Annona* species pulp. **Heliyon**, v. 4, n. 1, p. 1-18, 2018.
- ŞENGÜL, M.; ERKAYA, T.; ŞENGÜL, M.; YILDIZ, H. The effect of adding sourcherry pulp into yoghurt on the physicochemical properties, phenolic content and antioxidant activity during storage. **International Journal of Dairy Technology**, v. 65, n. 3, p. 429-436, 2012.
- SERT, D.; MERCAN, E.; DERTLI, E. Characterization of lactic acid bacteria from yogurt-like product fermented with pine cone and determination of their role on physicochemical,

- textural and microbiological properties of product. **LWT-Food Science and Technology**, v. 78, p. 70-76, 2017.
- SHORI, A. B.; RASHID, F.; BABA, A. S. Effect of the addition of phytomix-3+ mangosteen on antioxidant activity, viability of lactic acid bacteria, type 2 diabetes key-enzymes, and sensory evaluation of yogurt. **LWT-Food Science and Technology**, v. 94, p. 33-39, 2018.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVEIRA, M. P.; ROCHA, L. O. F.; CASTRO, A. L.; BRANDÃO, D. C.; GUEDES, T. J.; FERNANDES, M. K. O. Avaliação da qualidade de *labneh* (iogurte grego): estudo com consumidores. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 71, n. 2, p. 65-74, 2016.
- SUN-WATERHOUSE, D.; ZHOU, J.; WADHWA, S. S. Drinking yogurts with berry polyphenols added before and after fermentation. **Food Control**, v. 32, n. 1, p. 450-460, 2013.
- UDUWERELLA, G.; CHANDRAPALA, J.; VASILJEVIC, T. Preconcentration of yoghurt base by ultrafiltration for reduction in acid whey generation during Greek yoghurt manufacturing. **International Journal of Dairy Technology**, v. 71, n. 1, p. 71–80, 2017.
- VIANNA, F. S.; CANTO, A. C. V. C. S.; COSTA-LIMA, B.; SALIM, A. P.; BALTHAZAR, C. F.; COSTA, M. P.; PANZENHAGEN, P.; RACHID, R.; FRANCO, R. M.; CONTE-JUNIOR, C. A.; SILVA, A. C. O. Milk from different species on physicochemical and microstructural yoghurt properties. **Ciência Rural**, v. 49, n. 6, e20180522, 2019.
- VIEIRA, A. F.; SILVA, R. R. L.; ALVES, D. E. G.; MORAIS, H. M. B. R.; SANTOS, D. C. Processamento e caracterização de iogurte de limão. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 11, n. 2, p. 2420-2436, 2017.
- YADAV, K.; BAJAJ, R. K.; MANDAL, S.; SAHA, P.; MANN, B. Evaluation of total phenol content and antioxidant properties of encapsulated grape seed extract in yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, v. 71, n. 1, p. 96-104, 2017.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-515, 1954.
- WANG, X.; KRISTO, E.; LAPOINTE, G. Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. **Food Hydrocolloids**, v. 100, 105453, 2020.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

WITSCHINSKI, F.; DEMARTINI, D.; KILIAN, J.; DALLAGO, R. M.; ROSA, C. D.; CANSIAN, R. L.; VALDUGA, E.; STEFFEN, J. Development and characterization of light yoghurt elaborated with *Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis* Bb-12 and fructooligosaccharides. **Ciência Rural**, v. 48, n. 3, e20170560, 2018.

## 5 CONCLUSÕES FINAIS

Nas condições experimentais do presente estudo, os resultados obtidos permitiram concluir que:

A polpa de jambolão superou a de acerola nos teores de sólidos solúveis, açúcares, lipídios e proteínas; a acerola demonstrou teores mais elevados de ácido ascórbico, compostos fenólicos, taninos e flavonoides, enquanto o jambolão contém mais antocianinas e carotenoides; ácidos fenólicos, exceto o salicílico, catequina e rutina; a polpa mista apresentou composição intermediária, coordenadas cromática vermelha e azul e alta capacidade antioxidante.

Todas as espumas elaboradas com a combinação dos aditivos albumina/goma xantana, albumina/CMC e albumina/goma guar apresentaram-se adequadas para secagem pelo processo em camada de espuma; os melhores resultados de densidade, tempo de batimento, *overrun*, estabilidade (volume drenado), tempo de secagem e rendimento foram obtidos com a combinação albumina/goma guar, seguida por albumina/CMC; a incorporação dos aditivos e o batimento para formação de espuma alteraram a composição das formulações em relação à polpa mista (testemunha), elevando o ratio, o teor de proteínas e reduzindo os teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos, taninos, flavonoides e carotenoides, rendimento, menor tempo de secagem, umidade em base seca (%) e base úmida (%).

Os menores tempos de secagem foram obtidos com a polpa adicionada de albumina-goma guar (F3); todos os modelos de secagem aplicados resultaram em bons ajustes, com destaque para o modelo de Midilli et al. (2002). Os valores mais elevados da difusividade efetiva foram observados nas amostras com albumina-guar (F3), seguidas pelas com albumina-xantana (F1); a energia de ativação para as secagens entre 50 e 80 °C foi maior na combinação albumina-xantana (F1), e equivalentes na albumina-CMC (F2) e albumina-guar (F3). As amostras com albumina-guar (F3) apresentaram maiores entalpia e entropia e as amostras com albumina-xantana (F1), as maiores energias livres de Gibbs. Todos os modelos resultaram em bons ajustes das isotermas de adsorção de água dos pós da polpa mista, com o modelo de Halsey superando os demais e as isotermas de adsorção de água se classificam como do Tipo II.

A formulação com goma xantana (F1) gerou pós com teores mais elevados de proteínas e de flavonoides, enquanto as amostras com carboximetilcelulose (F2) apresentaram teores mais altos de antocianinas, compostos fenólicos e taninos; as

formulações elaboradas com goma guar (F3) resultaram em pós com maior teor de carotenoides e melhor solubilidade obtida em temperaturas de secagem a partir de 60 °C; o aumento nas temperaturas de secagem acarretou reduções no teor de água e da atividade de água, reduziu a acidez, os teores de ácido ascórbico, de flavonoides, de antocianinas, de compostos fenólicos e de taninos, e aumentaram o conteúdo de carotenoides.

As polpas mistas liofilizadas apresentaram altos teores de compostos bioativos, ácido ascórbico, compostos fenólicos, antocianinas, flavonoides e taninos, além de razoável teor de proteínas e predominância de açúcares. No perfil de fenólicos foram detectados dez ácidos fenólicos, com destaque para o ácido 2,5-dihidroxibenzoico e o ácido salicílico. O pó liofilizado L0 apresentou alta capacidade antioxidante, detectada pelo sequestro do radical DPPH<sup>•</sup> e pelo sistema FRAP. A utilização da maltodextrina melhorou as características físicas dos pós, reduzindo o ângulo de repouso, a densidade absoluta, o fator de Hausner e o índice de Carr, e elevando as densidades aparente e compactada e a solubilidade. Todos os modelos matemáticos aplicados proporcionaram bons ajustes às isotermas de adsorção de água dos pós.

Os pós da polpa mista obtidos por liofilização e secagem em camada de espuma, ao longo de 180 dias de armazenamento, apresentaram altos teores de compostos bioativos, ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas, compostos fenólicos totais e taninos; tiveram aumentados o teor de água, a atividade de água, pH e físicos, incluindo Fator de Hausner e Índice de Carr; e reduzidos os valores de todos os demais parâmetros físico-químicos, inclusive compostos bioativos; a secagem em camada de espuma produziu pós com menores perdas, ao longo do armazenamento, de acidez, ácido ascórbico, flavonoides e antocianinas, enquanto os dois métodos secagem se equivaleram na evolução dos compostos fenólicos, no teor de taninos e na solubilidade.

Os iogurtes com adição dos pós da polpa mista tiveram redução da atividade de água, teor de água e sinérese, bem como, aumento da acidez, açúcares totais e cinzas. A incorporação da polpa mista integral e em pó ao iogurte concentrado aumentou o teor de compostos bioativos, principalmente nas amostras com os pós. O perfil de textura demonstrou que o iogurte F4 apresentou os maiores valores de firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade. Na avaliação sensorial todos os iogurtes testados tiveram notas iguais ou superiores a cinco indicando boa aceitação sensorial, com destaque para os iogurtes F2 e F4. A adição da polpa de jambolão e acerola integral e na forma de pó possui potencial para utilização na elaboração de iogurtes concentrados.



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Introdução geral, Revisão bibliográfica e Material e métodos)**

ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **Food Science and Technology**, v. 68, n. 1, p. 105-110, 2016.

AGUDELO, C.; IGUAL, M.; CAMACHO, M.M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of process technology on the nutritional, functional, and physical quality of grapefruit powder. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 1, p. 61–74, 2016.

AGUDELO, C.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemical content and antioxidant activity of grapefruit (Star Ruby): A comparison between fresh freeze-dried fruits and different powder formulations. **Food Science and Technology**, v. 80, p. 106-112, 2017.

AHMAD, N., ZUO, Y., LU, X., ANWAR, F., & HAMEED, S. Characterization of free and conjugated phenolic compounds in fruits of selected wild plants. **Food Chemistry**, v. 190, p. 80-89, 2016.

AMARAL, I. C.; SILVA, M. T. S.; PEREIRA, D. F.; SILVA, E. K.; RESENDE, J. V.; BRAGA JÚNIOR, R. A. Effect of carrier agents on the physical and thermal stability of freeze-dried passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) pulp. **Drying Technology**, v. 34, n. 6, p. 713-722, 2015.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 18<sup>th</sup> ed., 3<sup>th</sup> Review. Washington: AOAC, 2010, 1094 p.

APHA - American Public Health Association. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4.ed. Washington DC. 2001. 687 p.

ARAÚJO, A. D. A.; COELHO, R. M. D.; FONTES, C. P. M. L.; SILVA, A. R. A.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S. Production and spouted bed drying of acerola juice containing oligosaccharides. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, p. 565–571, 2015.

ARENA, M.; CAGGIANIELLO, G.; RUSSO, P.; ALBENZIO, M.; MASSA, S.; FIOCCO, D.; CAPOZZI, V.; SPANO, G. Functional starters for functional yogurt. **Foods**, v. 4, n. 1, p. 15–33, 2015.

ASSIS, F. R.; MORAIS, R. M. S. C.; MORAIS, A. M. M. B. Mathematical modelling of osmotic dehydration kinetics of apple cubes. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 3, e12895, 2016.

- AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 677 p.
- AYYANAR, M.; SUBASH-BABU, P. *Syzygium cumini* (L.) skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 3, p. 240-246, 2012.
- AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H.; VARIDI, M. Foam-mat drying of shrimp: Characterization and drying kinetics of foam. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 15, n. 3, p. 159-165, 2013.
- BALAJI, V.; PRASAD, V. M. Studies on value added kinnow – aonla blended ready to serve beverage. **Journal Food Process Technology**, v. 5, n. 1, e1000288, 2014.
- BALIGA, M. S.; BHAT, H.; BALIGA, B. R. V.; WILSON, R.; PALATY, P. L. Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1776-1789, 2011.
- BANDO, K.; KANSHA, Y.; ISHIZUKA, M.; TSUTSUMI, A. Innovative freeze-drying process based on self-heat recuperation technology. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1244–1250, 2017.
- BARBOSA, J.; BORGES, S.; AMORIM, M.; PEREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A.; PINTADO, M. E.; TEIXEIRA, P. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 340–351, 2015.
- BERTOLINO, M.; BELVISO, S.; BELLO, B. D.; GHIRARDELLO, D.; GIORDANO, M.; ROLLE, L.; GERBI, V.; ZEPPA, G. Influence of the addition of different hazelnut skins on the physicochemical, antioxidant, polyphenol and sensory properties of yogurt. **Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 1145–1154, 2015.
- BEZERRA, M.; ARAUJO, A.; SANTOS, K.; CORREIA, R. Caprine frozen yoghurt produced with fresh and spray dried jambolan fruit pulp (*Eugenia jambolana* Lam) and *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis BI-07. **Food Science and Technology**, v. 62, n. 2, p. 1099-1104, 2015.
- 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, n. 1, p. 354-364, 2014.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

- BONATTO, F.; CANTERI, M. H. G. Caracterização do iogurte concentrado “tipo labneh”. **Revista Stricto Sensu**, v. 2, n. 1, p. 11-22, 2017.
- BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; FERNANDES, R. V. B.; ANTONIASSI, R.; FARIA-MACHADO, A. F.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, R. C. M. Application of cashew tree gum on the production and stability of spray-dried fish oil. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1522-1529, 2017.
- BRANCO, I. G.; MORAES, I. C. F.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MADRONA, G. S.; SANTOS, C.; RUIZ, A. L. T. G.; CARVALHO, J. E.; HAMINIUK, C. W. I. Influence of pasteurization on antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit pulp. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 225–230, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa nº 37, de 08 de outubro de 2018**. Parâmetros analíticos e quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade de polpa de fruta. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08 out. 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019**. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília (DF), 23 de dezembro de 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007**. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de leites fermentados. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 24 de outubro de 2007.
- BRITO, B.N.C.; PENA, R.S.; LOPES, A.S.; CHISTÉ, R.C. Anthocyanins of jambolão (*Syzygium cumini*): Extraction and pH-dependent color changes. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 10, p. 2286-2290, 2017.
- CALEJA, C.; BARROS, L.; ANTONIO, A. L.; CAROCHO, M.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; FERREIRA, I. C. F. R. Fortification of yogurts with different antioxidant preservatives: A comparative study between natural and synthetic additives. **Food Chemistry**, v. 210, p. 262–268, 2016.
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

- CANUTO, H. M. P.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrina. **Acta Scientiarum Technology**, v. 36, n. 1, p. 179-185, 2014.
- CRAPISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CARMO, E. L.; TEODORO, R. A. R.; FÉLIX, P. H. C.; FERNANDES, R. V. B.; OLIVEIRA, É. R.; VEIGA, T. R. L. A.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food Chemistry**, v. 249, p. 51–59, 2017.
- CARVALHO, A.V.; MATTIETTO, R.A.; BECKMAN, J.C. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, e2016023, 2017.
- CARVALHO, G. G. P.; FERNANDES, F. É. P.; PIRES, A. J. V. Métodos de determinação dos teores de amido e pectina em alimentos para animais. **Revista Eletrônica de Veterinária – REDVET**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2006.
- CASARIN, F.; MENDES, C. E.; LOPES, T. J.; MOURA, N. F. Planejamento experimental do processo de secagem da amora-preta (*Rubus sp.*) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, e2016025, 2016.
- CASTAÑEDA-SAUCEDO, M. C.; VALDÉS-MIRAMONTES, E. H.; TAPIA-CAMPOS, E.; DELGADO-ALVARADO, A.; BERNARDINO-GARCÍA, A. C.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, M. R.; RAMIREZ-ANAYA, J. P. Effect of freeze-drying and production process on the chemical composition and fatty acids profile of avocado pulp. **Revista Chilena de Nutrición**, v. 41, n. 4, p. 404-411, 2014.
- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017121, 2018.
- CIURZYNSKA A.; LENART A. Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 267-274, 2010.
- COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PALLET, J. P. D.; MONTE, D. C. Quantificação do teor de antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações de açazeiro. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2006, 15 p.
- CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; MONTEIRO, A. R. G.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic trend of lyophilized “mangaba” pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 356-360, 2017.

- DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. Influence of foam thickness on production of lime juice powder during foam-mat drying: Experimental and numerical investigation. **Powder Technology**, v. 328, p. 470-484, 2018.
- DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 135, p. 30-43, 2019.
- DELVA, L.; SCHNEIDER, R.G. Acerola (*Malpighia emarginata* DC): Production, postharvest handling, nutrition, and biological activity. **Food Reviews International**, v. 29, n. 2, p. 107-126, 2013.
- DEMIRCI, Z. O.; YILMAZ, I.; DEMIRCI, A. S. Effects of xanthan, guar, carrageenan and locust bean gum addition on physical, chemical and sensory properties of meatballs. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 5, p. 936-942, 2014.
- DONADO-PESTANA, C. M.; BELCHIOR, T.; FESTUCCIA, W. T.; GENOVESE, M. I. Phenolic compounds from cambuci (*Campomanesia phaea* O. Berg) fruit attenuate glucose intolerance and adipose tissue inflammation induced by a high-fat, high-sucrose diet. **Food Research International**, v. 69, p. 170-178, 2015.
- DORTA, E.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. Using drying treatments to stabilize mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 261-268, 2012.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4 ed. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 2013. 531 p.
- EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.
- FARAHNAKY, A.; MANSOORI, N.; MAJZOBI, M.; BADI, F. Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: Antiplasticizing effect of maltodextrin. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, n. 5, p. 133-141, 2016.
- FAZILAH, N. F.; ARIFF, A. B.; KHAYAT, M. E.; RIOS-SOLIS, L.; HALIM, M. Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. **Journal of Functional Foods**, v. 48, p. 387-399, 2018.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artemed, 2006. 602 p.

- FERREIRA, F. C. P.; PAIVA, Y. F.; ALMEIDA, R. B. C. B.; SILVA, A. R. M.; ARAÚJO, A. S. Elaboração e avaliação sensorial de iogurte natural com polpa de abacaxi base mel. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2015.
- FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; SOUZA, V. R.; LIMA, C. F. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 1267-1278, 2014.
- FONGIN, S.; KAWAI, K.; HARNKARNSUJARIT, N.; HAGURA, Y. Effects of water and maltodextrin on the glass transition temperature of freeze-dried mango pulp and an empirical model to predict plasticizing effect of water on dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 210, p. 91-97, 2017.
- FRANCO, T. S.; ELLENDERSEN, L. N.; FATTORI, D.; GRANATO, D.; MASSON, M. L. Influence of the addition of ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam mat drying process. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 10, p. 2012-2026, 2015.
- FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.
- GAUCHE, C.; TOMAZI, T.; BARRETO, P. L. M.; OGLIARI, P. J.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 239-243, 2009.
- GONÇALVES, N. M.; FERREIRA, I. M.; SILVA, A. M. O.; CARVALHO, M. G. Iogurte com geleia de cajá (*Spondias mombin* L.) Adicionado de probióticos: avaliação microbiológica e aceitação sensorial. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 12, n. 2, p. 169-178, 2018.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v. 22, n. 10, p. 2309-2330, 2004.
- GUIMARÃES, D. H. P.; CALADO, A. R. Viabilidade da utilização da polpa de abacate, acrescida do extrato de soja, na elaboração de iogurte: análises reológicas e sensorial. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 5, n. 3, p. 16-22, 2014.
- GURAK, P. D.; DE BONA, G. S.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: A comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, v. 62, p. 786-792, 2014.

- HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560-2572, 2017.
- HARTE, F.; LUEDECKE, L.; SWANSON, B.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Low fat set yogurt made from milk subjected to combinations of high hydrostatic pressure and thermal processing. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 4, p. 1074-1082, 2003.
- HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v. 3, n. 4, p. 7-13, 1967.
- ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.
- IZQUIERDO-LÓPEZ, D.; GOULET, J.; RATTI, C. Foam-mat freeze-drying of *Bifidobacterium longum* RO175: Viability and refrigerated storage stability. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 1, p. 90-96, 2016.
- JAESCHKE, D. P.; MARCZAK, L. D. F.; MERCALI, G. D. Evaluation of non-thermal effects of electricity on ascorbic acid and carotenoid degradation in acerola pulp during ohmic heating. **Food Chemistry**, v. 199, p. 128-134, 2016.
- JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, v. 264, n. 1, p. 190-196, 2014.
- JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food powders flowability characterization: Theory, methods, and applications. **Food Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 211-239, 2010.
- JUNQUEIRA, K. P.; PIO, R.; VALE, M. R.; RAMOS, J. D. **Cultura da aceroleira**. Lavras: UFLA, 2004. 27 p.
- KAAKI, D.; KEBBE BAGHDADI, O.; NAJM, N. E.; OLABI, A. Preference mapping of commercial Labneh (strained yogurt) products in the Lebanese market. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 2, p. 521-532, 2012.
- KAPOOR, S.; RANOTE, P. S. Antioxidant components and physico-chemical characteristics of jamun powder supplemented pear juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 5, p. 2307-2316, 2016.
- KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; BAUDELAIRE DJANTOU, E.; SCHER, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 32-49, 2016.

- KAUSHAL, M.; SHARMA, P. C.; SHARMA, R. Formulation and acceptability of foam mat dried seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) leather. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 1-8, 2011.
- KIRDAR, S.; GUN, I. Microbiological, chemical and physical properties of strained yoghurt consumed in Burdur market. **Gıda**, v. 27, n. 1, p. 59-64, 2002.
- KÖK TAŞ, T.; DURU, D.; ŞAHİN, M. A. Determination of quality properties in labneh produced with probiotic culture. **Pamukkale University Journal of Engineering Sciences**, v. 20, n. 7, p. 240-243, 2014.
- LAIHO, S.; WILLIAMS, R. P. W.; POELMAN, A.; APPELQVIST, I.; LOGAN, A. Effect of whey protein phase volume on the tribology, rheology and sensory properties of fatfree stirred yoghurts. **Food Hydrocolloids**, v. 67, n. 1, p. 166-177, 2017.
- LEITE, A. L. M. P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; SANTOS, P. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 155-162, 2015.
- LENQUISTE, S. A.; MARINELLI, R. D. S.; MORAES, É. A.; DIONÍSIO, A. P.; DE BRITO, E. S.; MARÓSTICA, M. R. Jaboticaba peel and jaboticaba peel aqueous extract shows in vitro and in vivo antioxidant properties in obesity model. **Food Research International**, v. 77, n. 2, p. 162-170, 2015.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. **Methods in enzymology**. London: Academic Press, 1987, v. 148, p. 350-382.
- LOBO, F. A.; NASCIMENTO, M. A.; DOMINGUES, J. R.; FALCÃO, D. Q.; HERNANZ, D.; HEREDIA, F. J.; ARAUJO, K. G. L. Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 221, p. 258-266, 2017.
- MAESTRI, B.; HERERRA, L.; SILVA, N. K.; RIBEIRO, D. H. B.; CHAVES, A. C. S. D. Avaliação do impacto da adição de inulina e de maçã em leite fermentado probiótico concentrado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 1, p. 58–66, 2014.
- MAGALHÃES, A. U.; TORRE, A.C. G. D. Composição química e análise sensorial do iogurte grego comercializado no Sul do estado de Minas Gerais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 73, n. 1, p. 10-18, 2018.
- MAHDAVEE, K. K.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; HEMMATI, K. A. Application of maltodextrin and gum arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and



- evaluating their storage stability and color. **Carbohydrate Polymers**, v. 105, n. 1, p. 57-62, 2014.
- MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379-385, 2016.
- MALEGORI, C.; MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUINI, C.; CASIRAGHI, E. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. **Talanta**, v. 165, p. 112-116, 2017.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory Evaluation Techniques**. London: CRP Press, 1991. 287 p.
- MEIRELES, B. R. L. A. **Potencial nutricional e antioxidante do fruto do Catolé (*Syagrus Cearensis*)**. 2017. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOHAMED, A. G.; EL-SAYED, H. S.; MEHANNA, N. S.; EL-SHIBINY, S. Extending the shelf-life of labneh by use of papaya seeds extract. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v. 7, n. 5, p. 2050-2058, 2016.
- MORAES, F. P.; GONÇALVES, A. C.; MIGUEL, T. B. V.; BORGES, K. C. Freeze dried acerola (*Malpighia emarginata*) pulp and pomace: Physicochemical attributes, phytochemical content and stability during storage. **Journal of Food Industry**, v. 1, n. 1, p.17-38, 2017.
- MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.
- MORTIER, S. T. F. C.; BOCKSTAL, P. J. V.; CORVER, J.; NOPENS, I.; GERMAEY, K. V.; BEER, T. D. Uncertainty analysis as essential step in the establishment of the dynamic design space of primary drying during freeze-drying. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 103, p. 71-83, 2016.

- MUDGIL, D.; BARAK, S.; KHATKAR, B. S. Guar gum: processing, properties and food applications: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 3, p. 409-418, 2014.
- MUNIANDY, P.; SHORI, A. B.; BABA, A. S. Influence of green, white and black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2016.
- MUSSI, L. P.; GUIMARÃES, A.O.; FERREIRA, K. S.; PEREIRA, N. R. Spouted bed drying of jambolão (*Syzygium cumini*) residue drying kinetics and effect on the antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contents. **Food Science Technology**, v. 61, n. 1, p. 80-86, 2015.
- NDABIKUNZE, B. K.; MUMBA, F. G.; NGOWI, H.; CHOVE, L.; MONGI, R.; ABDULSUD, I. Development and sensory evaluation of yoghurt flavoured with solar dried fruits. **Journal of Agricultural Science and Food Technology**, v. 3, n. 7, p. 125-131, 2017.
- NEMZER, B.; VARGAS, L.; XIA, X.; SINTARA, M.; FENG, H. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, v. 262, p. 242-250, 2018.
- NG, M. L.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **Food Science and Technology**, v. 88, n. 1, p. 80-86, 2018.
- NGUYEN, P. T. M.; KRAVCHUK, O.; BHANDARI, B.; PRAKASH, S. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. **Food Hydrocolloids**, v. 72, p. 90-104, 2017.
- NGUYEN, H. T. H.; AFSAR, S.; DAY, L. Differences in the microstructure and rheological properties of low-fat yoghurts from goat, sheep and cow milk. **Food Research International**, v. 108, p. 423-429, 2018.
- NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. **Food and Bioproducts Processing**, v. 114, p. 235-244, 2019.
- NSABIMANA, C.; JIANG, B.; KOSSAH, R. Manufacturing, properties and shelf life of labneh: A review. **International Journal of Dairy Technology**, v. 58, n. 3, p. 129-137, 2005.
- OLANIYAN, A. M.; ADEOTI, J. A.; SUNMONU, M. O. Effect of foaming agent, foam stabilizer and whipping time on drying process of tomato paste under different drying equipment. **International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing**, v. 8, n. 2, e1740004, 2017.

- OLIVEIRA, E. G.; CAMPOS, R. S.; MACHADO, A. S.; PEREIRA, J. F.; ARAÚJO, T. G. Avaliação da goma guar no desenvolvimento de comprimidos matriciais de liberação controlada de teofilina. **Polímeros**, v. 25, n. especial, p. 54-58, 2015.
- OLIVEIRA, R. G.; GODOY, H. T.; PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 244-249, 2010.
- ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Atmed, 2005. v. 1, 294 p.
- PAN, L. H.; LIU, F.; LUO, S. Z.; LUO, J. Pomegranate juice poder as sugar replacer enhanced quality and function of set yogurts: structure, rheological property, antioxidante activity and in vitro bioaccessibility. **LWT – Food Science and Technology**, v. 115, 108479, 2019.
- PEREIRA, P. A. P.; FAGUNDES, B. M.; DIVINO, V. B.; DIAS, J. G.; GANDRA, K. M. B.; CUNHA, L. R. Desenvolvimento e avaliação de iogurte concentrado salgado adicionado de especiarias. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 5, n. 2, p. 66-84, 2018.
- PLAZA, M.; BATISTA, Â. G.; CAZARIN, C. B. B.; SANDAHL, M.; TURNER, C.; ÖSTMAN, E.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. Characterization of antioxidant polyphenols from Myrciaria jaboticaba peel and their effects on glucose metabolism and antioxidant status: A pilot clinical study. **Food Chemistry**, v. 211, p. 185-197, 2016.
- PORTER, L. H.; HRSTICH, L.N.; CHAN, B. C. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, n. 1, p. 223-230, 1986.
- PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: A review on latest frontiers. **Journal Food Science Technology**, v. 55, n. 9, p. 3373-3384, 2018.
- PUMACAHUA-RAMOS, A.; LIMAYLLA-GUERRERO, K. M.; TELIS-ROMERO, J.; LOPES FILHO, J. F. Isotermas e calor isostérico de adsorção da água do amido de quinoa. **Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 15, n. 1, p. 95-104, 2017.
- QADRI, O.; SRIVASTAVA, A. K. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: Drying kinetics and effect on quality attributes. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, e12295, 2017.
- QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K.; YOUSUF, B. Trends in foam mat drying of foods: special emphasis on hybrid foam mat drying technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 10, p. 1667–1676, 2019.

- QUOC, L. P. T.; HOA, D. P.; NGOC, H. T. B.; PHI, T. T. Y. Effect of xanthan gum solution on the preservation of acerola (*malpighia glabra* L.). **Cercetări Agronomice în Moldova**, v. 48, n. 3, p. 89-97, 2015.
- RAMOS, T. M.; GAJO, A. A.; PINTO, S. M.; ABREU, L. R.; PINHEIRO, A. C. Perfil de textura de *Labneh* (iogurte grego). **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 369, p. 8-12, 2009.
- REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A. V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, n. 10, e2015083, 2017.
- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P. N.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018.
- RESENDE, K. K. O.; SILVA, S. S.; GUEDES, S. F.; LOSS, R. A. Cinética de secagem e avaliação físico-química de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) variedade semínifera. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 74-81, 2019.
- RIBEIRO, J. F. A.; BOSI, M. G.; LUCIA, S. M. D. Análise sensorial de iogurte elaborado com diferentes concentrações de extrato de café. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 1, p. 26-37, 2017.
- RITZINGER, R.; RITZINGER, C. H. S. P. Acerola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG: EPAMIG, v. 32, n. 264, p. 17-25, 2011.
- ROCHA, D. M. U. P.; MARTINS, J. F. L.; SANTOS, T. S. S.; MOREIRA, A. V. B. *Labneh* with probiotic properties produced from kefir: development and sensory evaluation. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 694-700, 2014.
- RODRIGUES, K. A. F.; AMORIM, L. V.; DIAS, C. N.; MORAES, D. F. C.; CARNEIRO, S. M. P.; CARVALHO, F. A. A. *Syzygium cumini* (L.) Skeels essential oil and its major constituent  $\alpha$ -pinene exhibit anti-Leishmania activity through immunomodulation in vitro. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 160, p. 32-40, 2015.
- RODRÍGUEZ-BERNAL, J. M.; FLORES-ANDRADE, E.; LIZARAZO-MORALES, C.; BONILLA, E.; PASCUAL-PINEDA, L. A.; GUTIERRÉZ-LÓPEZ, G.; QUINTANILLA-CARVAJAL, M. X. Moisture adsorption isotherms of the borjój fruit (*Borojoa patinoi*. *Cuatrecasas*) and gum arabic powders. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, n. 2, p. 187-198, 2015.

- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP)**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 4 p. (Comunicado Técnico, 125).
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127).
- SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of cantaloupe (*cucumis melo*): Optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1798-1808, 2015.
- SANGAMITHRA, A.; SIVAKUMAR, V.; KANNAN, K.; JOHN, S. G. Foam-Mat drying of muskmelon. **International Journal of Food Engineering**, v. 11, n. 1, p. 127-137, 2015.
- SANTHALAKSHMY, S.; DON BOSCO, S. J.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.
- SERAGLIO, S. K. T.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; DELLA BETTA, F.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649-656, 2018.
- SERHAN, M.; MATTAR, J.; DEBS, L. Concentrated yogurt (labneh) made of a mixture of goats' and cows' milk: Physicochemical, microbiological and sensory analysis. **Small Ruminant Research**, v. 138, p. 46-52, 2016.
- SHOFIAN N. M.; HAMID, A. A.; OSMAN, A.; SAARI, N.; ANWAR, F.; DEK, M. S. P.; HAIRUDDIN, M. R. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. **International Journal of Molecular Science**, v. 12, n. 7, p. 4678-4692, 2011.
- SHORI, A. B.; RASHID, F.; BABA, A. S. Effect of the addition of phytomix-3+ mangosteen on antioxidant activity, viability of lactic acid bacteria, type 2 diabetes key-enzymes, and sensory evaluation of yogurt. **Food Science and Technology**, v. 94, p. 33-39, 2018.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

- SILVA FILHO, E. D.; ALVES, G. S.; DUARTE, M. T. L.; MADUREIRA, I. A. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem da polpa da manga cv. Espada. **Revista Principia**, v. 1, n. 31, p. 7-12, 2016.
- SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, n. 5, p. 62-70, 2016.
- SILVA, R. B.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; ALVES, A. P. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 10, n. 2, p. 2069-2080, 2016.
- SILVA, R. R.; ASSUMPÇÃO, M.; FERNANDES, P. M.; FELICIANO, T. A.; VIEIRA, C. R.; LOMEU, F. L. R. O. Efeito da utilização de gomas na viscosidade e nas características sensoriais de shake à base de farinha de banana verde. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. e2016052, 2018.
- SILVEIRA, M. P.; ROCHA, L. O. F.; CASTRO, A. L.; BRANDÃO, D. C.; GUEDES, T. J.; FERNANDES, M. K. O. Avaliação da qualidade de *labneh* (iogurte grego): estudo com consumidores. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 71, n. 2, p. 65-74, 2016.
- SINGH, J. P.; KAUR, A.; SHEVKANI, K.; SINGH, N. Influence of jambolan (*Syzygium cumini*) and xanthan gum incorporation on the physicochemical, antioxidante and sensory properties of gluten-free eggless rice muffins. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 5, p. 1190-1197, 2015.
- SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N.; NIM, L.; SHEVKANI, K.; KAUR, H.; ARORA, D. S. In vitro antioxidant and antimicrobial properties of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit polyphenols. **Food Science and Technology**, v. 65, p. 1025-1030, 2016.
- SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.
- SOUZA, K. O.; MOURA, C. F. H.; LOPES, M. M. A.; RABELO, M. C.; MIRANDA, M. R. A. Quality of acerola (*Malpighia emarginata*) treated with gibberelic acid and stored under refrigeration. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 39, n. 4, e574, 2017.
- SOUZA, M. J. H.; GUIMARÃES, M. C.A.; GUIMARÃES, C. D. L.; FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, A. M. S. Potencial agroclimático para a cultura da acerola no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 390-396, 2006.

- TAVARES, I. M. C.; LAGO-VANZELA, E. S.; REBELLO, L. P. G.; RAMOS, A. M.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, H. Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, v. 82, p. 1-13, 2016.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 907-914, 2010.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açai. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.
- TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. NEPA – UNICAMP. 4ª ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA/UNICAMP, 2011. 161 p.
- VALENTINA, V.; PRATIWI, A. R.; HSIAO, P. Y.; TSENG, H. T.; HSIEH, J. F.; CHEN, C. C. Sensorial characterization of foods before and after freeze-drying. **Austin Food Sciences**, v. 1, n. 6, id1027, 2016.
- VENUGOPAL, K. S.; CHERITA, C.; ANU-APPAIAH, K. A. Augmentation of chemical and organoleptic properties in *Syzygium cumini* wine by incorporation of grape seeds during vinification. **Food Chemistry**, v. 242, p. 98-105, 2018.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.
- WIDYASTUTI, Y.; ROHMATUSSOLIHAT.; FEBRISANTOSA, A. The role of lactic acid bacteria in milk fermentation. **Food and Nutrition Sciences**, v. 5, n. 4, p. 435-442, 2014.
- WILKOWSKA, A.; AMBROZIAK, W.; CZYŻOWSKA, A.; ADAMIEC, J. Effect of microencapsulation by spray-drying and freeze-drying technique on the antioxidant properties of Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) juice polyphenolic compounds. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 66, n. 1, p. 11-16, 2016.
- YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **Food Science and Technology**, v. 84, p. 256-262, 2017.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-515, 1954.
- YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice

(*Punica Granatum* L.). **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 6, p. 677-684, 2011.

ŻMUDZIŃSKI, D.; PTASZEK, P.; KRUK, J.; KACZMARCZYK, K.; ROŻNOWSKI, W.; BERSKI, W.; PTASZEK, A.; GRZESIK, M. The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 128-134, 2014.

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



## APÊNDICE A

## TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TALE

Você menor está sendo convidado a participar como voluntário (a) no estudo: **LIOFILIZAÇÃO E SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA MISTA DE JAMBOLÃO COM ACEROLA PARA ELABORAÇÃO DE IOGURTE CONCENTRADO**, coordenado pela aluna de pós-graduação em Engenharia Agrícola com matrícula 2117.16331-1 e vinculado ao CNPJ: 05.055.128/0001-76 da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Sua participação é voluntária e você poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento, sem que isso lhe traga nenhum prejuízo ou penalidade. Este estudo tem por objetivo produzir pós a partir da polpa mista de jambolão (*Syzygium cumini*) com acerola (*Malpighia emarginata*) por dois processos de secagem (secagem em camada de espuma e liofilização) e utilizar os pós na elaboração de iogurtes concentrados, que se torna interessante por ser um produto alimentício com alto valor nutritivo e maior diversificação na oferta de frutas regionais.

Você não poderá participar desta pesquisa se apresentar alergia a leite, maltodextrina, albumina, carboximetilcelulose ou algum dos componentes. Caso não se enquadre em nenhum dos critérios de exclusão e se disponha voluntariamente para participar do teste, os riscos e desconfortos serão mínimos. A pesquisa em questão visa obter um produto inovador, que poderá ficar disponível no comércio, que ofereça qualidade nutricional e boa aceitação sensorial.

Caso decida aceitar o convite, você deverá experimentar toda a amostra, em seguida deverá preencher de maneira correta a ficha que receberá, dando nota aos produtos: A avaliação sensorial será realizada por meio de teste de aceitação e de intenção de compra, utilizando escalas hedônica de 9 pontos, com variação de 9 (gostei muitíssimo) à 1 (desgostei muitíssimo) e estruturada de 5 pontos (5 = com certeza compraria e 1 = não compraria), respectivamente. Serão avaliados aparência, odor, sabor, textura e impressão global das amostras. A equipe sensorial será formada por julgadores não treinados.

Os dados obtidos na pesquisa serão extremamente confidenciais e somente serão utilizados para estudo, para a divulgação dos resultados não há necessidade de se divulgar nenhum dado pessoal dos participantes.

Não haverá nenhum gasto com a sua participação, as amostras serão disponibilizadas pelos pesquisadores, porém, se você sofrer algum dano comprovadamente decorrente desta pesquisa, você será indenizado.

Você ficará com uma via rubricada e assinada deste termo e qualquer dúvida a respeito desta pesquisa, poderá ser requisitada a Joana D'arc Paz de Matos, ou ao Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos - CEP/HUAC cujos dados para contato estão especificados abaixo.

**Dados do CEP**

**Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – CEP/HUAC, situado a rua Dr. Carlos Chagas, s/n, São José. Campina Grande-PB.**

**CEP: 58.400-398.**

**E-mail: huaccep@gmail.com e [cep@huac.ufcg.edu.br](mailto:cep@huac.ufcg.edu.br)**

**Tel: (83) 2101-5545**

**Dados para contato com o responsável pela pesquisa**

**Nome: Joana D'arc Paz de Matos**

**Instituição: Universidade Federal de Campina Grande (Campus Campina Grande), bloco CZ (Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas)**

**Endereço: Rua Aprígio Veloso, S/N, Campina Grande – PB.**

**Telefone: (84) 99403-2629**

**E-mail: joanadarcma@hotmail.com**

**(Aluno Pesquisador)**

Declaro que estou ciente dos objetivos e da importância desta pesquisa, bem como a forma como esta será conduzida, incluindo os riscos e benefícios relacionados com a minha participação, e concordo em participar voluntariamente deste estudo.

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura do responsável

**APÊNDICE B****TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE**

Você está sendo convidado (a) a participar como voluntário (a) do estudo **“LIOFILIZAÇÃO E SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA MISTA DE JAMBOLÃO COM ACEROLA PARA ELABORAÇÃO DE IOGURTE CONCENTRADO”**, coordenado pela aluna de pós-graduação em Engenharia Agrícola com matrícula 2117.16331-1 e vinculado ao CNPJ: 05.055.128/0001-76 da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Sua participação é voluntária e poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento, sem que isso lhe traga nenhum prejuízo ou penalidade. Este estudo tem por objetivo de produzir pós a partir da polpa mista de jambolão (*Syzygium cumini*) com acerola (*Malpighia emarginata*) por dois processos de secagem (secagem em camada de espuma e liofilização) e utilizar os pós na elaboração de iogurtes concentrados, que se torna interessante por ser um produto alimentício com alto valor nutritivo e maior diversificação na oferta de frutas regionais.

Você não poderá participar desta pesquisa se apresentar alergia a leite, maltodextrina, albumina, carboximetilcelulose ou algum dos componentes. Caso não se enquadre em nenhum dos critérios de exclusão e se disponha voluntariamente para participar do teste, os riscos e desconfortos serão mínimos. A pesquisa em questão visa obter um produto inovador, que poderá ficar disponível no comércio, que ofereça qualidade nutricional e boa aceitação sensorial.

Caso decida aceitar o convite, você deverá experimentar toda a amostra, em seguida deverá preencher de maneira correta a ficha que receberá, dando nota aos produtos: A avaliação sensorial será realizada por meio de teste de aceitação e de intenção de compra, utilizando escalas hedônica de 9 pontos, com variação de 9 (gostei muitíssimo) à 1 (desgostei muitíssimo) e estruturada de 5 pontos (5 = com certeza compraria e 1 = não compraria), respectivamente. Serão avaliados aparência, odor, sabor, textura e impressão global das amostras. A equipe sensorial será formada por julgadores não treinados.

Os dados obtidos na pesquisa serão extremamente confidenciais e somente serão utilizados para estudo, para a divulgação dos resultados não há necessidade de se divulgar nenhum dado pessoal dos participantes.

Não haverá nenhum gasto com a sua participação, as amostras serão disponibilizadas pelos pesquisadores, porém, se você sofrer algum dano comprovadamente decorrente desta pesquisa, você será indenizado.

Você ficará com uma via rubricada e assinada deste termo e qualquer dúvida a respeito desta pesquisa, poderá ser requisitada a Joana D'arc Paz de Matos, ou ao Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos - CEP/HUAC cujos dados para contato estão especificados abaixo.

**Dados para contato com o responsável pela pesquisa**

**Nome:** Joana D'arc Paz de Matos

**Instituição:** Universidade Federal de Campina Grande (Campina Grande), bloco CZ (Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas)

**Endereço:** Rua Aprígio Veloso, s/n, Campina Grande – PB.

**Telefone:** (84) 99403-2629

**E-mail:** [joanadarcpma@hotmail.com](mailto:joanadarcpma@hotmail.com)

(Aluno Pesquisador)

**Dados do CEP**

**CEP/HUAC - Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, situado na rua Dr. Carlos Chagas, s/n, São José. Campina Grande-PB.**


**CEP: 58.400-398.**

**E-mail:** [huaccep@gmail.com](mailto:huaccep@gmail.com) e [cep@huac.ufcg.edu.br](mailto:cep@huac.ufcg.edu.br)

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Nome e assinatura do responsável

**ANEXO A**

<p style="text-align: center;"><b>UFCG - HOSPITAL UNIVERSITÁRIO ALCIDES CARNEIRO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE / HUAC - UFCG</b></p> 
--

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** LIOFILIZAÇÃO E SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA MISTA DE JAMBOLÃO COM ACEROLA PARA ELABORAÇÃO DE IOGURTE CONCENTRADO

**Pesquisador:** JOANA DARC PAZ DE MATOS

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 18878819.7.0000.5182

**Instituição Proponente:** Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 3.692.447

**Apresentação do Projeto:**

LIOFILIZAÇÃO E SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA MISTA DE JAMBOLÃO COM ACEROLA PARA ELABORAÇÃO DE IOGURTE CONCENTRADO

**Autoria:** JOANA DARC PAZ DE MATOS

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

CAMPINA GRANDE, 08 de Novembro de 2019

---

**Assinado por:**  
**Andréia Oliveira Barros Sousa**  
**(Coordenador(a))**

## ANEXO B

**IOGURTE CONCENTRADO ADICIONADO DE POLPA MISTA EM PÓ DE JAMBOLÃO COM ACEROLA**

**Faixa Etária:** ( ) 17-30 ( ) 31-40 ( ) 41-50 ( ) 51-60 ( ) Acima de 61 **Data:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Gênero:** ( ) Feminino ( ) Masculino

**Grau de Escolaridade:** ( ) Ensino médio ( ) Ensino Superior ( ) Pós- Graduação

**Você consome iogurte concentrado?** ( ) Sim ( ) Não

**Com que frequência você consome iogurte concentrado?** ( ) Todos os dias ( ) 2 a 3 vezes por semana ( ) 1 vez por semana ( ) 1 a 2 vezes por mês ( ) 1 a 2 vezes ao ano

**1. Você está recebendo 5 (cinco) amostras codificadas. Avalie da esquerda para a direita de acordo com as características citadas, usando a escala abaixo:**

- 9 – Gostei muitíssimo
- 8 – Gostei muito
- 7 – Gostei moderadamente
- 6 – Gostei ligeiramente
- 5 – Nem gostei/nem desgostei
- 4 – Desgostei ligeiramente
- 3 – Desgostei moderadamente
- 2 – Desgostei muito

Amostra	Aparência	Odor	Sabor	Textura	Impressão Global

**2. Marque sua intenção de compra utilizando a tabela abaixo:**

- 5 – Certamente compraria
- 4 – Provavelmente compraria
- 3 – Tenho dúvidas se compraria
- 2 – Provavelmente não compraria
- 1 – Certamente não compraria

## ANEXO C



**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT**

Número do Processo: BR 10 2020 011995 8

**Dados do Depositante (71)**

Depositante 1 de 1

**Nome ou Razão Social:** UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - PB

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica

**CPF/CNPJ:** 05055128000176

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa

**Endereço:** AV. APRIGIO VELOSO, 882 - UNIVERSITÁRIO

**Cidade:** Campina Grande

**Estado:** PB

**CEP:** 58429900

**País:** Brasil

**Telefone:** (83) 2011601

**Fax:** (83) 21011601

**Email:** nitt@ufcg.edu.br

**Dados do Pedido**

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA EM PÓ

**Resumo:** A presente invenção trata da elaboração da polpa mista de jambolão e acerola em pó. Compreende o processo de produção da polpa mista através da mistura da polpa de jambolão e da polpa de acerola na proporção de 1:1, seguido da elaboração de formulações com a adição de aditivos (albumina, goma xantana, carboximetilcelulose, goma guar), para a secagem em camada de espuma e da elaboração de formulações com a polpa mista e maltodextrina para a liofilização, apresentando as etapas de processamento e obtenção dos produtos em pó. A invenção aqui descrita tem potencial para ser aplicada na indústria de alimentos, com os produtos em pó obtidos considerados como fonte compostos bioativos, especialmente de compostos fenólicos e vitamina C, e com atividade antioxidante, com possibilidade de aplicação na elaboração de novos produtos, agregando valor econômico e enriquecimento nutricional e contribuição de forma significativa para o aproveitamento tecnológico de frutas tropicais.

**Figura a publicar:** 1

**Dados do Inventor (72)****Inventor 1 de 7**

**Nome:** JOANA D'ARC PAZ DE MATOS  
**CPF:** 00717328376  
**Nacionalidade:** Brasileira  
**Qualificação Física:** Doutorando  
**Endereço:** Avenida dos Calapós, 121  
**Cidade:** Natal  
**Estado:** RN  
**CEP:** 59067-400  
**País:** BRASIL  
**Telefone:** (84) 994 032629  
**Fax:**  
**Email:** joanadarcopma@hotmail.com

**Inventor 2 de 7**

**Nome:** ROSSANA MARIA FEITOSA DE FIGUEIRÊDO  
**CPF:** 49892606434  
**Nacionalidade:** Brasileira  
**Qualificação Física:** Professor do ensino superior  
**Endereço:** AV. APRÍGIO VELOSO, 882  
**Cidade:** Campina Grande  
**Estado:** PB  
**CEP:** 58429-970  
**País:** BRASIL  
**Telefone:** (83) 210 11547  
**Fax:**  
**Email:** rossanamff@gmail.com

**Inventor 3 de 7**



## ANEXO D



**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT**

Número do Processo: BR 10 2020 014287 9

**Dados do Depositante (71)**

---

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - PB

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 05055128000176

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: AV. APRIGIO VELOSO, 882 - UNIVERSITÁRIO

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429900

País: Brasil

Telefone: (83) 2011601

Fax: (83) 21011601

Email: nilt@ufcg.edu.br

**Dados do Pedido**

---

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** IOGURTE CONCENTRADO ADICIONADO DE POLPA MISTA DE JAMBOLÃO E ACEROLA INTEGRAL OU EM PÓ

**Resumo:** A presente invenção trata da elaboração de iogurte concentrado adicionado de polpa mista de jambolão e acerola integral ou em pó. A polpa mista de jambolão e acerola integral é produzida a partir da homogeneização das polpas integrais de jambolão e acerola na proporção de 1:1 e a polpa mista de jambolão e acerola em pó é produzida a partir da polpa mista integral com incorporação de aditivos e submetida à secagem em camada de espuma ou a liofilização. Em seguida a polpa mista de jambolão e acerola integral ou em pó é adicionada ao iogurte concentrado numa proporção estabelecida. O produto em questão apresenta sabor e odor característicos, além de conter ingredientes com propriedades funcionais, nutricionais e sensoriais similares aos produtos já comercializados. Diante de todos os benefícios supracitados, pode-se enfatizar que a utilização da polpa mista integral e em pó para elaboração de iogurte concentrado contribui de forma significativamente para o aproveitamento tecnológico e nutricional das frutas regionais.

**Figura a publicar:** 2

**Dados do Inventor (72)****Inventor 1 de 7**

Nome: JOANA D'ARC PAZ DE MATOS  
CPF: 00717328376  
Nacionalidade: Brasileira  
Qualificação Física: Doutorando  
Endereço: Avenida dos Caiapós, 121  
Cidade: Natal  
Estado: RN  
CEP: 59067-400  
País: BRASIL  
Telefone: (84) 994 032829  
Fax:  
Email: joanadarcma@hotmail.com

**Inventor 2 de 7**

Nome: ROSSANA MARIA FEITOSA DE FIGUEIRÊDO  
CPF: 49892606434  
Nacionalidade: Brasileira  
Qualificação Física: Professor do ensino superior  
Endereço: AV, APRÍGIO VELOSO, 882  
Cidade: Campina Grande  
Estado: PB  
CEP: 58429-970  
País: BRASIL  
Telefone: (83) 210 11547  
Fax:  
Email: rossanamff@gmail.com

**Inventor 3 de 7**