



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



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

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE  
ATEMOIA E ARMAZENAMENTO DO PÓ**

**PLÚVIA OLIVEIRA GALDINO**

**Campina Grande – PB**

**Fevereiro – 2015**

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE ATEMOIA E  
ARMAZENAMENTO DO PÓ**

**PLÚVIA OLIVEIRA GALDINO**

**Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas**

**ORIENTADORES: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo  
Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

**Campina Grande - PB  
Fevereiro – 2015**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- G149s      Galdino, Plúvia Oliveira.  
Secagem em camada de espuma da polpa de atemoia e armazenamento do pó / Plúvia Oliveira Galdino. – Campina Grande, 2015.  
202 f. : il. color.
- Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2015.
- "Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rossana Maria Feitosa de Figueiredo, Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz".
- Referências.
1. Desidratação. 2. Planejamento Experimental. 3. Estabilidade.  
I. Figueiredo, 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  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

PLÚVIA OLIVEIRA GALDINO

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE ATEMOIA E  
ARMAZENAMENTO DO PÓ

BANCA EXAMINADORA

Rossana M. F. de Figueirêdo  
Dr.<sup>a</sup> Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Orientadora - UAEA/UFCG

Alexandre José de Melo Queiroz  
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Orientador - UAEA/UFCG

Oswaldo Soares da Silva  
Dr. Oswaldo Soares da Silva

Examinador - CCTA/UFCG

Angela Maria Santiago  
Dr.<sup>a</sup> Angela Maria Santiago

Examinadora - CCT/UEPB

Mércia Melo de Almeida  
Dr.<sup>a</sup> Mércia Melo de Almeida

Examinadora - CT/UEPB

Hofsky Vieira Alexandre  
Dr.<sup>a</sup> Hofsky Vieira Alexandre

Examinadora - PDI/CNPq/UFCG

PARECER

Aprovado

APROVADO

APROVADO

Aprovado

Aprovado.

APROVADO

FEVEREIRO DE 2015

*Dedico esta conquista a meus filhos, Henry Galdino e Lis Galdino, pois são a razão principal de todas as minhas conquistas: sobretudo desta; meus amados! Tudo é por vocês e para vocês.*

*A meus pais, Lúcia de Fátima Oliveira Galdino e Ademar Galdino Correia, por sempre me terem incentivado na educação sem no entanto, faltar carinho, dedicação constante e grande apoio nos momentos mais difíceis, através de suporte total para a finalização de mais esta etapa.*

*A meu querido esposo, Ronaldo, pelo amor, carinho, paciência, compreensão, amizade e incentivo nas horas em que temia fraquejar mas, graças a Deus, você foi o suporte firme de nossos filhos, nos momentos em que estive ausente.*

*A minha querida irmã, Pablícia, pela amizade, amor, carinho, cumplicidade, dedicação e toda ajuda, sempre que precisei para a realização deste trabalho, e a meu irmão, Pábblo, pela amizade, amor e atenção, mesmo distante.*

*A minha sobrinha, Louara, pelo amor de todos os dias e pela torcida para que a titia concluísse esta jornada.*

*Obrigada por vocês existirem. Amo vocês!!!*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela dádiva da minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa durante o curso.

À professora Rossana, pela orientação, incentivo, atenção, amizade e confiança em mim, durante a realização do curso.

Ao professor Alexandre, pela orientação e colaboração em prol da execução deste trabalho.

A todos os professores do curso, pelas informações passadas durante as disciplinas enriquecendo minha vida acadêmica e pessoal.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ângela Maria Santiago, Prof.<sup>a</sup> Mércia Melo de Almeida e Dr.<sup>a</sup> Hofsky Vieira Alexandre, pelas sugestões.

Um agradecimento especial a Sevé, pela amizade, paciência, disposição e ensinamentos.

Aos meus amigos de curso Tâmila, Taciano, Flávio, Denise, Karla, Vanessa, Danielly, Shirlyanne, pela amizade, companheirismo e solidariedade.

Ao amigo Silas, pela amizade e disponibilidade de ajuda, sempre que precisei.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a finalização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	iv
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	viii
<b>RESUMO.....</b>	xiii
<b>ABSTRACT.....</b>	xiv
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	1
1.1 - Objetivo geral.....	2
1.1.1 - Objetivos específicos.....	2
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	4
2.1 – Ateemoia.....	4
2.2 – Secagem.....	8
2.2.1 – Secagem em camada de espuma.....	8
2.2.2 – Estado da arte.....	9
2.2.2.1 – Modelos de secagem.....	14
2.3 - Atributos de qualidade de produtos alimentícios em pó.....	17
2.4 – Caracterização de alimentos em pó.....	19
2.4.1 – Microestruturas de alimentos.....	19
2.4.2 – Microscopia eletrônica de varredura.....	20
2.5 – Armazenamento.....	21
2.6 – Isotermas de sorção de água.....	24
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	28
3.1 - Matérias-primas.....	28
3.2 - Processamento da atemoia.....	29
3.3 - Caracterização física, química e físico-química da polpa integral.....	30
3.3.1 – pH.....	30
3.3.2 – Acidez total titulável.....	30
3.3.3 - Sólidos solúveis totais (°Brix).....	30
3.3.4 – Teor de água/Sólidos totais.....	30
3.3.5 – Cinzas.....	31
3.3.6 - Ácido Ascórbico.....	31
3.3.7 - Açúcares redutores.....	31
3.3.8 – Pectina.....	31

3.3.9 – Sólidos insolúveis em água.....	31
3.3.10 – Cor.....	31
3.3.11 – Atividade de água.....	32
3.3.12 – Massa específica.....	32
3.4 - Preparo das suspensões.....	32
3.5 - Planejamento experimental para a formação das suspensões.....	33
3.5.1 – Seleção da suspensão.....	34
3.5.1.1 – Massa específica da suspensão.....	34
3.5.1.2 – Expansão volumétrica ( <i>over-run</i> ).....	35
3.5.1.3 - Estabilidade das suspensões.....	35
3.5.2 – Caracterização física, química e físico-química das suspensões.....	36
3.6 – Secagem.....	36
3.6.1 - Planejamento experimental para a secagem em camada de espuma.....	36
3.6.2 – Secagem em camada de espuma.....	38
3.7 – Cinética de secagem.....	38
3.8 – Seleção da melhor amostra da atemoia em pó.....	40
3.8.1 – Insolubilidade.....	40
3.8.2 – Caracterização física, química e físico-química das amostras de atemoia em pó.....	41
3.8.2.1 – Molhabilidade.....	41
3.8.2.2 – Tempo de reconstituição.....	42
3.8.2.3 – Tempo de escoamento e ângulo de repouso.....	42
3.8.2.4 – Rendimento.....	42
3.8.2.5 – Distribuição granulométrica.....	43
3.8.2.6 – Higroscopicidade.....	43
3.8.2.7 – Morfologia.....	43
3.9 - Cinética de degradação do ácido ascórbico da amostra em pó.....	44
3.9.1 – Efeito da temperatura.....	45
3.9.2 – Análise dos dados.....	45
3.10 - Armazenamento da atemoia em pó.....	46
3.10.1 – Análise dos dados.....	46
3.11 – Isotermas de adsorção de água.....	47
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>

4.1 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de atemoia integral.....	49
4.2 – Avaliação das suspensões.....	53
4.2.1 – Planejamento experimental fatorial.....	53
4.2.1.1 – Massa específica das espumas.....	53
4.2.2 – Expansão volumétrica ( <i>Over-run</i> ).....	59
4.2.3 – Cinética da estabilidade das espumas.....	61
4.2.4 – Caracterização das espumas elaboradas.....	63
4.2.5 – Seleção da suspensão para a secagem.....	68
4.3 – Cinética de secagem.....	69
4.4 - Planejamento experimental fatorial (Avaliação do pó de atemoia).....	79
4.4.1 – Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó....	95
4.4.1.1 – Distribuição granulométrica.....	103
4.4.1.2 – Higroscopicidade.....	106
4.4.1.3 - Microscopia eletrônica de varredura.....	108
4.4.1.4 – Seleção da melhor condição de secagem.....	111
4.5 – Cinética de degradação do ácido ascórbico da amostra em pó.....	112
4.6 – Armazenamento acelerado da atemoia em pó.....	115
4.6.1 – Teor de água.....	115
4.6.2 – pH.....	121
4.6.3 – Acidez total titulável.....	125
4.6.4 – Ácido ascórbico.....	129
4.6.5 – Atividade de água.....	133
4.6.6 – Luminosidade.....	137
4.6.7 – Intensidade de vermelho.....	141
4.6.8 – Intensidade de amarelo.....	145
4.6.9 – Insolubilidade.....	149
4.7 – Isotermas de adsorção de água.....	153
<b>5 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>160</b>
<b>6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>162</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>196</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>200</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> - Atemoieira.....	5
<b>Figura 2.2</b> - Modelo esquemático da secagem por <i>foam-mat</i> .....	9
<b>Figura 3.1</b> - Atemoia cv. “Gefner”.....	28
<b>Figura 3.2</b> - Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção da polpa de atemoia integral.....	29
<b>Figura 3.3</b> - Sistema de medição da estabilidade da suspensão.....	36
<b>Figura 3.4</b> - Processo de obtenção da camada de espuma com posterior secagem em estufa com circulação de ar.....	38
<b>Figura 4.1</b> - Diagrama de Pareto da massa específica das espumas.....	55
<b>Figura 4.2</b> - Superfícies de resposta para a massa específica das espumas: (a) Conc. de emustab x Conc. de liga neutra (15 min TB); (b) Conc. de emustab x Tempo de batimento (1,5% CLN); (c) Conc. de super liga neutra x Tempo de batimento (1,5 % CE).....	58
<b>Figura 4.3</b> - Massa específica ( $\text{g/cm}^3$ ) das espumas produzidas com emustab e liga neutra em diferentes concentrações em função do tempo de batimento.....	59
<b>Figura 4.4</b> - Over-run (%) das espumas produzidas com emustab e liga neutra em diferentes concentrações em função do tempo de batimento.....	61
<b>Figura 4.5</b> - Curvas de cinética da estabilidade das suspensões de polpa de atemoia com emustab e liga neutra em função do tempo de batimento.....	62
<b>Figura 4.6</b> - Curvas de secagem da espuma com 2% de emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, temperatura de 60 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm.....	69
<b>Figura 4.7</b> - Curvas de secagem da espuma com 2% de emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, temperatura de 70 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm.....	70
<b>Figura 4.8</b> - Curvas de secagem da espuma com 2% de emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, temperatura de 80 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm.....	70
<b>Figura 4.9</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de	

emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, espessura da camada de 0,5 cm e em diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Midilli.....	74
<b>Figura 4.10</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, espessura da camada de 1,0 cm e em diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Midilli.....	77
<b>Figura 4.11</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, espessura da camada de 1,5 cm e em diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Midilli.....	79
<b>Figura 4.12</b> - Diagramas de Pareto referentes aos efeitos dos parâmetros das regressões sobre as respostas, sendo: Esp.(L) e Temp.(L): efeitos dos parâmetros lineares da espessura da camada e da temperatura de secagem; Esp.(Q) e Temp.(Q): efeitos dos respectivos parâmetros quadráticos .....	84
<b>Figura 4.13</b> - Superfície de resposta para teor de água do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura.....	90
<b>Figura 4.14</b> - Superfície de resposta para os sólidos totais do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura.....	91
<b>Figura 4.15</b> - Superfície de resposta para o ácido ascórbico do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura.....	92
<b>Figura 4.16</b> - Superfície de resposta para a insolubilidade do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura.....	93
<b>Figura 4.17</b> - Superfície de resposta para a luminosidade do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura.....	94
<b>Figura 4.18</b> - Superfície de resposta para a intensidade de vermelho do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura.....	95
<b>Figura 4.19</b> - Comportamento higroscópico das amostras em pó ao longo do tempo sob temperatura de 25 °C e umidade relativa controlada 83%.....	107
<b>Figura 4.20</b> - Fotomicrografias do pó de atemoia dos Experimentos 1, 2, 3, 4,5 6, 7, 8 e 9, provenientes do planejamento experimental, obtidas por	

microscopia eletrônica com aumento de 100x.....	109
<b>Figura 4.21</b> - Cinética de degradação do ácido ascórbico da atemóia em pó em diferentes temperaturas.....	112
<b>Figura 4.22</b> - Representação gráfica de Arrhenius da constante cinética de ordem zero para degradação do ácido ascórbico na atemóia em pó.....	115
<b>Figura 4.23</b> - Isotermas de adsorção de água em diferentes temperaturas das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, com ajustes pelo modelo de GAB.....	159
<b>Figura A.1</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 0,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Page.....	197
<b>Figura A.2</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,0 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Page.....	197
<b>Figura A.3</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Page.....	198
<b>Figura A.4</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 0,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis.....	198
<b>Figura A.5</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,0 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis.....	199
<b>Figura A.6</b> - Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis.....	199
<b>Figura B.1</b> - Isotermas de adsorção de água em diferentes temperaturas das	

	amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, com ajustes pelo modelo de Oswin.....	201
<b>Figura B.2 -</b>	Isotermas de adsorção de água em diferentes temperaturas das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, com ajustes pelo modelo de Peleg.....	201

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Composição físico-química, química e nutricional da atemoia.....	6
<b>Tabela 3.1</b> - Níveis reais e codificados do planejamento fatorial $2^3$ .....	33
<b>Tabela 3.2</b> - Matriz de planejamento fatorial $2^3$ com 3 repetições no ponto central para as suspensões (polpa de atemoia integral com diferentes concentrações de emustab, liga neutra e tempo de batimento).....	34
<b>Tabela 3.3</b> - Níveis reais e codificados do planejamento fatorial $2^2$ e 4 pontos axiais.....	37
<b>Tabela 3.4</b> - Matriz de planejamento fatorial $2^2$ com composto central e 3 repetições no ponto central para a secagem das suspensões.....	37
<b>Tabela 3.5</b> - Modelos cinéticos.....	44
<b>Tabela 3.6</b> - Modelos de ajuste de isotermas de adsorção de água.....	48
<b>Tabela 4.1</b> - Caracterização química, física e físico-química da polpa de atemoia integral.....	49
<b>Tabela 4.2</b> - Efeito estimado, erro padrão, coeficiente $t$ e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a massa específica das espumas.....	54
<b>Tabela 4.3</b> - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a massa específica das espumas.....	57
<b>Tabela 4.4</b> - Caracterização química, física e físico-química das diferentes espumas elaboradas com polpa de atemoia e diferentes concentrações de emustab, liga neutra e tempo de batimento.....	64
<b>Tabela 4.5</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm em diferentes temperaturas.....	72
<b>Tabela 4.6</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, com espessura da camada de	

	espuma de 1,0 cm em diferentes temperaturas.....	75
<b>Tabela 4.7 -</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios dos modelos de secagem ajustados às curvas de secagem da Emulsão com 2% de emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm nas três diferentes temperaturas.....	78
<b>Tabela 4.8 -</b>	Resposta dos experimentos da secagem em camada de espuma em função da espessura da camada e temperatura de secagem.....	80
<b>Tabela 4.9 -</b>	Índices estatísticos dos modelos referentes às respostas dos experimentos da secagem em camada de espuma da polpa de atemoia.....	88
<b>Tabela 4.10 -</b>	Coeficientes de regressão (codificados) dos modelos referentes às respostas dos experimentos do pó de atemoia.....	89
<b>Tabela 4.11 -</b>	Caracterização química, física e físico-química da atemoia em pó obtida através do processo de secagem em camada de espuma em diferentes espessuras e temperatura do ar de secagem.....	97
<b>Tabela 4.12 -</b>	Valores médios da análise granulométrica da polpa de atemoia em pó obtida a partir de diferentes temperaturas do ar de secagem e espessura da camada de espuma.....	104
<b>Tabela 4.13 -</b>	Parâmetros cinéticos da degradação do ácido ascórbico em três diferentes temperaturas da atemoia em pó.....	113
<b>Tabela 4.14 -</b>	Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação ( $Q_{10}$ ) para a degradação do ácido ascórbico da atemoia em pó.....	114
<b>Tabela 4.15 -</b>	Valores médios do teor de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	116
<b>Tabela 4.16 -</b>	Equações de regressão propostas para o teor de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	117
<b>Tabela 4.17 -</b>	Valores médios do teor de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	119
<b>Tabela 4.18 -</b>	Equações de regressão propostas para o teor de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	120

<b>Tabela 4.19</b> - Valores médios do pH do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	121
<b>Tabela 4.20</b> - Equações de regressão propostas para o pH da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	123
<b>Tabela 4.21</b> - Valores médios do pH do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	124
<b>Tabela 4.22</b> - Equações de regressão propostas para o pH da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	125
<b>Tabela 4.23</b> - Valores médios da acidez total titulável do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	126
<b>Tabela 4.24</b> - Equações de regressão propostas para a acidez titulável da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	127
<b>Tabela 4.25</b> - Valores médios da acidez total titulável do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	127
<b>Tabela 4.26</b> - Equações de regressão propostas para a acidez total titulável da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	128
<b>Tabela 4.27</b> - Valores médios do ácido ascórbico do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	129
<b>Tabela 4.28</b> - Equações de regressão propostas para o ácido ascórbico da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	131
<b>Tabela 4.29</b> - Valores médios do teor de ácido ascórbico do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	132
<b>Tabela 4.30</b> - Equações de regressão propostas para o ácido ascórbico da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	133
<b>Tabela 4.31</b> - Valores médios da atividade de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	134
<b>Tabela 4.32</b> - Equações de regressão propostas para a atividade de água da	

	atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	135
<b>Tabela 4.33</b> -	Valores médios do teor de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	136
<b>Tabela 4.34</b> -	Equações de regressão propostas para a atividade de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	137
<b>Tabela 4.35</b> -	Valores médios da luminosidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	138
<b>Tabela 4.36</b> -	Equações de regressão propostas para a luminosidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	139
<b>Tabela 4.37</b> -	Valores médios da luminosidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	140
<b>Tabela 4.38</b> -	Equações de regressão propostas para a luminosidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	141
<b>Tabela 4.39</b> -	Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	142
<b>Tabela 4.40</b> -	Equações de regressão testadas para estimar a intensidade de vermelho da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	143
<b>Tabela 4.41</b> -	Valores médios da intensidade de vermelho do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	144
<b>Tabela 4.42</b> -	Equações de regressão propostas para estimar a intensidade de vermelho (+a*) da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	145
<b>Tabela 4.43</b> -	Valores médios da intensidade de amarelo do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	146
<b>Tabela 4.44</b> -	Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	147
<b>Tabela 4.45</b> -	Valores médios da intensidade de amarelo do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média	

	de 55%.....	147
<b>Tabela 4.46 -</b>	Equações de regressão propostas para estimar a intensidade de amarelo da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	148
<b>Tabela 4.47 -</b>	Valores médios da insolubilidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%.....	150
<b>Tabela 4.48 -</b>	Equações de regressão propostas para a insolubilidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	151
<b>Tabela 4.49 -</b>	Valores médios da insolubilidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%.....	152
<b>Tabela 4.50 -</b>	Equações de regressão propostas para a insolubilidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento.....	153
<b>Tabela 4.51 -</b>	Valores médios do teor de água de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) em função da atividade de água ( $a_w$ ) das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, para as temperaturas estudadas.....	155
<b>Tabela 4.52 -</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4.....	156

GALDINO, P. O. **Secagem em camada de espuma da polpa de atemoia e armazenamento do pó.** 2015. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de obter um produto em pó, a partir da polpa integral da atemoia através do método de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*), e avaliar as características do produto seco, assim como sua estabilidade. Espumas foram elaboradas a partir da polpa integral com adição de 1,0; 1,5 e 2,0% de Emustab e Super Liga Neutra com diferentes tempos de batimento (10, 15 e 20 min) de acordo com o planejamento experimental fatorial  $2^3$  com 3 pontos centrais; a seleção da espuma foi feita através dos resultados dos parâmetros de densidade das espumas em função do tempo de batimento, expansão volumétrica (*over run*) da cinética da estabilidade da espuma. A espuma selecionada como a melhor foi desidratada em estufa com circulação de ar forçado em diferentes temperaturas (55,85; 60; 70; 80 e 84,15 °C) e espessuras da camada de espuma (0,29; 0,5; 1,0; 1,5 e 1,71) conforme o planejamento experimental fatorial composto central  $2^2 + 4$  pontos axiais e 3 pontos centrais. As curvas de cinética de secagem foram traçadas em relação à razão de água e aplicados os modelos semiteóricos de Henderson & Pabis, Page e Midilli. A polpa integral, as espumas e os pós, foram caracterizados quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos. Para a escolha do melhor pó foram considerados os resultados dos parâmetros de teor de água, sólidos totais, ácido ascórbico, luminosidade, intensidade de vermelho e insolubilidade. Com o pó selecionado determinou-se a cinética de degradação do ácido ascórbico em condições controladas de umidade (83%) e temperatura (20; 30 e 40 °C) pelo período de 15 dias; avaliou-se a estabilidade do pó durante o armazenamento acelerado em BOD com umidade relativa de 55 e 83% e temperaturas de 20; 30 e 40 °C durante 60 dias e se realizou o estudo das isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20; 30 e 40 °C. A polpa de atemoia integral foi considerada pouco ácida. De acordo com o processo de formação das espumas, verificou-se que a espuma com melhor comportamento foi a composta por polpa de atemoia, 2% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra, com tempo de batimento de 20 min. Para a cinética de secagem o modelo de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes para todas as condições. De acordo com o processo de formação da atemoia em pó verificou-se que o pó com melhor comportamento foi o secado na temperatura de 80 °C e espessura da camada de 0,5 cm. A velocidade de degradação do ácido ascórbico foi maior a 40 °C e nas temperaturas estudadas a degradação do ácido ascórbico segue modelos cinéticos de ordem zero. Durante o armazenamento da atemoia em pó em embalagem laminada, verificou-se que com o tempo houve aumento do teor de água, atividade de água e insolubilidade e redução do teor de ácido ascórbico e da luminosidade. A isoterma de adsorção de água da atemoia em pó foi classificada como do Tipo II, para todas as temperaturas estudadas (20, 30 e 40 °C) enquanto os modelos de GAB, Oswin e Peleg podem ser utilizados para estimar as isotermas.

**Palavras-chave:** *Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L., desidratação, planejamento experimental, estabilidade

GALDINO, P. O. **Foam mat drying of the atemoya pulp and powder storage**. 2015. 201 f. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

### ABSTRACT

This work was developed in order to obtain a powder product from the whole pulp of atemoya through the foam mat drying, and evaluate the dried product characteristics as well as its stability. Foams were prepared from the whole pulp with addition of 1.0; 1.5 and 2.0% of *Emustab* and *Super Liga Neutra* with different beat times (10, 15 and 20 minutes) according to the factorial design  $2^3$  with three central points; the selection of the foam was made using the results of the density parameters of the foams according to the beating time, volume expansion (over run) the kinetic stability of the foam. The foam was selected as the best dehydrated in an oven with forced air circulation at different temperatures (55.85; 60; 70; 80 and 84.15 °C) and the foam layer thicknesses (0.29; 0.5; 1.0; 1.5 and 1.71) as the central composite factorial design  $2^2 + 4$  axial points and three central points. The drying rate curves were plotted relative to the moisture ratio and applied the models semi-theoretical Henderson & Pabis, Page and Midilli. The whole pulp, foams and powders were characterized for physical, chemical and physico-chemical parameters. For choosing the best powder were considered the results of parameters moisture content, total solids, ascorbic acid, brightness, redness and insolubility. With the selected powder was determined ascorbic acid degradation kinetics in controlled conditions of humidity (83%) and temperature (20, 30 and 40 °C) for a period of 15 days; evaluated the stability of the powder during the accelerated storage with a relative humidity of 55 and 83% and temperatures of 20; 30 and 40 °C for 60 days, the study was conducted of moisture adsorption isotherms at temperatures of 20; 30 and 40 °C. The pulp was considered integral atemoya little acidic. According to the process of forming the foams, it was found that the foam was the best performing atemoya composed of pulp, 2% *Emustab* and 2% *Super Liga Neutra*, with a 20 min beating time. For the drying kinetics Midilli the model was what presented the best fit for all conditions. According to the process of forming the powder atemoya found that the best performing powder was dried at 80 °C and 0.5 cm thickness of the layer. The rate of degradation of ascorbic acid was increased to 40 °C and the temperature studied the degradation of ascorbic acid follows zero order kinetics models. During storage of the powder atemoya laminated packaging, it was found that there was an increase with time of moisture content, water activity and solubility and reduced ascorbic acid and brightness. The moisture adsorption isotherm of the powder atemoya was classified as Type II for all temperatures studied (20, 30 and 40 °C) while models GAB, Oswin and Peleg can be used to estimate the isotherms.

**Keywords:** *Annona cherimoya* Mill. X *Annona squamosa* L., dehydration, experimental design, stability

## 1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor e exportador de frutas; no entanto, a comercialização é em muitos casos restrita à sazonalidade da produção e à susceptibilidade de deterioração que, para uma grande variedade de frutas, são disponibilizadas para o comércio apenas três meses por ano. Entretanto, a perecibilidade é uma das grandes causas do alto índice de perdas que, em algumas regiões do país, chega a 60%. Enquanto a produção brasileira cresce diante do mercado mundial, cresce também o desperdício dos alimentos produzidos. Desta forma, evidencia-se a grande necessidade do emprego de métodos mais eficazes de conservação para que se possa aproveitar o excedente das safras tornando a comercialização viável durante todo o ano (BARRETO, 2011), assim como, também, o excedente de produção gerado na época de safra e a alta perecibilidade dos alimentos associados à ausência e ou a deficiência de técnicas adequadas de manuseio, transporte e armazenamento, têm gerado grandes perdas, que podem ser reduzidas pelo processamento (CORREIA; FARAONI; PINHEIRO-SANT'ANA, 2008).

A atemoia é da família das anonáceas; possui casca rugosa e pontiaguda, como a da graviola, trazendo em seu interior uma polpa branca com sementes negras. É resultante do cruzamento da pinha com a cherimoia, nativa das regiões tropicais do Peru, Equador e Colômbia. No Brasil, as primeiras plantações começaram na década de 60; hoje, a área plantada é de aproximadamente 1200 ha concentrados nas Regiões Sul e Sudeste (CEAGESP, 2012).

Há relatos de que foi realizado, nos Estados Unidos, o primeiro cruzamento entre a cherimoia e a pinha com o objetivo de que frutos com as qualidades da cherimoia fossem obtidos em regiões de clima mais quente, cuja a pinha apresenta boa adaptação porém não com as mesmas qualidades da cherimoia (PINTO et al., 2005). A planta apresenta maior produtividade e se adapta melhor a climas com características bem diferentes que as demais espécies produtoras de frutos destinados ao consumo *in natura* (MOSCA & LIMA, 2012).

Estimativas de rendimento para o Estado de São Paulo, referência na produção de atemoia no Brasil, apresentam valores médios de 15 t/ha. Todavia, têm sido observados valores que variam entre 12 e 25 ton/ha de frutos comerciais, ou seja, aqueles com boa conformação e peso superior a 300 g (LEMOS, 2014).

O rápido escurecimento e o amolecimento são os principais problemas que afetam a comercialização do fruto (YAMASHITA et al., 2002), requerendo a introdução de técnicas

de conservação que retardem esses fatores garantindo, portanto, maior período de tempo para distribuição.

Dentre os diversos métodos de conservação de alimentos pode-se destacar a secagem, por se tratar de uma das tecnologias pós-colheita mais utilizadas para solucionar problemas tais como a superprodução / excesso de oferta e a alta perecibilidade de frutas e hortaliças (CHONG & LAW, 2011). A polpa de fruta na forma de pó obtida por métodos de secagem é uma alternativa para solucionar problemas relacionados com a sua estabilidade, visto que a secagem a aumenta, por meio da redução da atividade de água, mantendo-se sem deterioração ao longo do armazenamento e também durante o transporte (KOROISHI et al., 2009; CHEN & MUJUMDAR, 2008).

Um método alternativo de secagem para a produção de produtos alimentícios em pó é a secagem em camada de espuma (*foam mat drying*). Este processo também ajuda a preservar os nutrientes da polpa por tempo prolongado e logo após a desidratação, em que o pó pode ser reconstituído em suco e/ou usado como ingrediente para preparação de bebidas e alimentos (KADAM et al., 2010). Durante a última década esta tecnologia tem recebido atenção renovada devido à sua capacidade de produzir produtos de boa qualidade mantendo seus compostos voláteis que, de outra forma de secagem poderia acarretar em maiores perdas (KUDRA & RATTI, 2006; KADAM & BALASUBRAMANIAN, 2011).

Para manter o produto nas condições em que foi secado é preciso protegê-lo das condições do ambiente com embalagem adequada que, além de cumprir esta função, representa, conforme DELLA LUCIA et al. (2007), o primeiro contato do consumidor com o produto sendo primordial para a definição da escolha e da compra.

## **1.1 - Objetivo geral**

Produzir a polpa de atemoia em pó pelo processo de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*) e avaliar as características do produto seco, tal como sua estabilidade.

### **1.1.1 - Objetivos específicos**

- Caracterizar a polpa integral de atemoia quanto aos parâmetros físico, químicos e físico-químicos;

- Utilizar a matriz de planejamento fatorial para avaliar a influência das variáveis de entrada (concentração de Emustab, concentração de Super Liga Neutra e tempo de batimento) sobre as respostas (densidade, expansão volumétrica (over-run) e estabilidade da espuma), para a escolha da melhor condição de formação da emulsão;
- Preparar e caracterizar as emulsões elaboradas quanto aos parâmetros físicos, químicos e fisico-químicos;
- Fazer o estudo da cinética de secagem da emulsão selecionada em estufa com circulação de ar em diferentes temperaturas e espessuras da camada;
- Avaliar, através da matriz de planejamento fatorial, a influência das variáveis de entrada (temperatura do ar de secagem e espessura da camada de espuma) sobre as respostas (teor de água, sólidos totais, ácido ascórbico, luminosidade, intensidade de vermelho e insolubilidade) do pó de atemoia para a escolha da melhor condição de secagem;
- Fazer a caracterização física, química e fisico-química das amostras em pó produzidas;
- Descrever o comportamento cinético da degradação do ácido ascórbico da melhor amostra em pó em condições controladas de umidade (55 e 83%) e temperatura (20, 30 e 40 °C);
- Analisar a estabilidade da melhor amostra em pó acondicionada em embalagens laminadas, durante 60 dias de armazenamento acelerado, em condições controladas de umidade (55 e 83%) e temperatura (20, 30 e 40 °C);
- Determinar as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da melhor amostra em pó selecionada.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Atemoia

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de frutas tropicais e a região Nordeste apresenta condições ideais para o cultivo dessas frutíferas, entre elas a atemoia (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.) (SILVA & MUNIZ, 2011).

A atemoia é um fruto de planta da família Annonaceae, sendo um híbrido resultante do cruzamento entre a fruta do conde ou pinha (*A. squamosa* L.) e a cherimoia (*A. cherimola* Mill.) (MEDEIROS et al., 2009). Por ser uma mistura entre duas espécies, suas características são bastante variáveis entre os cultivares apresentando, assim, em relação à fruta-do-conde, a vantagem de ser mais saborosa, conter menor número de sementes, maior vida útil e maior produtividade (MOSCA et al., 2006).

De acordo com SOBRINHO (2010), a família Annonaceae é constituída por cerca de 120 gêneros e em torno de 2.300 espécies. No Brasil estão registrados 29 gêneros com cerca de 260 espécies, algumas de importância econômica. Entre as espécies de maior importância comercial se destacam a graviola (*Annona muricata* L.), pinha (*Annona squamosa* L.), cherimoia (*Annona cherimoia*, Mill.) e a atemoia.

A introdução da atemoia na região nordeste é recente, havendo predominância da cultivar Gefner, de origem israelense, inicialmente cultivada nos projetos de irrigação do Vale do São Francisco. O interesse pela exploração em todo o território nacional, tem aumentado em razão do lucrativo retorno comercial que a cultura oferece devido à sua maior versatilidade com a possibilidade de se programar diferentes épocas de produção por meio do manejo da poda, irrigação, adubação e polinização e maior adaptação às condições tropicais e subtropicais, comparativamente à cherimoia (SILVA et al., 2009).

Em geral, a planta da atemoia (Figura 2.1) apresenta a copa aberta, esparramada. Os ramos são alongados, fracos e se rompem com facilidade. Apresenta folhas largas, como a *Annona cherimola*, porém lisas, como a *Annona squamosa*, apresentando de 9 a 21 cm de comprimento por 4,5 a 8,3 cm de largura. As folhas caem durante o período de repouso vegetativo, nos meses de inverno, com temperatura baixa e pouca água disponível no solo (MANICA et al., 2003).



**Figura 2.1** - Atemoieira (Fonte: SEAGRI, 2012)

A atemoieira produz frutos com polpa branca, doce, ligeiramente ácida e sucosa (OLIVEIRA et al., 2010). É uma fruteira que, ao contrário das outras espécies de sua família, não é encontrada crescendo espontaneamente na natureza (SILVA, 2006).

A atemoieira é cultivada em escala comercial em várias regiões brasileiras, sendo a região Nordeste a principal produtora nacional, especificamente no Estado da Bahia, seguido de Minas Gerais, Pernambuco e Alagoas (IBGE, 2012).

Alguns dados encontrados na literatura sobre a composição química, físico-química e nutricional da atemoieira, se encontram sumarizados na Tabela 2.1. O principal ácido orgânico que contribui com a acidez e o aroma característico, encontrado na atemoieira, é o ácido cítrico; o elevado teor de sólidos solúveis totais explica seu elevado valor calórico.

**Tabela 2.1** - Composição físico-química, química e nutricional da atemoia (Fonte: TACO, 2011)

<b>Componentes</b>	<b>Composição da atemoia por 100 g de parte comestível</b>
Teor de água (%)	75,55
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	30,92
pH	4,53
Acidez Total Titulável (g ác. cítrico/100g)	0,469
Vitamina C (mg/100 g)	15,84
Energia (Kcal)	97,0
Proteína (g)	1,0
Colesterol (mg)	0,0
Carboidrato (g)	25,0
Fibra dietética (g)	2,1
Cinzas (g)	0,7
Cálcio (mg)	23,0
Magnésio (mg)	25,0

Os frutos de anonáceas têm atividade metabólica intensa após a colheita, o que faz com que a maturação se processe em curto espaço de tempo limitando sua vida útil. A atemoia, por seu alto conteúdo de teor de água, se torna extremamente perecível sobretudo em nossas condições ambientais com elevada temperatura, associada à ausência ou ao manejo inadequado pós-colheita, que constituem fatores negativos para sua conservação; outro fator desfavorável da atemoia é o rápido amolecimento da polpa e o escurecimento da casca, sendo os principais problemas que afetam sua comercialização tendo em vista que os frutos da atemoieira são destinados sobremaneira ao consumo *in natura* (MOSCA & LIMA, 2012; YAMASHITA et al., 2002).

Apesar de alguns estudos publicados sobre a conservação pós-colheita da atemoia, os dados presentes na literatura ainda são escassos; com isto, faz-se necessário um número maior de pesquisas visto que a produção desse fruto vem demonstrando grande crescimento e despertando cada vez mais o interesse dos produtores por se tratar de um produto nobre e de grande valor comercial (EBDA, 2013).

MARCELLINI et al. (2003) relataram que, com a composição nutritiva, os frutos da atemoieira são destinados principalmente ao consumo *in natura* pois quando maduros os frutos pesam em média 0,10 - 2,00 kg, a polpa é de cor branca e possui de 20 a 50 sementes; o teor de sólidos solúveis varia de 15,0 ° a 24,0 °Brix, e a acidez titulável (AT) de 0,19 a 0,26 g ácido cítrico /100 g polpa. Esses frutos, apesar de seu aspecto rústico, são muito delicados e extremamente perecíveis. Os autores realizaram uma comparação físico-química e sensorial da atemoia com a pinha e a graviola, comercializadas em Sergipe, em que as frutas analisadas continham o mesmo tempo de vida de prateleira. Concluiu-se que a atemoia apresentou alto potencial de aceitação entre os consumidores tratando-se de uma fruta saborosa, aromática e de aparência agradável, com avaliação sensorial sempre superior à das suas concorrentes diretas.

MEDEIROS et al. (2009) avaliaram frutos de atemoia quanto aos parâmetros químicos e físicos no intuito de caracterizá-los em dois estádios de maturação (verde-maduro e totalmente maduro). Diferenças foram observadas entre os estádios de maturação com degradação dos componentes celulares e das reservas dos frutos reduzindo, assim, a firmeza da polpa e disponibilizando carboidratos simples, respectivamente. Ocorreu incremento na acidez e, conseqüentemente, decréscimo no valor do pH. O teor de vitamina C não sofreu alterações significativas entre tais estádios.

SILVA (2011) estudou métodos de prolongar o período de conservação pós-colheita da atemoia por meio do uso do 1-metilciclopropeno (1-MCP) em atmosfera modificada associada à refrigeração e constatou que a utilização da atmosfera modificada permitiu o armazenamento de 25 dias, com qualidade adequada dos atributos físicos e químicos. Os frutos tratados com 1-MCP se apresentaram mais firmes, com atrasos no acúmulo de sólidos solúveis e na degradação do amido; a coloração foi preservada pelo 1-MCP.

CRUZ et al. (2013) caracterizaram, física e quimicamente, as frações de atemoia Gefner e encontraram que a polpa representou cerca de 60% do peso do fruto, a casca 28,13% e as sementes 8,34%. O fruto apresentou, em média, 56 sementes, com diâmetro longitudinal de 10,79 cm e diâmetro transversal de 26,64 cm. Os maiores teores de proteína bruta, extrato etéreo e fibra alimentar, foram encontrados nas sementes e na casca. A casca se destacou nos teores de cinzas; a polpa apresentou os maiores teores de ácido ascórbico e açúcares totais em relação às outras frações. A ordem da composição de macronutrientes na casca, na polpa e nas sementes da atemoia, foi K>P>Ca>Mg; para os micronutrientes na casca e nas sementes foi Fe>Zn>Cu>Mn>S e na polpa foi

Fe>Zn>Mn>Cu>S. A casca apresentou os níveis mais altos de inibidores de tripsina e atividade hemaglutinante. Os teores de compostos fenólicos foram relativamente baixos no fruto.

## **2.2 – Secagem**

A secagem por ar aquecido tem-se destacado nos últimos tempos por ser uma técnica que mantém a qualidade e a estabilidade dos alimentos sem a necessidade da cadeia do frio. Neste processo o alimento a ser secado é exposto a uma corrente de ar quente que flui continuamente e assim a umidade é removida (SOUZA NETO et al., 2005). É bastante utilizada nos processos industriais e, embora seja grande o interesse em sua compreensão, ela ainda é uma das operações menos entendidas em função da complexidade dos fenômenos envolvidos na transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido durante o processo (KINGSLEY et al., 2007).

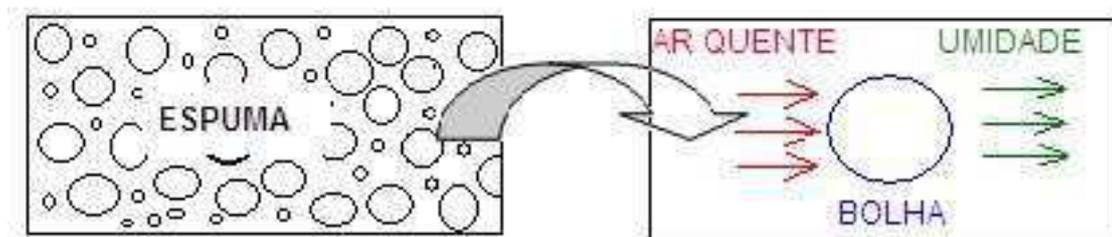
Apesar dos aspectos positivos, a secagem pode alterar as características sensoriais e o valor nutricional dos alimentos; a intensidade dessas alterações é dependente das condições utilizadas no processo de secagem e das características próprias de cada produto. O processo de desidratação deve preservar o sabor, o aroma, a cor e apresentar textura semelhante à do produto fresco. Para isto é necessário que a temperatura de secagem seja bem controlada (DIONELLO et al., 2007; SHIGEMATSU et al., 2005).

### **2.2.1 – Secagem em camada de espuma**

Este método de secagem utiliza menores temperaturas de desidratação e tempo de secagem pois uma área maior de superfície fica exposta ao ar de secagem, acelerando o processo de remoção de água e a obtenção de um produto poroso e de fácil reidratação; por isso é muito utilizada em alimentos com alto teor de açúcar, como as polpas de frutas, por serem mais sensíveis ao calor (RAJKUMAR et al., 2007).

Dentre as técnicas empregadas para a obtenção de produtos alimentícios em pó, a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*), se destaca por ser um método em que alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, através de vigorosa agitação e incorporação de agentes espumantes para, posteriormente, serem desidratados (SILVA et al., 2008).

A figura 2.2 apresenta um modelo esquemático do mecanismo de secagem pelo processo *foam-mat*.



**Figura 2.2** - Modelo esquemático da secagem por *foam-mat* (Fonte: DANTAS, 2010)

Os fatores de fundamental importância para a circulação da água durante o processo de secagem em camada de espuma e que influenciam na qualidade final do produto, são a estrutura, a capacidade de expansão e a estabilidade da espuma. Contudo, as espumas de algumas polpas de frutas apresentam falta de estabilidade em condições de aquecimento, o que faz com que ocorra desagregação, causando prejuízo grave à operação de secagem. Espumas que não colapsarem pelo tempo de pelo menos 1 hora em condições ambientais, são consideradas mecanicamente ou termicamente estáveis para o processo de secagem. Termicamente, espumas estáveis conservam sua estrutura porosa, o que ajuda na melhoria das propriedades de reconstituição do produto seco (BAG et al., 2011; THUWAPANICHAYANAN et al., 2012).

A adição de agentes espumantes e estabilizantes à polpa de fruta com subsequente mistura da mesma, aumenta a estabilidade da espuma durante a secagem. A medida em que se aumenta a concentração de estabilizantes a densidade final da espuma diminui, uma vez que maior quantidade de ar é incorporada durante o tempo de mistura (FALADE; ADEYANJU; UZO-PETERS, 2003). A concentração do estabilizador de espuma, por outro lado, deve estar abaixo da concentração crítica na qual a espuma se torna instável, visto que uma dose excessiva de estabilizante, tal como um tempo de mistura muito prolongado, também podem resultar em colapso da espuma (RATTI & KUDRA, 2006).

### 2.2.2 – Estado da arte

A secagem em camada de espuma tem sido testada para vários tipos de polpa de frutas, apresentando resultados promissores porém, em razão das diferentes características

químicas e físico-químicas das frutas, este método tem suas particularidades para cada produto. Vários tipos de aditivos são utilizados no processo de secagem em camada de espuma para estabilizar a espuma e durante o processo de secagem geralmente se analisa a cinética de secagem dos produtos.

ZURITZ (1976) utilizou o processo *foam-mat drying* para sucos de uva lípidos e turvos em concentrações decrescentes em 5° Brix desde 70° a 40° Brix. Os aditivos estudados foram: albumina de ovo, monoestearato de glicerilo, proteína de soja e uma mistura de proteína de soja com carboximetil celulosa. Foi usado um forno descontínuo no estudo da velocidade de secagem, nas temperaturas de 65, 70, 75, 80 e 85 °C e tempos entre 10 e 30 min, concluindo que a densidade e a estabilidade das espumas sofreram grandes variações com a temperatura. Os intervalos de umidade alcançados para os distintos tempos e temperaturas de secagem, foram de 2,72 a 1,14% com sucos lípidos e de 3,20 a 1,69% com sucos turvos. A concentração, o tipo de suco e a proporção de aditivos influíram sobre a velocidade de secagem. A altura do leito de espuma não exerce efeito sobre o tempo de secagem dentro de um intervalo de 3 a 7 mm.

KARIM & CHEE-WAI (1999) avaliaram a secagem em camada de espuma da polpa de carambola com a adição da solução de Methocel (65 HG). Inicialmente, a estabilidade da espuma com a adição de diferentes concentrações da solução de Methocel (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5%), foi testada verificando-se que a formulação com a concentração de 0,4% foi a mais estável; a partir daí, esses pesquisadores utilizaram esta formulação para o estudo da secagem da espuma, nas temperaturas de 70 e 90 °C, com velocidade do ar de 0,12 m/s e espessura da camada não excedendo 5,0 mm. A temperatura de 90 °C apresentou redução de 30 min no tempo de secagem quando comparado com a temperatura de 70 °C, com tempos de 60 e 90 min, respectivamente; entretanto, a amostra obtida a 90 °C apresentou perda substancial de sabor e escurecimento.

SOARES et al. (2001) realizaram estudo com polpa de acerola para obtenção de pó através do processo de secagem em camada de espuma, preparando uma formulação com a polpa e os formadores de emulsões e espessantes pectina cítrica, Emustab (produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60) e Super Liga Neutra (produto à base de sacarose e dos espessantes, carboximetil-celulose e goma guar). Formou-se uma espuma com características adequadas à secagem rápida, o que foi alcançado no período de 20 min de batimento com a espuma apresentando, ao final do batimento, densidade de 0,51 g/cm<sup>3</sup>; em seguida, a espuma foi desidratada em estufa de secagem com circulação de ar, a uma temperatura de 70 °C, por 90 min, obtendo-se um

produto em pó com umidade final de 7,2%. O pó de acerola obtido apresentou-se, em média, dez vezes mais concentrado em suas características iniciais, o que repercute como ponto altamente positivo dentro do processo considerando-se o grande valor nutritivo incorporado, sobretudo no que se refere ao conteúdo de vitamina C (15,16%), aos açúcares redutores (43,22%) e a proteína (9,05%).

GALDINO et al. (2003) realizaram a secagem de polpa de umbu-cajá pelo método em camada de espuma e obtiveram o pó mediante utilização de um emulsionante composto de monoglicerídeos, monoestearato de sorbina e polisorbato (Emustab) e de espessantes composto de carboximetil-celulose e goma guar (Super Liga Neutra). A secagem foi realizada em estufa com circulação de ar e temperatura de 70 °C, resultando em um pó de boa qualidade quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos.

SANKAT & CASTAIGNE (2004), realizaram pesquisa de desidratação de bananas utilizando diversos agentes espumantes para avaliar qual resultaria em mais estável para a obtenção do produto desidratado. Foram utilizados, como agentes espumantes, a proteína de soja, o monoestearato de glicerila e dois agentes comerciais (GMS e ICN). O monoestearato de glicerila não formou espuma; os agentes comerciais formaram espumas, que, entretanto, não apresentaram estabilidade rompendo-se durante o processo de secagem, e a proteína de soja apresentou o melhor efeito, formando uma espuma fina, consistente, estável ao calor e de baixa densidade. A proteína de soja foi capaz de reduzir a densidade do purê de banana para 0,5 g/cm<sup>3</sup> após 12 min de agitação, na concentração de 1%; além de formar boa espuma, o uso de proteína de soja faz com que o produto final possa ser considerado enriquecido nutricionalmente, possível de ser incorporado em diversos alimentos.

RAHARITSIFA et al. (2006) submetem o suco clarificado de maçã à secagem com a adição de várias concentrações de dois tipos de emulsificante, uma proteína (albumina de ovo em pó - 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0%) e um polissacarídeo (metilcelulose - 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; e 2,0%), e a diferentes tempos de batimento (3; 5 e 7 min) aplicados a todas as amostras utilizando uma batedeira doméstica (3000 rpm). Esses autores verificaram que a estabilidade das espumas aumentou com o aumento da concentração dos emulsificantes e, em geral, as espumas produzidas com a proteína do ovo foram menos estáveis, porém mostraram um grau maior de solidez (estruturas mais fortes) e menor diâmetro médio da bolha que as espumas produzidas com metilcelulose.

DZAZIO et al. (2007) constataram, em seus estudos sobre desidratação da batata yacon em estufa convencional com ventilação de ar e a utilização do método de secagem

em camada de espuma com adição de Emustab (1%), carragena (1%) e liga neutra (1%) numa temperatura de 60 °C, que, no método de secagem em camada de espuma, obtiveram menor porcentagem de umidade e maior rendimento quando comparada com a desidratação pelo método convencional em estufa com ventilação de ar. Constatou-se, portanto, que o método de secagem em camada de espuma produz produtos com características diferenciadas e com maior vida de prateleira. O produto obtido pela desidratação em estufa com ventilação atingiu umidade de 11,47% contra 6,21% pelo método de secagem em camada de espuma.

RAJKUMAR et al. (2007), estudaram a desidratação de polpa de manga utilizando mistura dos aditivos albumina do ovo (5, 10 e 15%) com metilcelulose (0,5%) e com a camada da espuma apresentando três espessuras (1, 2 e 3 mm). A espuma foi colocada em esteira de teflon e desidratada nas temperaturas de 60, 65, 70 e 75 °C. Com base em análises estatísticas os autores observaram uma concentração maior dos componentes bioquímicos com a temperatura de secagem de 60 °C e com a formulação elaborada com 10% de albumina de ovo e 0,5% de metilcelulose para a espessura da camada de espuma de 1 mm e concluíram que as alterações dos componentes bioquímicos, após a secagem desta polpa formulada, foram menores que na polpa sem aditivos, com tempos de secagem de 35 e 70 min, respectivamente.

THUWAPANICHAYANAN et al. (2008), submeteram a polpa de banana à secagem em camada de espuma utilizando a albumina de ovo como agente espessante, para a formação da espuma, a qual apresentou valores de densidade de 0,3, 0,5 e 0,7 g/cm<sup>3</sup>. A espuma com 5 mm de espessura foi desidratada em estufa com circulação de ar que apresentava velocidade de 0,5 m/s, utilizando-se as temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Os resultados experimentais mostraram que a espuma com densidades mais baixas apresentou um produto final com estrutura porosa e resultou em maiores taxas de secagem. A temperatura de secagem e a concentração da albumina de ovo não influenciaram as propriedades de textura do produto final. Os autores constataram, para a produção de pó de banana, que a densidade de espuma inicial de 0,5 g/cm<sup>3</sup> e a temperatura de secagem de 80 °C, foram as recomendadas.

DANTAS et al. (2008) usaram, como aditivo, 10% de Emustab® para a obtenção de polpa de jaca em pó pelo processo de secagem em leito de espuma avaliando o efeito da temperatura da secagem e concluíram que o tempo do processo diminuiu e a taxa de secagem aumentou com o aumento da temperatura de secagem e que o método de secagem em camada de espuma pode ser empregado para obtenção da polpa em pó da jaca.

PINTO (2009) estudou a caracterização da espuma de jenipapo com Emustab, maltodextrina e Super Liga Neutra, como aditivos na secagem em leito de espuma. O Emustab e a maltodextrina conferiram melhor estabilidade das espumas de jenipapo a 25 °C e a 50 °C, em todas as concentrações estudadas sendo que, para a massa específica, o melhor aditivo para reduzi-la foi o Emustab; já para a atividade de água e para a umidade, o aditivo que mais reduziu com o aumento das concentrações foi a Super Liga Neutra.

SOARES (2009) desidratou a polpa do araçá-boi pelo método de secagem em camada de espuma quando então foram testados quatro diferentes aditivos (Emustab®, Superliga®, albumina e maltodextrina) em diferentes concentrações (5, 10, 15 e 20% em massa), utilizando uma temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 4,2 m/s. O autor concluiu que o processo de secagem foi eficiente para todas as concentrações atingindo uma média de 7% de umidade final no produto em pó e com a atividade de água na faixa de 0,2-0,3, apresentando um alimento microbiologicamente estável.

SOUZA (2011) desidratou a polpa de cupuaçu pelo método de secagem em camada de espuma utilizando albumina, Emustab®, Super Liga Neutra® e maltodextrina nas concentrações de 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0% como dispersante e promotor de espuma nas temperaturas entre 40 e 70 °C e concluiu que o Emustab® foi o único aditivo que produziu espuma adequada à desidratação em leito de espuma reduzindo a densidade em cerca de 50%, mesmo na concentração mais baixa (2,5%).

BARRETO (2011) utilizou, estudando a desidratação de pitanga roxa pelo método de secagem em camada de espuma, como aditivos, a albumina e o Emustab® puros e combinados com Superliga em cinco concentrações, 4, 5, 6, 7, e 8% utilizando uma temperatura de 55 °C, por 2 horas. Ante os resultados obtidos, concluiu que as espumas de pitanga testadas apresentaram boas características para uma secagem em leito de espuma, com densidade ideal entre 0,1 e 0,6 g/cm<sup>3</sup> e estabilidade de 100%. O uso do Emustab® concedeu, às espumas, maiores estabilidades e menores densidades. Os tratamentos com Emustab® foram os que mais reduziram a atividade de água e menos alteraram a cor, com o aumento das concentrações.

FERNANDES et al. (2013) otimizaram a formulação de espuma de polpa de tomate para avaliar o processo de secagem usando o método de camada de espuma nas temperaturas de 60 e 80 °C e o efeito da concentração de albumina (expressa em %) e tempo de batimento (expresso em minutos) em relação às variáveis resposta de densidade da espuma e estabilidade térmica da espuma com base no volume da espuma remanescente. Os resultados indicaram que apenas a variável tempo de batimento (linear e

quadrático) teve influência significativa ( $p < 0,05$ ) nos valores de densidade de espuma. A estabilidade da espuma foi significativamente influenciada pelo tempo de batimento ( $p < 0,10$ ) e pela concentração de albumina ( $p < 0,10$ ). As condições de formação de espuma ótimas, considerando maior estabilidade de espuma e de densidade mais baixa, ocorreram com uma concentração de albumina de 4,5% e tempo de batimento de 4,5 min.

BREDA et al. (2013) avaliaram o efeito da desidratação *foam mat* na retenção da vitamina C em polpa de cajamanga. Foram elaboradas formulações utilizando-se três agentes espumantes combinados em diferentes concentrações: pectina cítrica, Emustab e Super Liga Neutra, batidas em batedeira doméstica, durante 20 min e dispostas em bandejas de aço inoxidável formando uma camada fina de 0,5 cm de espessura e colocadas em secador convectivo com circulação de ar a 70 °C e velocidade de ar quente de 0,5 m/s pelo tempo de 4 horas, condição para obter um produto com até 10% de teor de água. Os resultados sinalizaram que a adição de agentes espumantes favoreceu o incremento de açúcares e fibras na polpa desidratada. A polpa desidratada contendo 1,5% de Emustab e 1,0% de pectina apresentou maior retenção da vitamina (28,55%).

ALEXANDRE et al. (2014) analisaram o pó de pitanga obtido pelo processo de secagem em camada de espuma utilizando 7,5% do emulsificante e estabilizante comercial Emustab e 4,5% do espessante comercial Super Liga Neutra. A formulação atingiu densidade média de 0,5 g/cm<sup>3</sup> e foi espalhada sobre bandejas de aço inoxidável com uma espessura da camada de 0,5 cm e levada para desidratar em temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 0,5 m/s, durante 4 h cujo resultado foi um pó com excelentes atributos sensoriais.

### **2.2.2.1 – Modelos de secagem**

Para a predição da redução do teor de umidade no processo de secagem, seja ele simples ou sofisticado, é conveniente uma equação de secagem em camada fina. A gama de equações disponíveis é muito grande e as curvas de secagem que elas originam podem apresentar valores que diferem entre si, em até três vezes (HIEN et al., 2003).

Os modelos de secagem em camada fina que descrevem o fenômeno de secagem de produtos agrícolas se dividem em três categorias: teóricos, semiteóricos e empíricos (PANCHARIYA et al., 2000).

O estudo teórico se fundamenta em equações de transferência simultânea de calor e massa. Nos modelos semiteóricos os parâmetros dos modelos teóricos são gerados

empiricamente. Os modelos teóricos levam em consideração a resistência interna do material à transferência de umidade enquanto nos modelos semiteóricos e empíricos, a resistência externa entre o produto e o ar é que é correlacionada com a transferência de umidade (HENDERSON, 1974). Por outro lado, as equações empíricas dependem apenas de dados experimentais sendo, portanto, de mais fácil obtenção e devem ser usados até que se consiga chegar a um modelo semiteórico ou teórico (AFZAL & ABE, 2000).

ALEXANDRE (2005) observou, dentre os modelos testados para estimar as curvas de secagem em camada de espuma da polpa de pitanga, que o de Page apresentou os melhores ajustes em todas as temperaturas avaliadas (50, 60 e 70 °C), com coeficientes de determinação acima de 0,99.

LOUREIRO (2006) ajustou, analisando a cinética de secagem da polpa de buriti desidratada em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C com espessura de 4 mm, os dados experimentais com os modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Henderson, constatando que todos os modelos se ajustaram bem aos dados de secagem.

MEDEIROS (2007) desidratou polpa de mangaba pelo método de secagem em camada de espuma, em estufa com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Os aditivos utilizados foram: emulsificante (composto por monoglicerídeos destilados, monoestereato de sorbitana e polisorbato 60) e estabilizante (contendo sacarose e os espessantes carboximetilcelulose e goma guar). Os dados experimentais de secagem foram ajustados pelos modelos de Cavalcanti Mata, Handerson e Pabis e Page. A polpa desidratada a 70 °C teve menor tempo de secagem (2 h) e umidade média de 22,59% com redução de 73% em relação à umidade inicial da mangaba. Todos os modelos tiveram  $R^2 > 0,99$  e DQM entre 0,0103 e 0,1024.

DANTAS et al. (2008) avaliou a desidratação da polpa de jaca pelo método de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C e concentração de 7,5% de emulsificante (Emustab). Na modelagem dos dados experimentais foram utilizados os modelos de Page, Midilli e Kucuk, verificando-se que para reduzir a umidade inicial do produto de 66,5% em base úmida para o intervalo de 2,68 a 7,30% foi necessário um tempo de secagem de 360 a 780 min; contudo, para as temperaturas em estudo o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Midilli e Kucuk, com  $R^2 > 0,98$ .

GURJÃO et al. (2008) observaram, desidratando a polpa de tamarindo através do processo de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C com

espessura da camada de espuma igual a 0,5 cm e utilizando, como aditivo, o emulsificante Emustab, três períodos diferentes de secagem em sua análise. Dos 10 aos 20 primeiros minutos da secagem os autores verificaram um curto tempo de aquecimento seguido de taxa constante e terminando o processo com período de taxa decrescente. Os autores utilizaram os modelos de Lewis e Page para tratar as curvas de secagem. A umidade final do produto variou de 7 a 10% b.s. entre 180 a 270 min de secagem. Na aplicação dos modelos esses autores verificaram coeficientes de correlação  $R^2 > 0,96$ . O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Page modificado, com desvios quadráticos médios entre 0,0143 a 0,0151; os modelos de Page e Lewis apresentaram desvios quadráticos médios de 0,0469 a 0,0504 e 0,0648 a 0,0671, respectivamente.

MONZELLE (2009) aplicou, utilizando o processo de secagem em camada de espuma para desidratar o caldo de cana nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, aos dados experimentais, os modelos de Page, Henderson e Newton. No estudo cinético da secagem não foi observada taxa de secagem constante no processo; logo, o modelo de Page foi o mais adequado para descrever o fenômeno tendo apresentado coeficientes de determinação  $R^2 > 0,9975$ , verificando também que a umidade do pó apresentou redução de 99,23% e atividade de água de 63,62%.

FURTADO et al. (2010) ajustaram, desidratando a polpa de ceriguela pelo processo de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C os dados experimentais aos modelos de Henderson e Pabis, Midilli & Kucuk e Page, onde através do estudo cinético da secagem observando que a influência da temperatura do ar de secagem foi mínima porém na temperatura de 80 °C atingiu o equilíbrio mais rapidamente, o que já era esperado; com isto, Midilli & Kucuk foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais; os valores do coeficiente de difusão e da energia de ativação aumentaram com o aumento da temperatura em uma relação diretamente proporcional tendo apresentado coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9985$ .

FERNANDES (2011) elaborou e desidratou, a polpa de cajá através do processo de secagem em camada de espuma, três formulações (espumas) em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C com espessura da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm. Os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem. As curvas de secagem das espumas foram influenciadas pela espessura da camada e pela temperatura de secagem.

RONCHETI (2014) utilizou a tecnologia de secagem em leito de espuma aplicada à cenoura, à beterraba, ao tomate e ao morango, em secador com ar circulando em

temperaturas controladas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. A descrição da cinética de secagem foi realizada pelo ajuste de modelos matemáticos para cada temperatura do ar de secagem, além disto, foi proposto um modelo matemático generalizado ajustado por regressão não linear. O modelo de Page proporcionou o melhor ajuste sobre os dados de secagem, em todos os produtos testados, cujo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi superior a 98% em todas as temperaturas avaliadas. O coeficiente de difusão efetiva aumentou com a elevação da temperatura apresentando valores entre  $10^{-8}$  e  $10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s para as temperaturas de processo.

### **2.3 - Atributos de qualidade de produtos alimentícios em pó**

Os alimentos em pó apresentam diferentes propriedades, tais como tamanho e distribuição de partículas, densidade aparente de partículas, porosidade, solubilidade, molhabilidade, dispersibilidade, sendo que a medida e a caracterização dessas propriedades ajudam a definir o produto, os parâmetros do processo de produção e os fenômenos que influenciam seu comportamento (VISSOTO et al., 2006).

Quando um produto em pó é disposto sobre uma superfície líquida, pode-se observar três propriedades de qualidade envolvidas; são elas: molhabilidade, que consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó devido à capilaridade; dispersibilidade, que é a dispersão do pó no líquido e a solubilidade, que é a dissolução das partículas pelo líquido desde que essas sejam solúveis. Tais propriedades se combinam para definir a “instantaneidade” do produto sendo assim de fundamental importância o estudo desses atributos para comercialização de alimentos em pó (PEÑA, 2003; SCHUBERT, 1993).

A molhabilidade, também conhecida como umectabilidade, pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas serem penetradas pela água estando relacionada aos fatores físicos, especialmente tamanho e forma das partículas e temperatura da água de reconstituição. Produtos em pó que apresentam baixa molhabilidade tendem a formar grumos durante a adição e mistura com a água (VISSOTO et al., 2006).

A solubilidade é um dos parâmetros utilizados para verificar a capacidade do pó de se manter em mistura homogênea com a água; esta característica se deve à composição do produto (VISSOTO et al., 2006). Um dos maiores problemas na secagem de polpa de frutas é a alta higroscopicidade do produto produzido, que causa aglomeração do pó,

aumento na solubilidade dos açúcares em altas temperaturas e alta pegajosidade (ADHIKARI et al., 2004).

Segundo ABADIO et al. (2004), as propriedades de polpas em pó estão relacionadas com a facilidade de reconstituição, incluindo umidade, densidade da partícula e porosidade e com as propriedades de instantaneização (molhabilidade, dispersibilidade e solubilidade). Essas propriedades são influenciadas pelo teor de sólidos e pela viscosidade. Diversos trabalhos na literatura relatam o fato.

BORGES et al. (2002) secaram suco de abacaxi e maracujá em um mini spray e concluíram que o aumento na concentração de maltodextrina aumentou a densidade aparente da partícula e essas variáveis não exercem efeito algum nas propriedades de reconstituição do pó.

JAYA & DAS (2004) reportaram a influência da quantidade de maltodextrina nas propriedades relacionadas com a qualidade de polpa de manga em pó. Segundo os autores, a higroscopicidade aumentou com o decréscimo da quantidade de maltodextrina adicionada; ao mesmo tempo, o decréscimo na quantidade de maltodextrina aumentou a solubilidade e diminuiu a diferença de cor ( $\Delta E_c$ ) entre a polpa de manga em pó produzida e a polpa em pó reconstituída.

MOREIRA et al. (2005) reportaram os dados das propriedades da polpa de acerola em pó em função das condições operacionais de secagem por aspersão e da quantidade dos aditivos utilizados. Altas temperaturas favoreceram as propriedades diminuindo a umidade e a higroscopicidade e aumentando o escoamento. A adição dos aditivos maltodextrina e goma do cajueiro diminuiu a higroscopicidade e aumentou o escoamento do pó produzido.

GOULA & ADAMOPOULOS (2008) também investigaram o efeito da adição de maltodextrina nas propriedades de polpa de tomate em pó durante a secagem por aspersão. Esses autores analisaram as propriedades reológicas, teor de umidade, densidade, solubilidade, higroscopicidade e o grau de aglomeração e constataram que o aumento na proporção de maltodextrina a determinada temperatura aumenta a solubilidade e diminui a higroscopicidade, o grau de aglomeração, a densidade e a umidade do pó.

MEDEIROS & LANNES (2010) avaliaram, fisicamente, o cacau em pó por meio das análises de densidade, ângulo de repouso, tamanho de partícula e molhabilidade e concluíram que os produtos analisados apresentaram diferentes propriedades físicas daquelas do cacau, refletidas nas formulações em que serão aplicados e no melhor tipo de embalagem a ser utilizada.

## **2.4 – Caracterização de alimentos em pó**

Segundo BARBOSA-CÁNOVAS & JULIANO (2005), o conhecimento das propriedades dos alimentos é essencial para otimizar processos, funcionalidades e para reduzir custos. As propriedades químicas e físicas têm recebido bastante atenção no caso dos pós produzidos ou utilizados nas indústrias alimentícias. A microestrutura está ligada à funcionalidade e às propriedades de escoamento dos pós. A distribuição do tamanho das partículas também pode ser considerada importante em vários aspectos, podendo influenciar o sabor, a cor e a textura do produto (O'HAGAN et al., 2005).

### **2.4.1 – Microestruturas de alimentos**

Microestrutura de alimentos é definida como a organização dos componentes de um alimento e suas interações. Ao sofrer processamento a microestrutura do alimento é destruída e reconstruída, o que poderia ser entendido como uma série de operações de reestruturação e reorganização (AGUILERA & STANLEY, 1990).

O entendimento da microestrutura de alimentos está sendo reconhecido como pré-requisito necessário para entender suas propriedades. Os métodos para o processamento de alimentos podem ser baseados no conceito de que mudanças na microestrutura afetam as propriedades do produto; deste modo, técnicas de análise de microestrutura são necessárias para entender as relações estrutura-propriedades (EBAH, 2012).

Segundo WALTON (2000), é difícil avaliar, de modo geral, o efeito que as variáveis de processo de secagem exercem sobre a morfologia das partículas, como, por exemplo, para uma condição de secagem as partículas podem inchar, encolher ou quebrar, dependendo das propriedades reológicas e da porosidade (ou da não-porosidade) da casca formada. Contudo, o estudo da morfologia das partículas secas oferece um conhecimento valioso sobre os fundamentos da secagem dos alimentos, assim como dos aspectos físicos e químicos que governam a estrutura das partículas. Esses estudos permitem a comparação de taxas de secagem entre diferentes alimentos, diferentes concentrações, produtos ou formulações, permitindo a seleção e a melhoria das condições de processo.

#### **2.4.2 – Microscopia eletrônica de varredura**

O método mais utilizado para a análise da microestrutura de produtos em pó é a microscopia eletrônica de varredura (MEV), em que sua utilização demonstra a possibilidade de visualização de imagens com alta ampliação (até 300.000 X) e resolução, permitindo a observação e o registro de imagens tridimensionais. Tem, como objetivos, analisar superfícies irregulares possibilitando uma análise qualitativa de vez que a análise quantitativa acurada de sua superfície é quase impossível pela dificuldade de padronizar amostras biológicas (PICON et al., 2006).

Idealmente, as amostras para microscopia eletrônica devem ser: não voláteis, livres de contaminantes, resistentes à irradiação do feixe de elétrons, produzir contraste atômico e atuar como condutora ou serem finas o suficiente para a transmissão dos elétrons porém muitas amostras não contêm, naturalmente, essas características, o que cria obstáculo para a obtenção de melhores condições de imagem (SCHRAND, 2005).

RIGHETTO (2003) concluiu, observando a polpa de acerola verde em pó formulada com maltodextrina (DE = 1920) e goma arábica nas concentrações de (0, 5, 10, 15 e 20%), respectivamente e desidratada em secador por aspersão a uma temperatura de 120 °C, como também em liofilizador a uma temperatura de -40 °C, que os encapsulados obtidos por liofilização não apresentaram forma definida, com pedaços em tamanhos variados visto que o produto seco foi triturado em almofariz porém as micrografias do material atomizado revelaram a formação de cápsulas globosas, com predominância de superfícies rugosas, embora algumas microcápsulas observadas tenham apresentado a superfície completamente lisa; entretanto, a integridade das microcápsulas obtidas pode ser observada.

CAVALCANTI-MATA et al. (2005) observaram, analisando a polpa de umbu em pó obtido através da secagem por aspersão utilizando, como agente encapsulante, a maltodextrina e a secagem a uma temperatura de 160 °C, em que as amostras tiveram um número maior de partículas com aspecto enrugado, com formato côncavo e, aderidas à concavidade dessas partículas, foram encontradas partículas menores.

PAGANI (2010) observou, estudando o suco de acerola em pó desidratado pelo método de secagem por aspersão em temperatura de 180 °C e adicionadas ao mesmo, a maltodextrina (DE = 1920) e a goma arábica nas concentrações (0, 5, 10, 15 e 20%), que em relação à morfologia do material estudado foi constatado que as formulações testadas e

as condições utilizadas no processo de secagem por atomização foram adequadas para a obtenção de microcápsulas íntegras, propiciando boa estabilidade do material bioativo.

CRUZ (2013) avaliou o método de secagem em camada de espuma com a adição de 2 e 5% de emulsificante e temperatura de secagem de 60, 70 e 80 °C para obtenção de polpa de goiaba em pó sendo realizada sua caracterização morfológica, e verificou a falta de uniformidade para todas as amostras em todos os tratamentos avaliados, sendo possível observar que todas as amostras apresentaram cavidades em sua estrutura oriundas, provavelmente, dos espaços deixados pelas bolhas de ar, o que contribui para a porosidade da polpa de goiaba em pó.

BEZERRA (2014) avaliou o efeito da adição de sacarose, etanol e maltodextrina sobre o comportamento higroscópico e microestrutura da polpa do marolo liofilizada. A formulação dos ensaios constituiu de 0, 2, 7, 12 e 14% de sacarose, etanol e maltodextrina, presentes em cada ensaio, adicionados na polpa do marolo antes da liofilização, que durou cerca de 72 h. Verificou-se, nessas amostras, que o comportamento do perfil da difração de raios-X (D x R) indicou a presença de material amorfo e cristalino e o predomínio da superfície amorfa devido, possivelmente à presença da maltodextrina. Os tamanhos de partículas foram altos e esta elevação se deve à composição natural do marolo, tal como a presença dos aditivos, o que ficou evidenciado nas fotomicrografias.

## **2.5 – Armazenamento**

Define-se vida-de-prateleira de um alimento com relação ao tempo em que um produto é conservado em determinadas condições de umidade e temperatura, apresentando alterações consideradas aceitáveis pelo fabricante, pelo consumidor e pela legislação alimentar vigente (VITALI & QUAST, 2004). Os parâmetros de qualidade utilizados na avaliação desses produtos são os sensoriais (sabor, odor, cor e textura), aparência, carga microbiana e valor nutricional (SARANTÓPOULOS et al., 2001).

Para estimar a vida-de-prateleira de um alimento deve-se conhecer os mecanismos e a cinética das principais reações de deterioração. A vida-de-prateleira de um produto tem sido considerada uma informação de importância fundamental para as empresas pois desta forma podem gerenciar melhor a distribuição e informar as condições de conservação aos consumidores (MOURA et al., 2007). Contudo, a estimativa da vida de prateleira não é uma tarefa fácil e de resultado preciso, sendo imprescindível o máximo de conhecimento sobre o produto a ser armazenado. Os alimentos apresentam tempo de vida útil diferente,

alguns apresentam uma longa vida de prateleira o que dificulta a determinação experimental em tempos compatíveis com as programações comerciais das empresas. Nesses casos se aplicam os Testes Acelerados de Vida-de-Prateleira (TAVP) que consistem no armazenamento do produto em condições de umidade e temperatura definidas e controladas de forma a acelerar as taxas de transformação (VITALI et al., 2004).

Longos tempos de armazenamenro fazem com que a qualidade dos produtos alimentícios seja alterada devido às diversas reações de natureza enzimática e oxidativa, entre outras. Para evitar tais deteriorações os produtos são embalados de forma a serem protegidos para evitar o contato com o oxigênio e o ganho de umidade aumentando, assim, sua vida-de-prateleira (SILVA et al., 2005). É relevante ressaltar que cada alimento apresenta maior vida útil em determinados tipos de embalagem. No caso dos produtos desidratados, as embalagens laminadas têm sido mais efetivas em relação às embalagens de polietileno, conforme demonstram alguns resultados da literatura, devido à maior proteção contra oxidação e absorção de umidade (SOARES et al., 2001).

ENDO et al. (2007) avaliaram a vida-de-prateleira do suco de maracujá desidratado por secagem por aspersão, adicionado de açúcar, embalado em embalagens laminadas e armazenado em ambientes com 30 e 40 °C e 84% de umidade relativa. O produto foi avaliado através de determinações físicas e microbiológicas; os autores verificaram que, durante o armazenamento, a cor e o tamanho das partículas se alteraram, tornando-se escuros e aglomerados, principalmente os que foram adicionados de açúcar e expostos a 40 °C. Quanto aos parâmetros microbiológicos os sucos desidratados sem a adição de açúcar permaneceram estáveis. Foram considerados 120 dias a 30 °C e 60 dias a 40 °C, como período de armazenamento seguro.

MOURA et al. (2007) estudaram uma estimativa da vida-de-prateleira de maçã-passa obtida em secador, na temperatura de 70 °C, e acondicionada em embalagens de polietileno de 140  $\mu$ , com aproximadamente 200 g de capacidade e armazenada em câmaras com temperatura controlada: 5 °C (UR  $\approx$  90%) - controle; 25 °C (UR  $\approx$  70%) – ambiente e 35 °C (UR  $\approx$  40%) - acelerado (TAVP), por um período de aproximadamente 200 dias. A umidade e a atividade de água permaneceram praticamente constantes nas temperaturas de 5 e 25 °C; já na temperatura de 35 °C a redução da umidade foi, durante os 177 dias de acompanhamento, da ordem de 20%, com isto, pode-se dizer que a embalagem utilizada apresentou barreira adequada ao vapor d'água. Ao final deste estudo os

pesquisadores concluíram que o emprego de testes acelerados visando à determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa demonstrou ser factível.

RAMOS et al. (2008) avaliaram o efeito do tipo de embalagem (polietileno transparente; polietileno + folha de alumínio; policloreto de vinilideno sob vácuo transparente e policloreto de vinilideno sob vácuo + folha de alumínio) e do tempo de armazenamento em condições ambientais na qualidade físico-química e microbiológica do abacaxi desidratado a uma temperatura de 60 °C, até obterem um produto com teor de água de 20–25% (base úmida) e observaram diferenças significativas nos atributos teor de água, acidez titulável, sólidos solúveis, ratio, dureza e cor, para a variável tempo de armazenagem e diferença significativa dos atributos teor de água, carotenoides, atividade de água, dureza e as coordenadas de cor a\* e b\* para as embalagens.

MENEZES et al. (2009) efetuaram a secagem da polpa de frutos de acerola verde em estufa com circulação de ar a 70 °C e pelo processo de liofilização, com vista à obtenção de um pó para ser utilizado como suplemento alimentar e estudaram sua estabilidade durante o período de 180 dias em condições ambientais, mediante análises físico-químicas. Os resultados demonstraram um aumento no teor de umidade em ambos os pós; entretanto, a acidez total titulável, taninos e a vitamina C sofreram redução com o tempo de armazenamento, tanto para pó secado em estufa como para o liofilizado. Com relação à vitamina C, a redução foi de 33,47% no pó liofilizado enquanto que no secado em estufa foram verificados 49,52%.

LISBÔA et al. (2012) avaliaram a estabilidade da polpa de figo-da-índia em pó, obtida a partir do processo de secagem em camada de espuma, acondicionada em embalagens laminadas, durante 100 dias de armazenamento em condições controladas de temperatura (25 e 40 °C) e umidade relativa (55,4 e 83,3%). Durante o armazenamento das amostras em pó as embalagens laminadas não evitaram a absorção de água nas duas temperaturas de armazenamento, com conseqüente aumento da atividade de água e diminuição dos açúcares redutores. As amostras em pó armazenadas a 40 °C sofreram escurecimento.

TODISCO (2012) avaliou a estabilidade dos compostos bioativos da polpa de siriguela em pó obtida por spray-dryer, cujo pó da polpa de siriguela foi obtido por secagem de solução contendo 90% de polpa integral congelada e 10% de maltodextrina (DE = 20), com uso de um bico aspersor de 1,2 mm de diâmetro, vazão de ar de 3,0 L/min<sup>1</sup> e pressão de atomização de 100 psi. A temperatura de secagem foi de 120 °C (entrada) e 80 °C (saída), com alimentação de 240 mL/h. As amostras dos pós foram armazenadas em

embalagens plásticas de polietileno e embalagens laminadas, com cerca de 30 g de pó em cada uma delas, seladas e armazenadas a  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  e  $85\% \pm 5$  de UR, sendo analisadas inicialmente e a cada 15 dias; por um período de 120 dias observou-se que a embalagem laminada foi a que melhor preservou as características físicas e químicas do pó de polpa de siriguela desidratada em secador por aspersão.

## **2.6 – Isotermas de sorção de água**

As curvas de adsorção de água são matematicamente expressas como equações de equilíbrio isotérmicas. Essas equações prevêm o efeito da temperatura e da pressão na quantidade de água adsorvida por determinado produto. A determinação apenas da umidade de equilíbrio em produtos secos é importante para a otimização do processo de desidratação (ERBAS et al., 2005).

Para as frutas desidratadas na forma de pó, o estudo das isotermas de adsorção de água é importante pois tem, como objetivo, estabelecer se o produto sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar tende a sorver água; desta forma, podem ser previstas reações químicas e enzimáticas e desenvolvimento de microrganismos a partir do conhecimento da  $a_w$ , além de propor sistemas adequados de embalagem para determinado produto (OLIVEIRA et al., 2010).

Nas amostras em pó a qualidade e a vida-de-prateleira têm forte dependência com o seu teor de água, que exerce influência sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e o manuseio, interferindo também nos processos deteriorativos que ocorrem com os alimentos (ALEXANDRE et al., 2007).

As isotermas da adsorção de água de muitos alimentos não são lineares; geralmente, apresentam forma sigmoide e têm sido classificadas como isotermas do tipo II, sendo que no caso dos frutos predominam formas com concavidade voltada para o eixo das abcissas, até níveis intermediários de umidade relativa passando a uma forma exponencial em regiões de umidades relativas elevadas. Alimentos ricos em componentes solúveis, açúcares, arroz, café e ácido cítrico cristalino em geral, são do tipo III. As isotermas dos tipos I, IV e V, não apresentam interesse maior no caso de alimentos (LIMA, 2006).

Existem, na literatura, diversos modelos para a representação das isotermas de sorção, geralmente empíricos e úteis na caracterização dos produtos, como os modelos de GAB, Peleg e Oswin.

O modelo de GAB (Equação 2.1) é uma extensão do modelo de BET, que é baseado no conceito de adsorção de umidade em multicamadas, muito útil no teor de água ligada a sítios polares específicos de sistemas de alimentos desidratados; no entanto, tal modelo é restrito a baixos valores de atividade de água; logo, o modelo de GAB resulta em uma equação tri-paramétrica. Segundo PRADO (1998) este modelo permite ajustar os dados de sorção de produtos agrícolas até atividades de água de 0,9. Os parâmetros C e K deste modelo representam as constantes de adsorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as camadas subsequentes em um sítio de sorção.

$$X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (2.1)$$

em que:

$a_w$  - atividade de água

$X_{eq}$  - umidade de equilíbrio

$X_m$  - umidade na monocamada molecular

C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto

FALADE et al. (2003) analisaram as isotermas de abacate desidratado osmoticamente em soluções de sacarose nas concentrações de 52, 60 e 68 °Brix, e observaram a influência da temperatura nas curvas de sorção de umidade ajustando os dados a oito modelos matemáticos e concluíram que o modelo de GAB resultou no melhor ajuste.

HOFSETZ (2007) determinou que as amostras de banana nanica de origem portuguesa submetidas à secagem HTST (150 °C - 12 min) apresentaram bom ajuste dos dados experimentais ( $R^2 > 0,985$ ). Dentre os dois modelos ajustados o modelo de GAB foi o que apresentou o maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,991$ ) e o menor valor de SQR (0,021), o que é desejável, e foi escolhido para descrever o comportamento da isoterma de sorção da banana seca de origem portuguesa, dentro da faixa de  $a_w$  estudada.

Em 1993 PELEG propôs um modelo simples empírico de quatro parâmetros de potência dupla (Equação 2.2), que pode ser aplicado a curvas sigmoidais, ou não, apresentando melhor ou igual ajuste matemático que a equação de GAB (BARONI, 2004).

$$X_{eq} = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (2.2)$$

em que:

$X_{eq}$  - umidade de equilíbrio

$K_1$  e  $K_2$  - constantes da equação

$a_w$  - atividade de água

$n_1$  e  $n_2$  - constantes da equação

GURJÃO (2006) utilizou o método estático-indireto, através do equipamento Termoconstanter Novasina TH200, para determinação das isotermas de adsorção de umidade (20, 30, 40 e 50 °C) do extrato em pó de tamarindo desidratado a 70 °C pelo processo de secagem em camada de espuma. Foi constatado para as diferentes atividades de água ( $a_w$ ), na mesma temperatura, que os valores da umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) aumentam e as mesmas diminuem com o incremento da temperatura. O modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais em todas as temperaturas avaliadas, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,99 e desvios percentuais médios (P) inferiores a 6,6%. As isotermas de adsorção do extrato em pó de tamarindo demonstraram um comportamento típico de isotermas do tipo III.

ALEXANDRE et al. (2007) observaram que o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, apresentando  $R^2$  superiores a 0,98.

O modelo de Oswin (Equação 2.3) é empírico, e se baseia na expressão matemática para curvas de formato sigmoidal, apresentando apenas dois parâmetros, além de ser de fácil linearização.

$$X_{eq} = A \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^B \quad (2.3)$$

em que:

$X_{eq}$  - umidade de equilíbrio

$a_w$  - atividade de água

A e B - parâmetros de ajuste do modelo

SILVA et al. (2007) determinaram, pelo método dinâmico, as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 10 a 50 °C, do cajá em pó, secado em secador por

aspersão com diferentes tipos e concentrações de aditivos e verificaram que o modelo de Henderson modificado por Cavalcanti-Mata, foi o que melhor representou os dados experimentais do cajá em pó secado com 15% de maltodextrina e do secado com 7,5% de maltodextrina + 7,5% de amido modificado enquanto o modelo de Oswin modificado foi o que melhor representou os dados experimentais do cajá em pó secado com 10% de maltodextrina + 5% de amido modificado.

OLIVEIRA et al. (2011) avaliaram o comportamento higroscópico do sapoti em pó obtido pelo processo de liofilização através de isotermas de adsorção, em que as mesmas foram construídas através do ajuste de dados experimentais aos modelos matemáticos de BET, GAB, Oswin e Henderson, que chegaram à conclusão de que a aplicação dos modelos matemáticos de GAB e Oswin foi aquela que melhor se ajustou para o pó de sapoti liofilizado com erro de 18,01 e 18,10%, respectivamente.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas – LAPPA, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.

#### 3.1 - Matérias-primas

A matéria-prima utilizada foi frutos de atemoieira (*Annona cherimola* Mill x *Annona squamosa* L.) cv. “Gefner” (Figura 3.1), adquiridos no município de Petrolina, PE, em estágio de maturação maduro, determinado pela coloração da casca quando os frutos mudam de cor verde escuro para verde-claro ou quando os carpelos começam a se distanciar um do outro, exibindo uma tonalidade mais clara entre eles. O referido município está localizado na região do semiárido pernambucano, latitude 09°23'55" sul e a uma longitude 40°30'03" oeste, estando a uma altitude de 376 m, clima tropical semiárido; com temperatura máxima de 32 °C e mínima de 20 °C e se encontra a 722 km da capital, Recife.

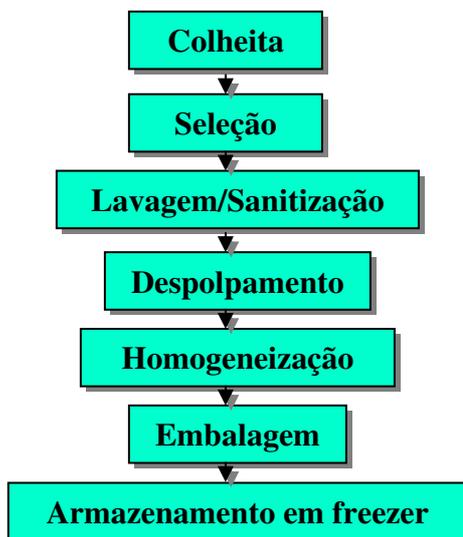
Os agentes espessantes utilizados foram o Emustab® e a Super Liga Neutra®, ambos adquiridos no comércio local do município de Campina Grande – PB.



**Figura 3.1** – Atemoia cv. “Gefner” (EMBRAPA, 2012)

### 3.2 - Processamento da atemoia

Após a aquisição os frutos foram acondicionados em caixas plásticas e transportados até o laboratório onde foram processados de acordo com o fluxograma da Figura 3.2, para obtenção da polpa integral de atemoia.



**Figura 3.2** - Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção da polpa de atemoia integral

Os frutos foram selecionados manualmente quanto ao estágio de maturação, eliminando-se os exemplares com danos mecânicos e podridão; em seguida, foram passados por um processo de lavagem em água corrente; logo após foram sanitizados por imersão dos frutos em uma solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm, durante 10 min; posteriormente, foram enxaguados em água corrente para retirada do excesso da solução sanitizante.

Após escoamento natural da água a casca dos frutos foi retirada manualmente com o auxílio de uma colher de aço inoxidável para extração do endocarpo (polpa + sementes). A polpa, juntamente com as sementes, seguiu para uma despulpadeira mecânica, onde então foi obtida a polpa integral de atemoia. O processo de embalagem foi realizado manualmente e a polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade com capacidade para 500 g; em seguida, as polpas embaladas foram armazenadas em freezer a uma temperatura de  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  para posterior utilização nos experimentos.

### **3.3 - Caracterização física, química e físico-química da polpa integral**

A polpa de atemoia integral foi caracterizada quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos: pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água/sólidos totais, cinzas, ácido ascórbico, açúcares redutores, pectina, sólidos insolúveis em água, cor (luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo), atividade de água e massa específica. Todos esses procedimentos foram realizados em triplicata.

#### **3.3.1 - pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico; o potenciômetro foi calibrado previamente com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 e os resultados foram expressos em unidades de pH.

#### **3.3.2 – Acidez total titulável**

A acidez total titulável foi determinada através do método titulométrico do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), cujas amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 N e os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico.

#### **3.3.3 - Sólidos solúveis totais (°Brix)**

Os sólidos solúveis totais (°Brix) foram determinados por leitura direta em refratômetro Abbé, de acordo com o manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### **3.3.4 – Teor de água/Sólidos totais**

Os sólidos totais e o teor de água foram determinados através do método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), expressos em percentagem (%).

### **3.3.5 – Cinzas**

O teor de cinzas foi determinado através da metodologia descrita por BRASIL (2005), utilizando-se uma mufla na temperatura de 525 °C; os resultados foram expressos em percentagem (%).

### **3.3.6 - Ácido Ascórbico**

O ácido ascórbico foi determinado segundo o método da AOAC (2010), modificado por BENASSI & ANTUNES (1988). Nessa metodologia o ácido oxálico é usado como solução extratora e se baseia na titulação da amostra com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio, que apresenta a cor rosa em solução ácida e a cor azul em solução alcalina; enfim, os resultados foram expressos em mg/ 100g de ácido ascórbico.

### **3.3.7 - Açúcares redutores**

Os açúcares redutores foram determinados utilizando-se o método de redução alcalina, metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) e os resultados expressos em percentagem de glicose.

### **3.3.8 – Pectina**

A pectina foi determinada segundo a metodologia descrita por RANGANA (1979) e os resultados expressos em percentagem de pectato de cálcio.

### **3.3.9 – Sólidos insolúveis em água**

A determinação foi realizada por meio do método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) e os resultados expressos em percentagem (%).

### **3.3.10 - Cor**

Os parâmetros de cor da polpa integral de atemoia foram determinadas utilizando-se o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus. Neste instrumento, equipado com

iluminante D65, ângulo de observação de 10° e calibrado com placa padrão branca (X=80,5; Y=85,3; Z=90,0) foram determinados os seguintes parâmetros: L\* - luminosidade; a\* - transição da cor verde (-a\*) para o vermelho (+a\*); e b\* - transição da cor azul (-b\*) para a cor amarela (+b\*).

### 3.3.11 – Atividade de água

A atividade de água da polpa integral de atemoia foi determinada com o equipamento Aqualab 3TE, da Decagon Devices; a medição foi feita com as amostras, a temperatura de 25 °C.

### 3.3.12 – Massa específica

As massas específicas da polpa de atemoia integral foram determinadas em triplicata, utilizando-se o método picnométrico na temperatura de 25 °C.

O método consiste na medida da massa de um volume conhecido do líquido em um picnômetro de 25 mL; a massa específica foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras (Equação 3.1).

$$\rho = m / V \quad (3.1)$$

em que:

$\rho$  - massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

m - massa (kg)

V - volume (m<sup>3</sup>)

## 3.4 - Preparo das suspensões

As polpas integrais de atemoia foram descongeladas até atingir a temperatura ambiente ( $\approx 25$  °C); em seguida, foram elaboradas formulações com adição de Emustab® e Super Liga Neutra ® em diferentes concentrações (1,0, 1,5 e 2,0%), respectivamente, esses aditivos foram utilizados por apresentarem propriedade emulsificante e estabilizante, garantindo, desta forma, a formação da suspensão nos tratamentos testados. Também foram utilizados diferentes tempos de batimento (10, 15 e 20 min), com a finalidade de

formar uma suspensão estável para ser desidratada em camada fina resultando, no final do processo, em amostras em pó. Tais formulações foram homogeneizadas em batedeira doméstica planetária e analisadas em triplicata, quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos, para posteriormente serem secadas.

### 3.5 - Planejamento experimental para a formação das suspensões

Para a realização da seleção da melhor suspensão com três diferentes concentrações de Emustab® e Super Liga Neutra ® (1,0; 1,5 e 2,0%) foi elaborado um planejamento experimental fatorial  $2^3$ , com 4 combinações dos níveis +1 e -1, e 3 experimentos no ponto central, conforme Tabela 3.1, totalizando 11 ensaios. O objetivo deste planejamento foi avaliar a influência das variáveis de entrada (independentes) concentração de Emustab®, concentração de Super Liga Neutra ® e tempo de batimento, sobre as variáveis de resposta (dependentes): densidade das suspensões, expansão volumétrica (over-run) e estabilidade das suspensões, reduzindo a quantidade de ensaios e obtendo, conseqüentemente, redução de tempo e custo.

**Tabela 3.1** – Níveis reais e codificados do planejamento fatorial  $2^3$

Variável	Nível -1	Nível 0	Nível +1
Concentração de Emustab (%)	1,0	1,5	2,0
Concentração de Super Liga Neutra (%)	1,0	1,5	2,0
Tempo de batimento (min)	10	15	20

Com o objetivo de verificar a influência das variáveis de entrada sobre as respostas a matriz de planejamento (Tabela 3.2) foi elaborada com oito experimentos distintos e três pontos centrais.

Para a análise de regressão dos dados experimentais do planejamento experimental fatorial e na construção das figuras, foi utilizado o programa Statistica 5.0.

**Tabela 3.2** – Matriz de planejamento fatorial  $2^3$  com 3 repetições no ponto central para as suspensões (polpa de atemoia integral com diferentes concentrações de Emustab, liga neutra e tempo de batimento)

<b>Experimento (n<sup>o</sup>)</b>	<b>Concentração de Emustab (%)</b>	<b>Concentração de liga neutra (%)</b>	<b>Tempo de batimento (min)</b>
<b>1</b>	-1(1,0)	-1(1,0)	-1(10)
<b>2</b>	+1(2,0)	-1(1,0)	-1(10)
<b>3</b>	-1(1,0)	+1(2,0)	-1(10)
<b>4</b>	+1(2,0)	+1(2,0)	-1(10)
<b>5</b>	-1(1,0)	-1(1,0)	+1(20)
<b>6</b>	+1(2,0)	-1(1,0)	+1(20)
<b>7</b>	-1(1,0)	+1(2,0)	+1(20)
<b>8</b>	+1(2,0)	+1(2,0)	+1(20)
<b>9</b>	0(1,5)	0(1,5)	0(15)
<b>10</b>	0(1,5)	0(1,5)	0(15)
<b>11</b>	0(1,5)	0(1,5)	0(15)

### 3.5.1 – Seleção da suspensão

A seleção da suspensão foi feita através da utilização de diferentes concentrações de Emustab® e Super Liga Neutra ® adicionados à polpa de atemoia integral com diferentes tempos de batimento para a formação de uma suspensão estável com características adequadas à secagem; para tal foi analisada a densidade das suspensões em função do tempo de batimento buscando-se, com base na literatura, um valor próximo a 0,5 g/cm<sup>3</sup>; foram avaliadas, a seguir, a expansão volumétrica (over run) e a cinética da estabilidade da suspensão.

#### 3.5.1.1 – Massa específica da suspensão

As massas específicas das suspensões foram determinadas através da relação entre a massa e o volume da amostra colocada em um picnômetro de alumínio de 100 mL a 25 °C; as determinações foram realizadas em triplicata, para todos experimentos testados.

### 3.5.1.2 – Expansão volumétrica (*over-run*)

Foi construído um gráfico da massa específica das suspensões em função do tempo de batimento. O tempo total de batimento testado foi de 30 min, sendo a densidade da suspensão verificada a cada 5 min. A massa específica em cada tempo foi determinada através da relação entre a massa e o volume da amostra, colocada em um recipiente de volume conhecido a 25 °C.

Com os dados de massa específica determinou-se o volume da suspensão para os diferentes tempos de batimento, através da relação entre a massa e a massa específica da amostra; a partir dos dados coletados se definiu o melhor tempo de batimento.

A quantidade de ar incorporada (*over-run*), Equação 3.2, foi determinada de acordo com FELLOWS (2006) considerando-se o volume da polpa e o volume da suspensão (mistura dos ingredientes).

$$Over - run = \frac{\text{massa esp. da polpa} - \text{massa esp. da suspensão}}{\text{massa esp. da suspensão}} * 100 \quad (3.2)$$

### 3.5.1.3 - Estabilidade das suspensões

Foi determinada pelo método da proveta com um funil de vidro acoplado e um filtro de nylon (Figura 3.3) em estufa com circulação de ar na temperatura de 70 °C, durante 90 min com medições a cada 5 min do volume do líquido drenado.



**Figura 3.3** – Sistema de medição da estabilidade da suspensão

### **3.5.2 – Caracterização física, química e físico-química das suspensões**

As suspensões elaboradas com as polpas de atemoia foram analisadas quanto aos seguintes parâmetros: pH, sólidos solúveis totais (°Brix), teor de água/sólidos totais, acidez titulável, ácido ascórbico, cinzas, açúcares redutores, açúcares não-redutores e açúcares totais, cor (luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo), atividade de água e massa específica, segundo as metodologias descritas nos itens 3.3.

## **3.6 – Secagem**

### **3.6.1 - Planejamento experimental para a secagem em camada de espuma**

A secagem das suspensões de polpa de atemoia com diferentes concentrações de Emustab® e Super Liga Neutra ® com diferentes tempos de batimento foi realizada de acordo com o planejamento experimental fatorial  $2^2$ , com 4 combinações dos níveis +1 e -1 e 3 experimentos no ponto central e 4 pontos axiais, conforme Tabela 3.3, totalizando 11 ensaios. Este planejamento teve, como objetivo, avaliar a influência das variáveis de entrada (independentes): temperatura do ar de secagem e espessura da camada, sobre as variáveis de resposta (dependentes): teor de água, sólidos totais, ácido ascórbico, luminosidade, intensidade de vermelho e insolubilidade.

Após a análise dos resultados das variáveis de resposta (dependentes) as mesmas apresentaram o modelo linear proposto não significativo a 95% de confiança; foi feita a ampliação do planejamento experimental fatorial, ou seja, foram acrescentados dois níveis axiais para cada variável de entrada, inserindo quatro novos experimentos na matriz de planejamento, totalizando 11 experimentos.

**Tabela 3.3** – Níveis reais e codificados do planejamento fatorial  $2^2$  e 4 pontos axiais

Variável	- 1,4142	-1	0	+1	+ 1,4142
Temp. ar de secagem (°C)	55,85	60	70	80	84,15
Esp. camada de espuma (cm)	0,29	0,5	1,0	1,5	1,71

Com o objetivo de verificar a influência das variáveis de entrada sobre as respostas, a matriz de planejamento (Tabela 3.4) foi elaborada com quatro experimentos distintos, quatro pontos axiais e três pontos centrais.

Para a análise de regressão dos dados experimentais do planejamento experimental fatorial e na construção das figuras, foi utilizado o programa Statistica 5.0.

**Tabela 3.4** – Matriz de planejamento fatorial  $2^2$  com composto central e 3 repetições no ponto central para a secagem das suspensões

Experimento (n°)	Espessura da camada (cm)	Temperatura do ar de secagem (°C)
1	-1(0,5)	-1(60)
2	-1(0,5)	+1(80)
3	+1(1,5)	-1(60)
4	+1(1,5)	+1(80)
5	0(1,0)	-1,4142(55,85)
6	0(1,0)	1,4142(84,15)
7	-1,4142(0,29)	0(70)
8	1,4142(1,71)	0(70)
9	0(1,0)	0(70)
10	0(1,0)	0(70)
11	0(1,0)	0(70)

### 3.6.2 – Secagem em camada de espuma

A Figura 3.4 demonstra o processo de secagem em que a suspensão selecionada como a melhor foi submetida à secagem em camada de espuma e espalhada em bandejas de aço inoxidável formando uma camada de espuma com diferentes espessuras (0,29; 0,5; 1,0; 1,5 e 1,71 cm), medidas com o auxílio de um paquímetro; em seguida, foram colocadas em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 55,85; 60; 70; 80 e 84,15 °C definidas por testes preliminares até atingirem peso constante; logo após a secagem, o produto seco foi retirado das bandejas, triturado e homogeneizado em processador doméstico para obtenção do produto em pó; na sequência, este pó foi acondicionado em embalagens laminadas e levado ao dessecador para esfriar; após atingir a temperatura ambiente as amostras em pó foram conservadas em recipientes com sílica gel, para posterior utilização nos ensaios analíticos.



**Figura 3.4** – Processo de obtenção da camada de espuma com posterior secagem em estufa com circulação de ar

### 3.7 – Cinética de secagem

As curvas de cinética de secagem da formulação selecionada foram obtidas em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, pesando-se as bandejas até massa constante, em intervalos regulares. Com os dados experimentais foram calculados os valores da razão de umidade (Equação 3.3).

$$Ru = \frac{X - X_0}{X_0 - X_e} \quad (3.3)$$

em que:

Ru – razão do teor de água, adimensional

X – teor de água, base seca

Xe – teor de água de equilíbrio, base seca

Xo – teor de água inicial, base seca

Foram aplicados os modelos semiteóricos de Henderson & Pabis (Equação 3.4), Page (Equação 3.5) e Midilli (Equação 3.6), para determinação das curvas de secagem.

### **Henderson & Pabis**

$$Ru = a \cdot \exp(-kt) \quad (3.4)$$

em que:

Ru – razão do teor de água, adimensional

a – constante adimensional da equação

k – Constante da equação (1/h)

t – tempo (min)

### **Page**

$$Ru = \exp(-kt^n) \quad (3.5)$$

em que:

Ru – razão do teor de água, adimensional

k – constante da equação (1/h)

n – constante da equação

t – tempo (min)

### **Midilli**

$$Ru = a \cdot \exp(-kt^n) + bt \quad (3.6)$$

em que:

Ru – razão do teor de água, adimensional

a – constante adimensional da equação

k – constante da equação (1/h)

b – constante adimensional da equação

n – constante da equação

t – tempo (min)

Para avaliar o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foram utilizados, como parâmetros, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (Equação 3.7).

$$DQM = \frac{\sqrt{\sum (RU_{pred} - RU_{exp})^2}}{n} \quad (3.7)$$

em que:

DQM – desvio quadrático médio

$RU_{pred}$  – razão do teor de água predita pelo modelo

$RU_{exp}$  – razão do teor de água experimental

n – número de observações

### 3.8 – Seleção da melhor amostra da atemoia em pó

A seleção do pó foi feita através da utilização de diferentes temperaturas do ar de secagem e espessura da camada; para isto foram analisados os parâmetros de teor de água, sólidos totais, ácido ascórbico, luminosidade, intensidade de vermelho e insolubilidade. Todos os parâmetros foram obtidos seguindo as metodologias descritas no item 3.3, exceto a insolubilidade.

#### 3.8.1 – Insolubilidade

A análise de insolubilidade se baseia na determinação da porcentagem de material não-solubilizado em um minuto de agitação. Utilizando-se o método de DACANAL (2005) foi pesado 1 g da amostra e adicionados 50 mL de água destilada, a temperatura ambiente, em um béquer de 100 mL. A mistura foi agitada com um agitador magnético e exatamente após 1 min de agitação fez-se a filtração a vácuo, com papel de filtro. O papel

de filtro com o material retido foi secado em estufa, a temperatura de 60 °C, por 24 horas. A massa seca da amostra retida no papel de filtro foi determinada e o percentual de material não solubilizado (Insol.) foi calculado utilizando-se a Equação 3.8.

$$Insol. = \frac{m_2(1 + Xbs)}{m_1} * 100 \quad (3.8)$$

em que:

Insol – insolubilidade (%)

$m_1$  – massa inicial da amostra (g)

$m_2$  – massa de amostra remanescente no papel de filtro (g)

Xbs – teor de água da amostra em base seca

### 3.8.2 – Caracterização física, química e físico-química das amostras de atemoia em pó

As amostras de atemoia em pó também foram avaliadas quanto aos parâmetros de pH, acidez titulável, cinzas, açúcares redutores, açúcares não-redutores, açúcares totais, intensidade de amarelo, atividade de água e massa específica, seguindo as metodologias citadas no item 3.3, exceto a molhabilidade, tempo de reconstituição, tempo de escoamento, ângulo de repouso e rendimento.

#### 3.8.2.1 – Molhabilidade

Para se determinar a molhabilidade da atemoia em pó foi aplicado o método de SCHUBERT, em que cerca de 1g da amostra é vertido em um béquer de 250 ml com 100 ml de água, a temperatura ambiente. O tempo necessário para o completo desaparecimento do pó da superfície do líquido em repouso, é cronometrado. O cálculo da taxa de molhabilidade foi feito através da Equação 3.9.

$$Tm = \frac{N}{t} \quad (3.9)$$

em que:

Tm – taxa de molhabilidade

N – peso da amostra (g)

t – tempo (min)

### 3.8.2.2 – Tempo de reconstituição

As características de reconstituição foram determinadas colocando-se 1g da amostra (em duplicata) em um tubo de ensaio, acrescido de 5ml de água destilada. O tubo de ensaio foi levado a um agitador de tubos; a cada 15 segundos o procedimento era interrompido e se verificava se havia total dispersão do pó; o tempo necessário para atingir tal condição foi considerado como de reconstituição.

### 3.8.2.3 – Tempo de escoamento e ângulo de repouso

Com vista à determinação do tempo de escoamento, foi utilizado um funil cuja abertura de saída foi vedada; depois de cheio com a amostra o funil teve sua vedação retirada e, em seguida, foi iniciada a contagem de tempo até que todo o material escoasse; o tempo necessário para que o processo se completasse, foi considerado tempo de escoamento.

Para a determinação do ângulo de repouso foi utilizada a seguinte metodologia: na pilha de pó escoado do funil, formada na placa de recolhimento da determinação anterior, foram medidos o diâmetro (D) da pilha e sua altura (h), obtendo-se o ângulo de repouso ( $\Theta$ ), de acordo com a Equação 3.10.

$$\Theta = \frac{\arctg 2h}{D} \quad (3.10)$$

em que:

$\Theta$  - ângulo de repouso

h – altura da pilha

D – diâmetro

### 3.8.2.4 - Rendimento

O rendimento das amostras de atemoia em pó foi determinado por meio da equação 3.11.

$$R = \frac{M_{final} * 100}{M_{inicial}} \quad (3.11)$$

em que:

R - rendimento (%)

M<sub>inicial</sub> - massa inicial da espuma (g)

M<sub>final</sub> – massa final do pó (g)

### 3.8.2.5 – Distribuição granulométrica

Para este teste foram utilizadas peneiras com diferentes Tyler (24, 32, 42, 48, 60 e 80). A quantidade de amostra utilizada foi de 40 g e as peneiras com a amostra foram levadas ao equipamento *Granutest*, com o reostato na posição 80, pelo tempo de 30 min; na quantificação da massa retida nas peneiras foi utilizada uma balança semianalítica com precisão de ± 0,01 g; os resultados apresentados foram a média de três determinações.

### 3.8.2.6 – Higroscopicidade

A higroscopicidade das amostras em pó foi determinada de acordo com a metodologia proposta por CAI & CORKE (2000). Amostras em pó de aproximadamente 1 g foram pesadas em cadinhos e colocadas dentro de recipientes herméticos contendo solução saturada de KCl (umidade relativa ≅ 83% a 25 °C) e postos em BOD com temperatura controlada de 25 °C. Durante aproximadamente 10 dias as amostras foram pesadas até atingirem peso constante e a higroscopicidade foi expressa como g de água adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100 g).

### 3.8.2.7 – Morfologia

O estudo da morfologia das partículas foi realizado através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), da marca Jeol JSM-330 A “Scanning microscope”, que foi regulado à distância de trabalho de 16 mm, voltagem de aceleração de 15 kV e ampliação de 100 X. As amostras foram dissolvidas em formaldeído para melhor visualização e colocadas em um suporte (“stubs”) com fita adesiva dupla face, onde a amostra foi fixada e coberta com uma camada de ouro de 20 nm em metalizador “Balzers”.

### 3.9 - Cinética de degradação do ácido ascórbico da amostra em pó

A partir da análise dos resultados do planejamento experimental das amostras em pó, foi feita uma seleção do melhor pó levando-se em consideração principalmente os parâmetros determinados logo após a secagem em camada de espuma. A cinética de degradação do ácido ascórbico da atemoia em pó selecionada como a melhor amostra, foi realizada em condições de temperatura e umidade relativa controlada. A amostra em pó foi colocada em copos descartáveis envolvidos com fita isolante e armazenada em potes herméticos contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl) de forma a criarem ambientes com umidade relativa média de 83%. Os potes foram colocados em câmaras B.O.D. nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

Foram determinados os teores de ácido ascórbico durante o período de 15 dias seguindo a metodologia descrita no item 3.3.6. As constantes cinéticas de ordem zero e de primeira ordem, foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5 – Modelos cinéticos**

<b>Ordem da reação</b>	<b>Modelo</b>
Zero	$A = A_0 - k\theta$
Primeira	$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta$

A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo “ $\theta$ ”;  $A_0$  - concentração inicial do parâmetro avaliado; k – constante da velocidade da reação e  $\theta$  – tempo.

Para avaliar o modelo que foi melhor ajustado pelos dados experimentais, foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O tempo de meia vida ( $\theta_{(1/2)}$ ) foi calculado através da Equação 3.12 (AZEREDO, 2004). O valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação da cor.

$$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{k} \quad (3.12)$$

### 3.9.1 – Efeito da temperatura

Foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 3.13), descrita por TORALLES et al., (2008), para verificar o efeito da temperatura na constante cinética (k), para as reações de degradação do ácido ascórbico, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Novamente o valor de k utilizado foi o do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação da cor.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{RT} \quad (3.13)$$

em que:

k – constante da reação

A – fator pré-exponencial

$E_A$  – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie)

R – constante universal dos gases, 8,31 J/mol K

T – temperatura absoluta (K)

O fator  $Q_{10}$  que indica o aumento ou a diminuição na taxa de uma reação, quando o produto é estocado em uma temperatura 10 °C maior, foi determinado pela Equação 3.14.

$$Q_{10} = \frac{K_{(T+10)}}{K_T} \quad (3.14)$$

em que:

K – constante da reação

T – temperatura absoluta (K)

### 3.9.2 – Análise dos dados

Os dados da degradação da cor e do efeito da temperatura foram analisados através de regressão linear, com auxílio do programa Statistica, versão 5.0.

### **3.10 - Armazenamento da atemoia em pó**

A partir da análise dos resultados do planejamento experimental fatorial das amostras em pó de atemoia, foi feita uma seleção do melhor pó levando-se em consideração principalmente os parâmetros determinados logo após a secagem em camada de espuma. A atemoia em pó selecionada como a melhor amostra foi submetida a um armazenamento acelerado sob condições de temperatura e umidade relativa controlada.

As amostras em pó foram colocadas em embalagens flexíveis laminadas compostas de uma camada de PET cristal (polietileno tereftalato cristal) com espessura de 12  $\mu\text{m}$ , uma camada de PET metal (polietileno tereftalato metal) com espessura de 12  $\mu\text{m}$  e uma camada de PEBD cristal (polietileno de baixa densidade cristal) com espessura de 50  $\mu\text{m}$ , perfazendo a espessura total de aproximadamente 74  $\mu\text{m}$ . As embalagens apresentaram aproximadamente 8 cm de cada lado e continham aproximadamente 15 g da amostra em cada embalagem; após colocadas nessas embalagens as amostras em pó foram fechadas utilizando-se seladora mecânica; em seguida, três embalagens contendo as amostras em pó foram colocadas em cada recipiente de vidro hermético contendo soluções saturadas de brometo de sódio (NaBr) e cloreto de potássio (KCl), as quais propiciam um ambiente de umidade relativa controlada de 55 e 83 %, respectivamente; tais recipientes foram colocados em câmaras do tipo BOD, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

No início do armazenamento (tempo zero) e a cada 10 dias, durante 60 dias, foi feito o acompanhamento da estabilidade das amostras em pó, através da determinação dos parâmetros de qualidade: teor de água, pH, acidez titulável, ácido ascórbico, atividade de água, cor (luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade da amarelo) e insolubilidade utilizando-se as metodologias descritas nos itens 3.3 e 3.8.1.

#### **3.10.1 – Análise dos dados**

Para a análise estatística dos dados obtidos experimentalmente ao longo do armazenamento, foi utilizado o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2006). Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (3 x 7), com 3 temperaturas (20, 30 e 40 °C), 7 tempos de armazenamento (0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias) e 3 repetições, aplicado separadamente para as amostras armazenadas nas soluções saturadas de sais de cloreto de potássio (KCl) e brometo de sódio (NaBr); para a comparação entre médias foi utilizado o teste de Tukey.

Também foram aplicadas regressões polinomiais aos dados experimentais dos parâmetros analisados separadamente em função do tempo de armazenamento e para cada condição de armazenamento (umidade relativa e temperatura) quando ocorreu tendência de aumento ou redução das características avaliadas com o tempo de armazenamento.

### 3.11 – Isotermas de adsorção de água

Com a amostra selecionada como a melhor a partir dos resultados obtidos através do planejamento experimental fatorial, foram determinadas as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30, e 40 °C da atemoia em pó utilizando-se o método estático-indireto, descrito por CAPRISTE & ROTSTEIN (1982).

As medidas das atividades de água da amostra em pó foram determinadas no equipamento medidor de atividade de água AquaLab 3TE (Decagon) enquanto 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 3.15).

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3.15)$$

em que:

$X_{eq}$  – teor de água de equilíbrio em base seca (%)

$m_{eq}$  - massa da amostra no equilíbrio (g)

$m_s$  - massa seca da amostra (g)

Os dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó foram ajustados através dos modelos matemáticos de GAB, Peleg e Oswin (Tabela 3.6), fazendo-se uso de regressão não linear e se utilizando o programa STATISTICA, versão 5.0.

**Tabela 3.6** - Modelos de ajuste de isotermas de adsorção de água

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>
<b>GAB</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>	$X_e = a \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$

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

Os critérios utilizados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, foram: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P); este último calculado pela Equação 3.16.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{\text{exp}} - X_{\text{pred}})|}{X_{\text{exp}}} \quad (3.16)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

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

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

n - número de dados experimentais

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de atemoia integral

Na Tabela 4.1 estão expressos os resultados médios e os desvios padrão encontrados na determinação da caracterização física, química e físico-química da polpa de atemoia integral.

**Tabela 4.1** – Caracterização química, física e físico-química da polpa de atemoia integral

Parâmetro	Média e desvio padrão
pH	4,60 ± 0,01
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,37 ± 0,004
Sólidos solúveis totais (°Brix)	17,33 ± 0,57
Relação SST/ATT	46,84 ± 2,94
Teor de água (% b.u.)	76,91 ± 0,29
Sólidos totais (%)	23,08 ± 0,29
Cinzas (%)	0,96 ± 0,03
Ácido ascórbico (mg/100 g)	1,19 ± 0,11
Açúcares redutores (% glicose)	16,39 ± 0,38
Pectina (% de pectato de cálcio)	2,57 ± 0,07
Sólidos insolúveis em água (%)	5,19 ± 0,04
Luminosidade (L*)	56,25 ± 0,42
Intensidade de vermelho (+a*)	7,37 ± 0,03
Intensidade de amarelo (+b*)	21,28 ± 0,10
Atividade de água (a <sub>w</sub> ) (25 °C)	0,979 ± 0,004
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> ) (25 °C)	1047,56 ± 1,66

Observa-se que o valor médio encontrado para o pH da polpa de atemoia integral foi de 4,60 semelhante ao valor encontrado por MELO (2012) analisando a polpa de atemoia integral que encontrou um pH de 4,59, e por MARCELLINI et al. (2003) de 4,53, também para a atemoia cv. Gefner. De acordo com a classificação apresentada por BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998), a polpa de atemoia é considerada um produto de baixo acidez (pH > 4,5). Para CHAVES et al. (2004) é importante a determinação do pH de um alimento para observar a influência na palatabilidade, no desenvolvimento de

microrganismos, na temperatura e no tempo de processo térmico, tipo de aditivos e vários outros fatores.

A acidez total titulável da polpa de atemoia integral foi, em média, 0,37% de ácido cítrico, valor este superior ao encontrado por NEVES & YUHARA (2003) de 0,25% de ácido cítrico, para a mesma fruta e inferior ao reportado por MEDEIROS et al. (2009) que encontraram um teor de 0,48% de ácido cítrico para frutos de atemoieira. De acordo com (FARIAS et al., 2007) a atemoia pode ser considerada um fruto de baixa acidez, o que é comprovado quando se compara o valor obtido com o de frutas muito ácidas como, por exemplo, o maracujá-amarelo, que contém 5,28% de ácido cítrico.

Os sólidos solúveis totais (SST) são os compostos dissolvidos na polpa da fruta, formados sobretudo por açúcares, que dão o sabor doce ou ácido (ALMEIDA et al., 2009). O valor de SST (17,33 °Brix) observado na polpa de atemoia integral no presente trabalho foi bastante inferior aos valores encontrados por SILVA et al. (2007) analisando a polpa de atemoia integral quando relataram um teor de sólidos solúveis totais médio de 25,10 °Brix. BRAGA FILHO et al. (2014) observaram, pesquisando o teor de sólidos solúveis totais em frutos de araticum cultivados em diversas áreas do estado de Goiás, que o teor médio de sólidos solúveis totais na polpa foi de 18,91.

A relação entre o teor de sólidos solúveis totais e a acidez total titulável pode ser denominada de *ratio* ou índice de palatabilidade e é frequentemente usada como índice de maturidade para estimar a qualidade sensorial da fruta, o grau de doçura e a intensidade de processamento (MAEDA & ANDRADE, 2003). Para a polpa de atemoia a relação SST/ATT foi de 46,84, considerado índice de palatabilidade relativamente alto; este fato é reflexo da polpa de atemoia não ser muito ácida e apresentar elevado teor de açúcares. GOUVEIA et al. (2007) verificaram, avaliando, físico-quimicamente, a polpa de pinha integral, uma relação SST/ATT de 68,26, valor superior ao encontrado no presente trabalho, em virtude da polpa de pinha apresentar um teor maior de sólidos solúveis totais.

Quanto aos teores de água e sólidos totais da polpa de atemoia integral, os valores foram de 76,91% e 23,08%, respectivamente sendo este teor de água superior ao encontrado por SOUSA et al. (2013) para a polpa de atemoia (Gefner) que, em diferentes estádios de maturação, encontraram um teor de água para a polpa madura de 72,70%, enquanto que para o teor de sólidos totais foi inferior ao estabelecido por GOUVEIA et al. (2007) para a polpa de pinha, que foi de 29,10%.

O teor de cinzas da polpa de atemoia foi, em médi, 0,96%, valor próximo ao apresentado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) para esta

fruta, que é de 0,7%; CRUZ et al. (2013) encontraram ao avaliar a polpa de atemoia da cultivar Gefner, um teor de cinzas consideravelmente alto (4,74%).

A natureza química do fruto pode determinar a degradação ou a estabilidade do ácido ascórbico. Alguns componentes naturais das frutas têm efeito inibidor sobre a degradação, como enzimas, ácidos e até mesmo a água presentes na fruta facilitam a degradação do ácido ascórbico (MAEDA et al., 2007; VILLANUEVA-TIBURCIO et al., 2010). A polpa integral de atemoia apresentou baixo teor de ácido ascórbico (1,19 mg/100 g), decorrente principalmente da degradação do ácido ascórbico durante o despulpamento da variedade analisada, das condições edafoclimáticas e do estágio de maturação.

RUFINO et al. (2009) propuseram uma classificação para as frutas, em três categorias, de acordo com o teor de ácido ascórbico (vitamina C): baixo teor (< 30 mg/100 g), médio teor (30–50 mg/100 g) e alto teor de vitamina C (> 50 mg/100 g). De acordo com esta classificação a polpa integral de atemoia utilizada neste trabalho está inserida no grupo de baixo teor de vitamina C. SILVA & MUNIZ (2011) encontraram valores superiores oscilando entre 48,32 e 49,99 mg/100 g estudando a polpa de atemoia em dois estágios de maturação, “de vez” e maduros. Nota-se que a polpa de atemoia integral avaliada contém pequena quantidade deste nutriente visto que no Brasil a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para adultos, é de 60 mg (BRASIL, 2005).

Constatou-se, na polpa integral de atemoia, um teor de 16,39% de glicose para os açúcares redutores. Este valor foi inferior ao encontrado por GOUVEIA et al. (2007) que observaram, no suco de pinha, um teor de açúcares redutores na polpa integral de pinha de 20,36% de glicose. A polpa de atemoia é uma fonte de açúcar redutor porém apresenta baixo valor quando comparada com frutas com alto teor de açúcares redutores, como a tâmara (*Phoenix dactylífera* L.), que é de 78,2% (AL FARSI & LEE, 2008).

O teor de pectina encontrado na polpa integral de atemoia foi 2,57% de pectato de cálcio, o que a torna altamente propícia para ser utilizada na forma de geleias e doces diversos (ROESLER et al., 2007; SILVA et al., 2008). Este teor é relativamente alto, o que pode trazer algumas dificuldades durante o processamento e a estabilização de sucos. Este valor foi superior ao referido por ALVES. et al. (2000) que, analisando a polpa de pinha, concluíram que a mesma possui teor de pectina de 0,66%.

O teor de sólidos insolúveis da polpa integral de atemoia foi de 5,19%, teor este superior ao determinado por VIDAL et al. (2006), em estudo com polpa de manga integral da variedade Keitt, e encontraram um teor de sólidos insolúveis de 1,08%, fato este

esperado visto que a polpa de atemoia apresenta grumos parecidos com grãos de areia que podem ser visualizados facilmente e que não se solubilizam em água.

Para FARAONI et al. (2013), a cor é um parâmetro que influencia na qualidade e na idealização do sabor; também é utilizada no controle do processamento dos alimentos. Na polpa de atemoia integral foram determinados os atributos luminosidade ( $L^*$ ) com valor médio de 56,25, intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) com valor médio de 7,37 e intensidade de amarelo ( $+b^*$ ) com valor médio de 21,28. Devido ao fato da polpa de atemoia apresentar coloração branca, justifica-se o alto valor encontrado para a luminosidade. SILVA et al. (2009) encontraram valor de 85,3 para luminosidade e para a mesmo fruto, também da variedade 'Gefner', oriundo do estado de Sergipe. Esta divergência de valores entre as polpas pode ocorrer devido, sobremaneira, às condições do processamento.

Nota-se, para a polpa de atemoia, predominância da intensidade de amarelo em relação à intensidade de vermelho. Este mesmo comportamento foi verificado por MELO (2012) e MELO et al. (2008) para a polpa de atemoia e melão, respectivamente.

A atividade de água foi em média de 0,979, valor este que indica que a polpa de atemoia integral está classificada como alimento com alto teor de água. Segundo BEJAR et al. (2012) elevado valor de atividade de água pode promover várias mudanças físico-químicas e microbiológicas; assim, a redução da atividade de água é necessária a fim de aumentar a vida de prateleira do produto. A polpa de atemoia apresentou um valor de atividade de água inferior ao obtido por SILVA et al. (2009) para a mesma variedade, que foi de 0,998. CORRÊA et al. (2011) citaram uma atividade de água de 0,980 para o marolo (*Annona crassiflora*) fresco.

A massa específica da polpa de atemoia foi de 1047,56 kg/m<sup>3</sup>, inferior à determinada por MELO (2012) para a polpa de atemoia integral na mesma temperatura, que foi de 1108,26 kg/m<sup>3</sup>, enquanto GRATÃO (2006) encontrou, trabalhando com polpa de graviola, valores de massa específica que variaram de 1006,7 a 1203,5 kg/m<sup>3</sup>.

Dentre as espécies frutíferas da família Annonaceae cultivadas, se verificaram dados muito discrepantes nas análises físico-químicas para a graviola (*Annona muricata*), a cherimóia (*Annona cherimola*), a atemoia (*A. cherimola* x *Annona squamosa*) e a ata (*A. squamosa*) (MANICA, 1997).

## **4.2 – Avaliação das suspensões**

### **4.2.1 – Planejamento experimental fatorial**

Por meio da análise dos efeitos da concentração de Emustab, concentração de Super Liga Neutra e tempo de batimento sobre as respostas de interesse, pode-se proceder à obtenção de um modelo matemático e de superfícies de respostas para representar a variação dessas variáveis, pelo teste F.

Os efeitos estimados indicam quanto cada fator influencia na resposta estudada. O valor de  $t$  indica o quão grande é a variável em relação ao seu desvio (KUROZAWA, 2005). Assim, quanto maior o valor de  $t$  maior também a probabilidade da variável ser estatisticamente significativa. O valor do coeficiente  $p$  está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo (TONON, 2009).

Segundo RODRIGUES (2005), o teste F é uma ferramenta estatística que auxilia na avaliação do modelo aplicado para explicar fenômenos ocorridos durante o processo em estudo, em que o valor de F (média quadrática da regressão / média quadrática dos resíduos) é calculado pela análise de variância (ANOVA) e comparado com o valor tabelado, correspondente ao nível de confiança aplicado no modelo. Quanto maior o valor de F calculado em relação ao valor de F tabelado, maior é a razão ( $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ ), e melhor é o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais. A validação dos modelos foi feita analisando-se os valores de  $F_{\text{tabelado}}$  e  $F_{\text{calculado}}$  a 95% de confiança com valor de  $p$  menor que 0,05, calculados por análise de variância (ANOVA).

#### **4.2.1.1 – Massa específica das espumas**

Na Tabela 4.2 estão expressos os valores dos efeitos significativos (em negrito), os erros padrão, os coeficientes  $t$  e o grau de significância estatística ( $p$ ) da concentração de Emustab (CE), concentração de Super Liga Neutra (CLN) e tempo de batimento (TB), sobre a massa específica das espumas. Observa-se que todos os efeitos dos fatores lineares (concentração de Emustab, concentração de Super Liga Neutra e tempo de batimento) assim como suas interações e a média, se encontram em negrito; logo, foram significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). Os dados foram obtidos considerando-se o erro puro.

Segundo THUWAPANICHAYANAN et al. (2012), a massa específica da espuma é um parâmetro bastante significativo visto que desempenha papel fundamental na determinação da cinética de secagem e nas propriedades texturais do produto.

**Tabela 4.2** - Efeito estimado, erro padrão, coeficiente *t* e grau de significância estatística, para cada fator no modelo real para a massa específica das espumas

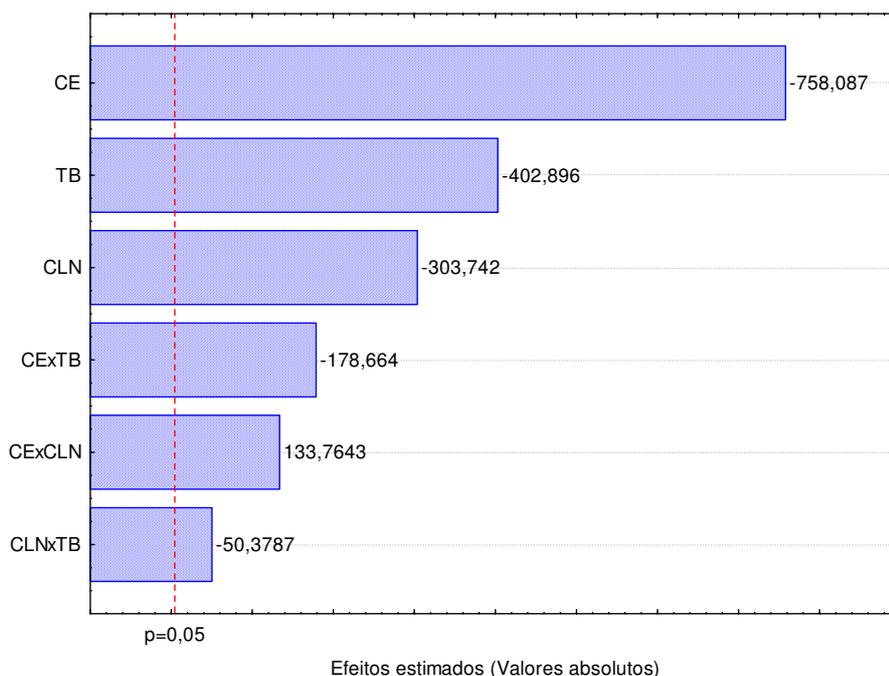
<b>Fatores</b>	<b>Efeito Estimado</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t (2)</b>	<b>Significância Estatística (p)</b>
<b>Média</b>	<b>0,674155</b>	<b>0,000080</b>	<b>8450,974</b>	<b>0,000000</b>
<b>CE</b>	<b>-0,141825</b>	<b>0,000187</b>	<b>-758,087</b>	<b>0,000002</b>
<b>CLN</b>	<b>-0,056825</b>	<b>0,000187</b>	<b>-303,742</b>	<b>0,000011</b>
<b>TB</b>	<b>-0,075375</b>	<b>0,000187</b>	<b>-402,896</b>	<b>0,000006</b>
<b>CE x CLN</b>	<b>0,025025</b>	<b>0,000187</b>	<b>133,764</b>	<b>0,000056</b>
<b>CE x TB</b>	<b>-0,033425</b>	<b>0,000187</b>	<b>-178,664</b>	<b>0,000031</b>
<b>CLN x TB</b>	<b>-0,009425</b>	<b>0,000187</b>	<b>-50,379</b>	<b>0,000394</b>

Verifica-se que a concentração de Emustab foi a variável que mais influenciou na massa específica das espumas, fato evidenciado quando se observam os valores do efeito estimado de cada fator linear avaliado; constata-se que a concentração de Emustab apresenta maior valor absoluto (módulo), quando comparado com as variáveis concentração de Super Liga Neutra e tempo de batimento, 0,141; 0,056 e 0,075, respectivamente. Com relação às interações, todas foram significativas pois apresentaram um  $p < 0,05$ . Constata-se também que as variáveis de entrada apresentaram efeitos estimados negativos, ou seja, apresentam efeito decrescente sobre a resposta quando passa de um nível -1 para um nível +1; isto implica dizer que, quanto maior a concentração de Emustab a concentração de Super Liga Neutra e tempo de batimento, menor será a massa específica das espumas; conseqüentemente, maior expansão volumétrica (*over-run*) e maior estabilidade das espumas.

THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) avaliaram a influência do tempo de batimento da espuma elaborada com polpa de banana em função da concentração de albumina (2, 5 e 10%) e constataram que houve uma redução da massa específica da espuma entre os tempos de batimento de 0 a 20 min e após 20 min houve um rápido incremento nos valores da massa específica. Com base nesses dados analisados, constata-se que a influência do tempo de batimento sobre a massa específica da espuma pode estar

relacionada com os tipos de aditivos utilizados, suas concentrações e as características da matéria-prima (polpa). SANKAT & CASTAIGNE (2004) também observaram redução da massa específica da espuma com o aumento do tempo de batimento, trabalhando com a formulação da polpa da banana adicionada de proteína de soja isolada.

Na Figura 4.1 tem-se o diagrama de Pareto, uma das formas de se avaliar visualmente a influência dos fatores estudados sobre a resposta. A magnitude dos efeitos é representada pelas barras enquanto a linha transversal às barras representa a magnitude dos efeitos com significado estatístico para  $p = 0,05$ , ou seja, os fatores que são estatisticamente significativos a 95% de confiança; desta forma, visualizando o diagrama de Pareto pode-se confirmar o que foi discutido anteriormente em que a concentração de Emustab foi o efeito que mais influenciou na massa específica final do produto, seguido do tempo de batimento e da concentração de Super Liga Neutra.



**Figura 4.1** – Diagrama de Pareto da massa específica das espumas

Com a realização do planejamento fatorial para o parâmetro massa específica das espumas foi possível gerar uma equação de primeira ordem (Equação 4.1) com os valores obtidos em função da média, da concentração de Emustab, da concentração de Super Liga Neutra e do tempo de batimento, assim como todas as interações.

$$ME = 1,004980 - 0,116625 CE - 0,103625 CLN + 0,005318 TB + 0,050050 CE \times CLN - 0,006685 CE \times TB - 0,001885 CLN \times TB \quad (4.1)$$

em que:

ME – massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

CE – concentração de emustb (%)

CLN – concentração de liga neutra (%)

TB – tempo de batimento (min)

A Tabela 4.3 demonstra a análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para massa específica das espumas; verifica-se significância da regressão e falta de ajuste a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), pelo teste F. Pode-se notar, para a regressão, que o valor de  $F_{\text{calculado}}$  foi maior que o valor do  $F_{\text{tabelado}}$ ; logo, o modelo linear da massa específica das espumas foi estatisticamente significativo e, levando-se em consideração o valor da razão entre o  $F_{\text{calculado}}$  e  $F_{\text{tabelado}}$ , que foi de aproximadamente 1,15 para o nível de 95% de confiança, pode-se afirmar que, de acordo com o teste F, o modelo linear da massa específica das espumas foi estatisticamente significativo porém não preditivo visto que, segundo BOX & WETZ (1973), para que uma regressão seja não apenas significativa mas também preditiva, os valores da razão entre o  $F_{\text{calculado}}$  e o  $F_{\text{tabelado}}$ , devem ser no mínimo maiores que 4. A falta de ajuste se apresentou significativa pois o  $F_{\text{calculado}}$  foi superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ , ou seja, houve grande falta de ajuste dos dados pelo modelo predito; mesmo assim, o modelo apresentou 95,95% da variação dos dados observados. ROCHA (2003) verificaram, estudando a desidratação por diferentes métodos de diversos sucos mistos de açaí, morango e acerola, utilizando albumina e Emustab como agentes espumantes, efeito significativo da concentração de albumina sobre a redução da massa específica das espumas ( $0,28 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), tendo-se verificado que o modelo exponencial foi o que melhor representou os dados experimentais.

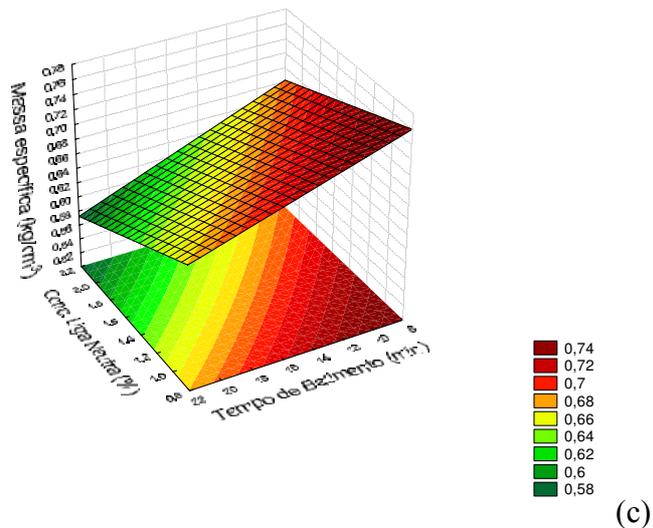
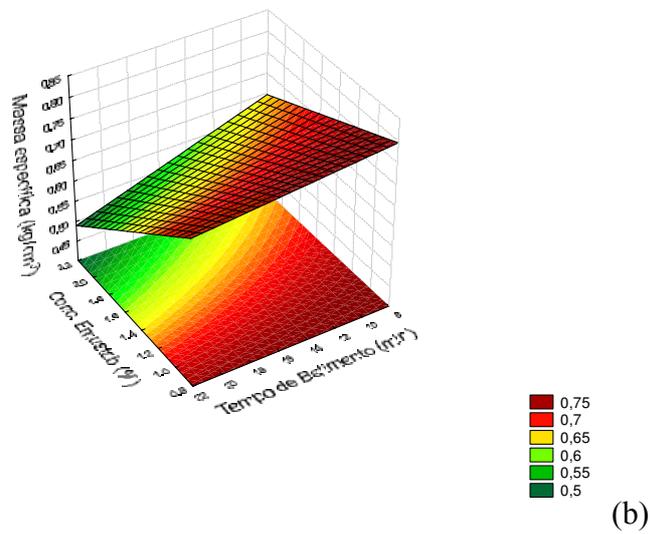
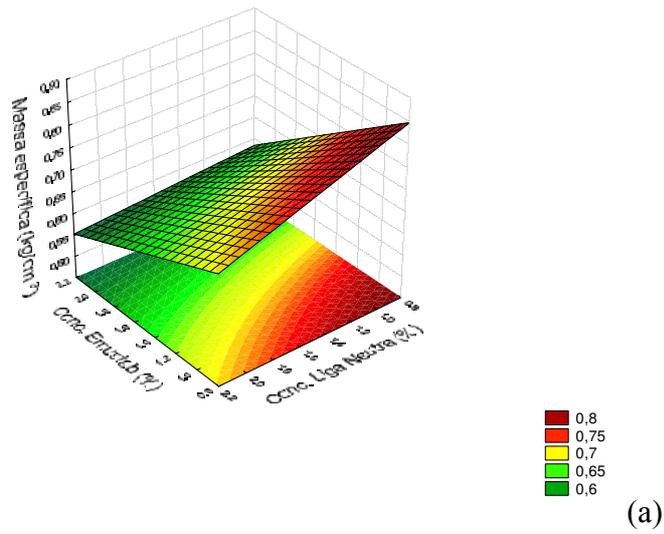
**Tabela 4.3** - Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a massa específica das espumas

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado*</sub></b>
<b>Regressão</b>	0,0617	7	0,0088	10,1556	8,89
<b>Resíduo</b>	0,0026	3	0,0009		
<b>Falta de ajuste</b>	0,002604	2	0,0013	18601,5698	19
<b>Erro puro</b>	0,000000	2	0,0000		
<b>Total</b>	0,064319	10			

R<sup>2</sup> = 95,95%;\*Valores tabelados de F a p ≤ 0,05. SQ - soma quadrática; GL - grau de liberdade; MQ - média quadrática

Na Figura 4.2 são apresentadas as superfícies de resposta para a massa específica das espumas, relacionando: (a) Concentração de Emustab x Concentração de Super Liga Neutra para um tempo de batimento de 15 min; (b) Concentração de Emustab x Tempo de batimento para uma concentração de Super Liga Neutra de 1,5%; (c) Concentração de Super Liga Neutra x Tempo de batimento para uma concentração de Emustab de 1,5%.

Analisando a Figura 4.2 (a) observa-se que o maior valor encontrado para a massa específica (0,8 kg/cm<sup>3</sup>) foi na menor concentração de Emustab e concentração de superliga neutra enquanto que a menor massa específica (0,6 kg/cm<sup>3</sup>) foi encontrada na maior concentração de Emustab e concentração de Super Liga Neutra. Quando se analisa a Figura 4.2 (b e c) observa-se que os maiores valores para a massa específica (0,75 e 0,74 kg/cm<sup>3</sup>) foram encontrados nas menores concentrações de Emustab e Super Liga Neutra e menores tempos de batimento, enquanto as menores massas específicas (0,5 e 0,58 kg/cm<sup>3</sup>) foram encontradas nas maiores concentrações de Emustab e Super Liga Neutra e maiores tempos de batimento. Assim, verifica-se que todas as variáveis de entrada influenciaram significativamente. Da mesma forma foi verificado por CRUZ (2013) quando analisou a massa específica da polpa de goiaba ao adicionar uma mistura de compostos emulsificantes e estabilizantes, e concluiu que a massa específica da espuma diminuiu com aumento da concentração de emulsificante até 5%, sob agitação por 5 min, enquanto acima desta concentração não houve redução significativa.

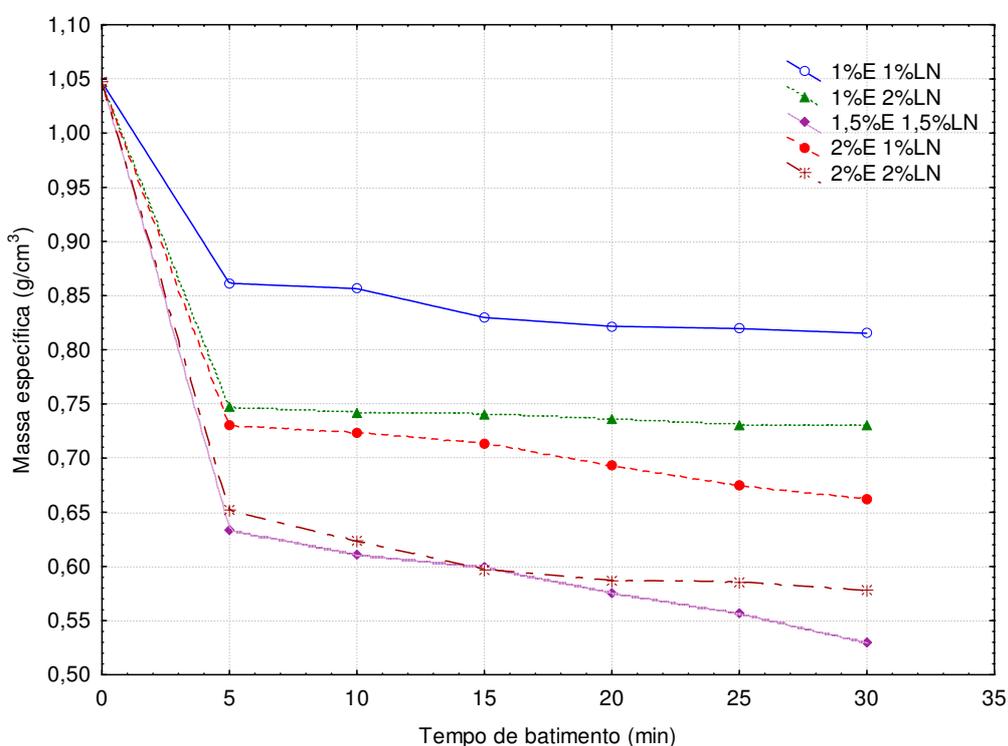


**Figura 4.2** -Superfícies de resposta para a massa específica das espumas: (a) Conc. de Emustab x Conc. de liga neutra (15 min TB); (b) Conc. de Emustab x Tempo de batimento (1,5% CLN); (c) Conc. de Super Liga Neutra x Tempo de batimento (1,5 % CE)

#### 4.2.2 – Expansão volumétrica (*Over-run*)

Na Figura 4.3 tem-se as curvas das massas específicas das espumas ( $\text{g/cm}^3$ ) em função dos tempos de batimento (min) para as diferentes amostras.

No processo de secagem em camada de espuma tem-se, como um dos objetivos, encontrar o tempo de batimento ideal da espuma o que, segundo RAJKUMAR et al. (2007) é obtido quando a espuma apresenta a maior expansão volumétrica e o menor valor de massa específica.



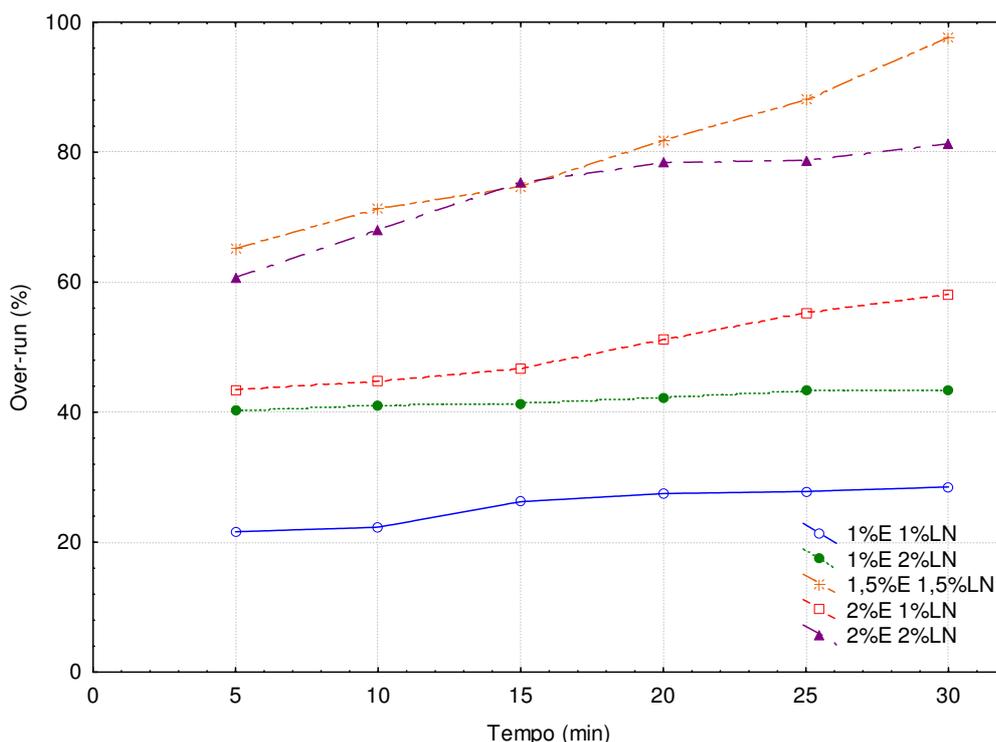
**Figura 4.3** – Massa específica ( $\text{g/cm}^3$ ) das espumas produzidas com Emustab e liga neutra em diferentes concentrações em função do tempo de batimento

Observa-se que as espumas que continham 1% de Emustab e 1% de Super Liga Neutra; 1% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra e 2% de Emustab e 1% de Super Liga Neutra, não atingiram a massa específica da espuma na faixa desejada entre  $0,5$  e  $0,6 \text{ g/cm}^3$  em todos os tempos de batimentos estudados enquanto as espumas com 1,5% de Emustab e 1,5% de Super Liga Neutra e com 2% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra, alcançaram a massa específica desejada ( $0,60 \text{ g/cm}^3$ ) a partir de 15 min de batimento, continuando ambas a decrescer até os 30 min de batimento, obtendo-se uma massa específica em torno de  $0,58 \text{ g/cm}^3$  para a espuma com 2% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra e uma massa

específica em torno de  $0,53 \text{ g/cm}^3$  para a espuma com 1,5% de Emustab e 1,5% de Super Liga Neutra. FERNANDES et al. (2014) estudaram a secagem de polpa de tomate pelo processo de secagem em camada de espuma utilizando albumina como agente espumante e observaram que as emulsões atingiram a densidade adequada ( $0,3 \text{ g/cm}^3$ ) com 4,5 min de tempo de batimento. RAHARITSIFA & RATTI (2010) liofilizaram espuma de polpa de maçã e encontraram uma redução considerável no tempo de processo ao secar a espuma. Este resultado vem confirmar que a incorporação de agentes formadores de espumas, juntamente com o tempo de batimento, para obtenção de uma massa específica ideal, é de fundamental importância para diminuir o tempo de secagem.

A espuma ideal para a realização do processo de secagem em camada de espuma é a que apresenta uma massa específica compreendida na faixa  $0,1$  a  $0,6 \text{ g/cm}^3$ , expansão volumétrica acima de 100% e estabilidade em média de 1,25 mL; caso contrário, há uma facilidade de dissolução da espuma o que pode comprometer o processo de secagem, conforme VAN ARSDEL (1964).

Na Figura 4.4 se observam as curvas da expansão volumétrica para as suspensões com diferentes concentrações de Emustab e Super Liga Neutra, em função do tempo de batimento (min). Verifica-se que o over-run de todas as suspensões testadas não alcançou 100%, com exceção da espuma com 1,5% de Emustab e 1,5% de Super Liga Neutra. DANTAS (2010) analisou a polpa de manga com adição de 1% de Emustab e 1% de Super Liga Neutra verificando que a massa específica e a estabilidade se apresentaram dentro da faixa recomendada, com expansão volumétrica de 115,7%, massa específica de  $0,51 \text{ g/cm}^3$  e estabilidade de 4,17 mL.



**Figura 4.4** – Over-run (%) das espumas produzidas com Emustab e liga neutra em diferentes concentrações em função do tempo de batimento

#### 4.2.3 – Cinética da estabilidade das espumas

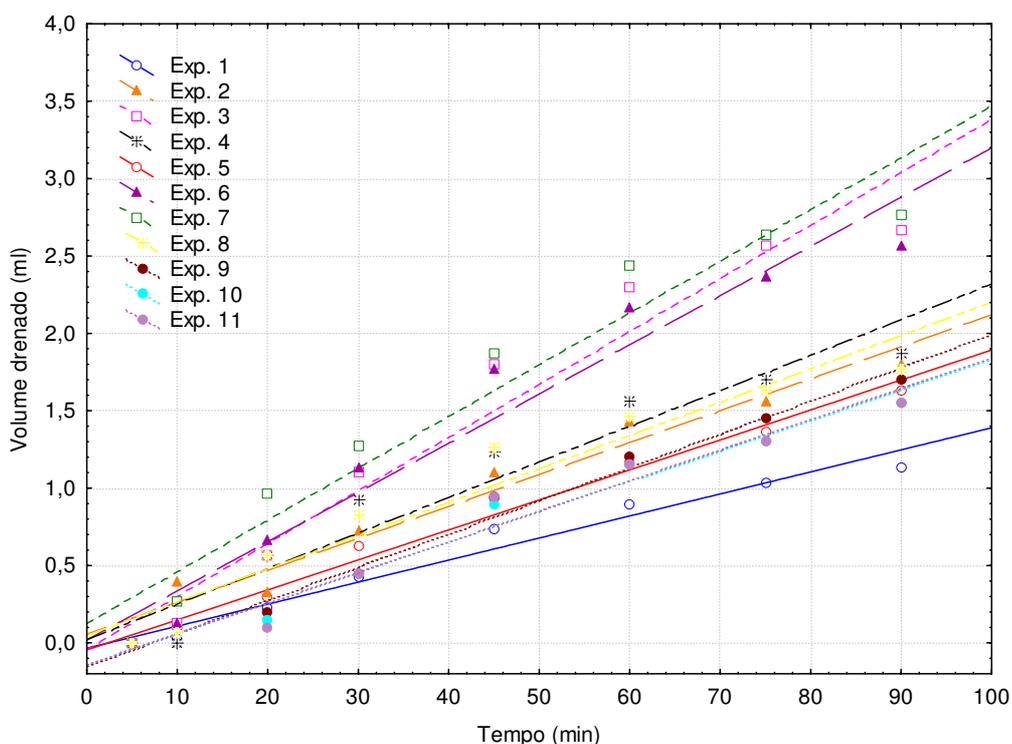
A secagem de polpa de frutas em camada de espuma é acelerada devido à elevada porosidade e aeração da espuma. O conhecimento sobre a cinética de estabilidade em condições de aquecimento permite avaliar a manutenção da estrutura da espuma ao longo do processo.

A estabilidade da suspensão caracteriza diretamente sua capacidade de retenção; uma maneira de determinar a estabilidade da espuma é avaliar a quantidade de líquido que se escoar a partir da sua estrutura (KAMPF et al., 2003). A estrutura de espuma estável é desejável para promover uma secagem rápida e facilitar a remoção do material seco das bandejas. Se a espuma se colapsar em excesso, a qualidade do produto pode ser prejudicada (BAG et al., 2011); ainda segundo esses autores, as espumas estáveis mantêm sua estrutura porosa e promovem melhores propriedades de reconstituição do produto seco enquanto que as espumas instáveis são difíceis de secar e desintegrar, resultando em produtos com características sensoriais e nutricionais indesejáveis.

Segundo BASTOS et al. (2005) a importância desse teste reside na determinação de um nível mínimo de agentes estabilizantes necessários para a produção de espuma com

estabilidade adequada para o processo de secagem. Muitos alimentos contêm naturalmente proteínas solúveis e monoglicéridos e produzem espumas quando batidos; no entanto, a espuma produzida é insatisfatória para a desidratação, motivo pelo qual necessária a adição de agentes espumantes e estabilizantes para induzir a formação da espuma e transmitir estabilidade (BATES, 1964).

As curvas ilustradas na Figura 4.5 representam o desprendimento do líquido das espumas de atemoia na temperatura de 70 °C. Verifica-se que, com o aquecimento, as diferenças na cinética de desprendimento de líquido das espumas de atemoia são intensificadas. Em todas as suspensões analisadas o desprendimento de líquido se verifica desde os primeiros 10 min, permanecendo com o mesmo comportamento até os 90 min e ainda não se observa a estabilização do volume desprendido em todas as amostras.



**Figura 4.5** – Curvas de cinética da estabilidade das suspensões de polpa de atemoia com Emustab e liga neutra em função do tempo de batimento

As amostras dos Experimentos 3, 6 e 7, foram as que tiveram mais volume drenado ao longo do processo alcançando em torno de 2,7 mL; logo, as amostras que apresentaram os menores volumes drenados foi a suspensão do Experimento 1, seguida das suspensões dos Experimentos 9, 10 e 11 (ponto central), chegando a um volume médio de 1,1 e 1,5 mL, respectivamente. Contrariamente, RAHARITSIFA et al. (2006) observaram, ao

avaliar a estabilidade de espumas de formulações elaboradas com suco de maçã e com os aditivos proteína de ovo e metilcelulose, em diferentes concentrações, que com o aumento desses aditivos houve um decréscimo do volume coletado. BASTOS et al. (2005) avaliaram, ao desidratar manga Tommy, a estabilidade da espuma com diferentes concentrações de Tween 60 e encontraram maior estabilidade para a espuma obtida a partir de maior concentração do estabilizante (2,5% de Tween 60).

KARIM & CHEE WAI (1999) investigaram a estabilidade da espuma de carambola formulada com diferentes percentuais de carboximetilcelulose e observaram que as concentrações de 0,4 e 0,5% p/p do aditivo, ocasionaram menor desprendimento de líquido, além do que o desprendimento foi mais rápido nos 10 primeiros minutos do estudo.

#### **4.2.4 – Caracterização das espumas elaboradas**

Além das análises de massa específica, expansão volumétrica (*over-run*) e cinética da estabilidade das espumas, foram feitas análises complementares de todas as suspensões elaboradas, em que através da análise de variância, observou-se que os parâmetros de pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, ácido ascórbico, açúcares redutores, não-redutores e totais, luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo, atividade de água e massa específica, foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, enquanto o teor de água e os sólidos totais foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste F e as cinzas não foram significativas.

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores médios das análises químicas, físicas e físico-químicas realizadas nas suspensões para os 11 experimentos.

**Tabela 4.4** – Caracterização química, física e físico-química das diferentes espumas elaboradas com polpa de atemoia e diferentes concentrações de Emustab, liga neutra e tempo de batimento

Parâmetros	Médias										
	Exp. 1	Exp. 2	Exp.3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10	Exp. 11
pH	4,47 ef	4,70 a	4,62 bc	4,56 d	4,45 f	4,43 f	4,64 b	4,52 de	4,51 de	4,54 d	4,56 cd
Sólidos solúveis totais (°Brix)	18,66 b	19,66 ab	20,66 a	18,66 b	19,66 ab	18,66 b	20,66 a	19,66 ab	18,50 b	18,50 b	18,50 b
Teor de água (% b.u.)	75,03 a	68,15 b	70,09 ab	73,40 ab	72,99 ab	71,44 ab	70,66 ab	72,12 ab	73,45 ab	73,17 ab	73,00 ab
Sólidos totais (%)	24,96 b	31,84 a	29,90 ab	26,59 ab	27,00 ab	28,55 ab	29,33 ab	27,87 ab	26,54 ab	26,82 ab	26,99 ab
Acidez titulável (% ácido cítrico)	0,42 b	0,40 c	0,42 ab	0,40 cd	0,42 ab	0,40 c	0,43 a	0,42 b	0,39 d	0,39 d	0,39 d
Ác. ascórbico (mg/100 g)	0,82 ab	0,73 b	0,79 ab	0,79 ab	0,85 ab	0,70 b	0,82 ab	0,85 ab	0,91 a	0,92 a	0,92 a
Cinzas (%)	0,86 a	0,87 a	0,82 a	0,83 a	0,82 a	0,81 a	0,92 a	0,99 a	0,86 a	0,85 a	0,86 a
Açuc. redutores (% glicose)	16,26 cd	17,99 ab	18,52 a	15,82 cd	16,46 cd	16,93 bc	17,99 ab	15,62 d	15,13 d	15,13 d	15,12 d
Açuc. não-redutores (% sacarose)	0,92 b	1,76 ab	0,73 b	1,12 b	1,34 b	0,87 b	1,01 b	3,32 a	3,33 a	3,51 a	3,29 a
Açuc. totais (% glicose)	17,18 c	19,75 a	18,82 ab	16,94 c	17,81 bc	17,80 bc	19,01 ab	18,94 ab	18,42 abc	18,43 abc	18,44 abc
Luminosidade (L*)	58,45 g	58,76 f	69,06 cd	74,37 a	58,76 f	69,33 c	68,87 d	63,87 e	70,61 b	70,76 b	70,80 b
Intens. vermelho (+a*)	10,24 a	10,14 a	6,51 c	5,66 e	10,14 a	6,24 d	6,44 cd	9,73 b	5,83 e	5,87 e	5,86 e
Intens. amarelo (+b*)	24,03 a	23,19 b	22,21 cd	19,74 f	23,19 b	20,83 e	21,92 d	22,35 c	19,78 f	19,79 f	19,71 f
Atividade de água (a <sub>w</sub> )	0,971 b	0,971 b	0,968 d	0,969 c	0,971 b	0,972 a	0,968 d	0,969 c	0,968 d	0,968 d	0,968 d
Massa específica (g/m <sup>3</sup> ) (25 °C)	0,8222 a	0,6541 e	0,7151 c	0,6664 de	0,7550 b	0,5894 f	0,6884 cd	0,5135 g	0,6670 de	0,6675 de	0,6671 de

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

Com relação ao pH, o mesmo oscilou entre 4,43 e 4,70, com alguns valores apresentando diferenças estatísticas. As suspensões preservaram, em sua maioria, o caráter pouco ácido ( $\text{pH} > 4,5$ ) que a polpa integral possui. SOUZA (2011) verificou, ao avaliar o efeito do aditivo Emustab adicionado em várias concentrações (2,5; 5; 7,5 e 10%), na formação da espuma da polpa de cupuaçu, que houve redução significativa do pH ao compará-la com a polpa integral para a formulação adicionada de 10% de Emustab. Resultados diferentes foram encontrados por BAGETTI et al. (2011), verificando que para a espuma de pitanga o valor do pH aumentou com a adição de albumina passando de 2,5 na polpa integral para 3,25 na espuma.

O teor de sólidos solúveis totais aumentou, quando comparado com a polpa integral, o que era esperado, visto que os aditivos utilizados possuem teor próprio de sólidos solúveis totais em sua composição aumentando, assim, o grau de doçura das suspensões estudadas passando de 17,33 °Brix na polpa integral para valores variando entre 18,50 a 20,66 °Brix. SOARES (2009) observou, ao trabalhar com espumas de polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de Emustab, que não houve acréscimo significativo com o aumento da concentração de Emustab sendo o valor médio do teor de sólidos solúveis totais desse emulsificante de 9,77 °Brix. CHAVES et al. (2013) encontraram, estudando as propriedades físico-químicas e sensoriais das espumas de cereja roxa brasileira (*Eugenia uniflora* L.), resultados semelhantes visto que, com o aumento da concentração de albumina, fez com que houvesse um acréscimo no teor de sólidos solúveis totais quando comparado com a polpa integral. Segundo esses autores, tal aumento é desejável de vez que a espuma tende a ficar mais estável, além de melhorar as propriedades sensoriais e nutricionais do produto final.

O teor de água e sólidos totais das suspensões praticamente não diferiram estatisticamente entre os experimentos e comparando com a polpa integral, a incorporação de sólidos interferiu de forma significativa, com o teor de água e de sólidos totais passando de 76,41 e 23,08% para 68,15 e 31,84%, respectivamente. MASSOLI et al. (2013) ao caracterizar a formulação do jambolão (*Syzygium cumini*) adicionado de 5% de albumina e 0,5% de goma xantana, também encontraram um decréscimo no teor de água e consequentemente, um aumento no teor de sólidos totais, quando comparada com a polpa integral de jambolão. CEBALLOS et al. (2012) caracterizaram a polpa de graviola e a formulação da polpa de graviola adicionada de 18% de maltodextrina (DE-20) e água destilada e observaram que a polpa integral apresentou teor de água de 11,66% maior do

que o da Formulação; SOLVAL et al. (2012) registraram 11,78% de teor de água na polpa de melão superior ao da formulação de suco de melão e maltodextrina, na proporção 9:1.

Dentre as amostras estudadas, a acidez total titulável apresentou poucas diferenças estatísticas sendo essas numericamente não tanto relevantes visto que a acidez variou de 0,39 a 0,43% de ácido cítrico. Com relação à polpa integral, a acidez titulável que se apresentou em média de 0,37% de ácido cítrico, ficou muito próxima quando comparada com a acidez total titulável das suspensões analisadas. Resultados contrários foram observados por CHAVES et al. (2008), ao trabalhar com polpa de araçá-boi que, em diferentes concentrações de Emustab, encontraram diminuição na acidez total titulável com o aumento da concentração de Emustab. KADAM et al. (2012) também observaram uma diminuição na acidez total titulável devido ao uso de albumina como agente de formação de espuma, em comparação com o suco de tomate fresco.

Com o preparo das suspensões o teor de ácido ascórbico diminuiu consideravelmente quando comparado com o teor de ácido ascórbico obtido na polpa integral, passando de 1,19 g/100 g para valores entre 0,70 e 0,92 g/100 g, este decréscimo ocorre pelo fato da incorporação dos aditivos reduzindo a quantidade de polpa na formulação e na oxidação do ácido ascórbico. A faixa da adição de diferentes concentrações de Emustab e de Super Liga Neutra, e a faixa dos diversos tempos de batimento empregados fizeram com que os experimentos apresentassem valores muito próximos embora com algumas diferenças estatísticas; resultados divergentes foram encontrados por SILVA et al. (2008) que observaram, em estudo com polpa de tamarindo, um aumento de 7,40% de ácido ascórbico na polpa formulada com 5% do composto proteico, à base de albumina.

Observando o teor de cinzas verifica-se, em todos os experimentos, que não houve diferença estatística entre os mesmos, embora apresentem valores numéricos oscilando em todas as amostras devido às diferentes quantidades de Emustab e Super Liga Neutra adicionados a cada amostra analisada. FEITOSA (2014) constatou, quando analisou a polpa integral de murta e a espuma produzida a partir de polpa de murta com adição de 1,5% de Emustab e 0,5% de Super Liga Neutra, que o teor de cinzas decresceu de 0,85% para 0,60%.

Verifica-se, para os açúcares redutores entre os experimentos que, houve diferenças estatísticas, que podem ser explicadas pelo fato de alguns experimentos receberem quantidades maiores de Super Liga Neutra fazendo com que os mesmos apresentem uma quantidade maior de açúcar que os outros. Quando comparados com o teor de açúcar

reductor da polpa integral (16,39% de glicose) nota-se que os valores foram muito próximos com médias entre 15,12 e 18,52% de glicose. A incorporação de diferentes concentrações dos aditivos alterou pouco o teor de açúcares redutores porém fez com que se conseguissem quantificar os açúcares totais e os açúcares não-redutores, nas amostras. Os açúcares não redutores das suspensões variaram de 0,73 a 3,51% de sacarose e os açúcares totais de 17,18 a 19,75% de sacarose. MELO et al. (2008) encontraram, caracterizando a polpa de bacuri formulada (70% de polpa de bacuri, 30% de leite e 14% de açúcar) um valor médio próximo para os açúcares totais, de 15,77% glicose.

A luminosidade das espumas diferiu estatisticamente entre a maioria dos experimentos apresentando-se mais clara quando comparada com a luminosidade da polpa integral. Observa-se que a polpa integral apresentou luminosidade de 56,25 e nas suspensões as luminosidades variaram entre 58,45 e 74,37. BARRETO (2011) relatou que na obtenção da espuma há uma diminuição da massa específica da polpa, aumentando seu volume; neste processo ocorre o aprisionamento do ar em micelas líquidas cuja expansão pode ser uma das causas para o aumento do valor de  $L^*$  nas espumas em relação à polpa. SILVA et al. (2008) constataram que a formulação tende a ser mais clara do que a polpa integral; este comportamento se deve à adição do agente espumante à polpa de tamarindo.

Avaliando os parâmetros de intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) e intensidade de amarelo ( $+b^*$ ), notam-se diferenças estatísticas entre alguns experimentos devido, provavelmente, às diferentes concentrações dos agentes espumantes incorporados nas amostras. Verifica-se que na polpa integral a intensidade de vermelho foi de 7,37 e nas espumas variou entre 5,66 e 10,24. Constata-se que a intensidade de amarelo na polpa integral era de 21,28 e nas espumas oscilou entre 19,71 e 24,03. Observaram-se, para a polpa de atemoia que, houve predominância da intensidade de amarelo em relação à intensidade de vermelho. OLIVEIRA et al. (2006) observaram, comparando a polpa de pitanga integral com a polpa formulada com 15% de maltodextrina e 30% de água destilada, que a adição de agentes na polpa integral fez com que a polpa ficasse mais escura pois os maiores valores de luminosidade ( $L^*$ ), intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) e intensidade de amarelo ( $+b^*$ ) foram encontrados na amostra integral.

Com relação à atividade de água e embora existam diferenças estatísticas entre os experimentos nota-se, numericamente, que essas diferenças não foram tão expressivas pois a atividade de água variou de 0,968 a 0,971. Comparando com a atividade de água da polpa integral de atemoia pode-se dizer também, que a incorporação de aditivos à polpa para a formação da espuma fez com que ocorresse um decréscimo na atividade de água,

visto que a mesma apresentava uma atividade de água de 0,979, uma explicação para este fato pode se dar pela adição de sólidos às amostras; segundo CHAVES et al. (2013) o conhecimento do agente ideal a ser utilizado em diferentes tipos de polpa para a formação da espuma é de suma importância, de vez que o mesmo reduz significativamente a atividade de água, o que irá reduzir o tempo de secagem.

A massa específica apresentou decréscimo em todos os experimentos quando comparada com a polpa integral, fato ocorrido propositalmente pois a adição de diferentes concentrações de Emustab e Super Liga Neutra, juntamente com os diferentes tempos de batimento tem, como resultado, diminuir as massas específicas até próximo a  $0,5 \text{ g/m}^3$  para posterior desidratação. Este valor ocorreu nos experimentos 6 e 8, nas quais foram utilizadas as maiores concentrações dos aditivos e o maior tempo de batimento, resultando em um over-run maior. SOUZA (2009) encontrou, ao determinar a massa específica de misturas compostas por diferentes polpas de frutas (manga, umbu e seriguela) e aditivos (amido, pectina e diferentes tipos de gordura), em diferentes concentrações, encontrou valores variando entre 1,059 e  $1,064 \text{ g/cm}^3$ . ROCHA et al. (2013) utilizaram, selecionando o melhor agente espumante e a concentração necessária para obtenção de uma espuma de polpa mista de açaí, morango e acerola, os agentes espumantes Emustab e Albumina em diferentes concentrações (2,5; 5; 7,5 e 10%), e tempo de batimento de 20 min. Esses autores observaram que todas as concentrações de albumina foram eficientes para reduzir a massa específica da espuma de  $1,02 \text{ g/cm}^3$  para valores dentro da faixa recomendada mas a utilização de Emustab não proporcionou redução satisfatória.

#### **4.2.5 – Seleção da suspensão para a secagem**

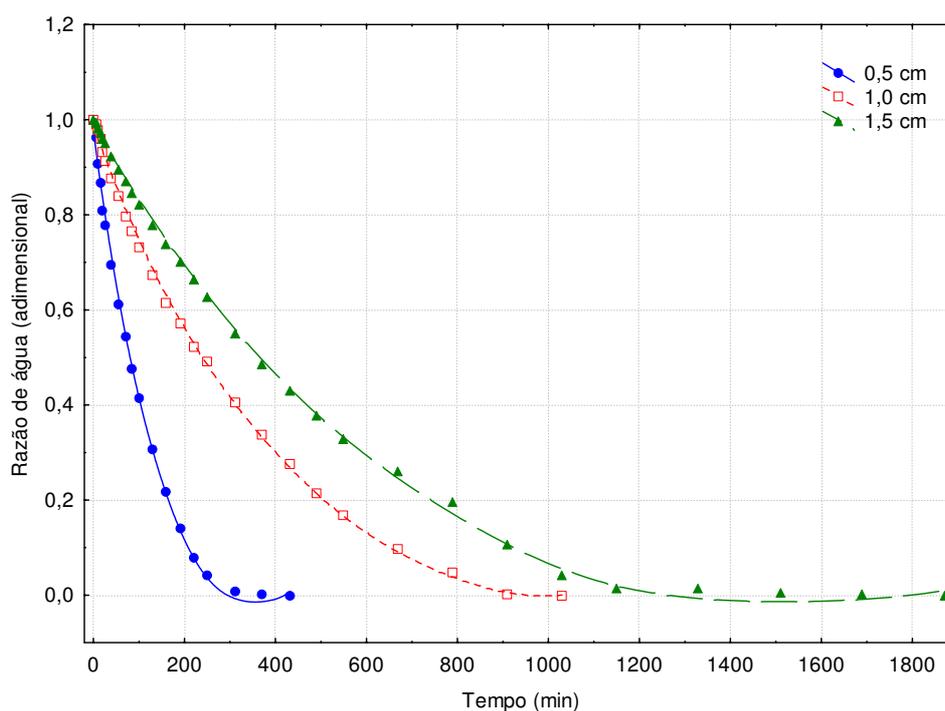
A escolha da melhor condição para a formação da espuma para ser submetida ao processo de secagem em camada de espuma, foi realizada a partir dos resultados obtidos dos parâmetros massa específica, expansão volumétrica (*over-run*) e cinética da estabilidade da espuma. Para a massa específica o ideal era uma espuma que atingisse valor próximo a  $0,5 \text{ kg/cm}^3$ ; logo, os Experimentos 6 (2% de Emustab + 1% de Super Liga Neutra e 20 min de batimento) e 8 (2% de Emustab + 2% de Super Liga Neutra e 20 min de batimento) apresentaram  $0,5894$  e  $0,5135 \text{ kg/cm}^3$ , respectivamente; para a expansão volumétrica, a espuma correspondente ao ponto central 9, 10 e 11 (1,5% de Emustab + 1,5% de Super Liga Neutra e 15 min de batimento) e ao experimento 8 (2% de Emustab + 2% de Super Liga Neutra e 20 min de batimento), apresentou os maiores percentuais, em

torno de 98 e 83%, respectivamente, enquanto para a cinética da estabilidade da espuma os experimentos 8, 9, 10 e 11 obtiveram os menores volumes drenados; logo e diante dos resultados obtidos, a suspensão escolhida foi a do experimento 8 pois, embora tenha se assemelhado muito com a suspensão do ponto central a mesma apresentou menor massa específica.

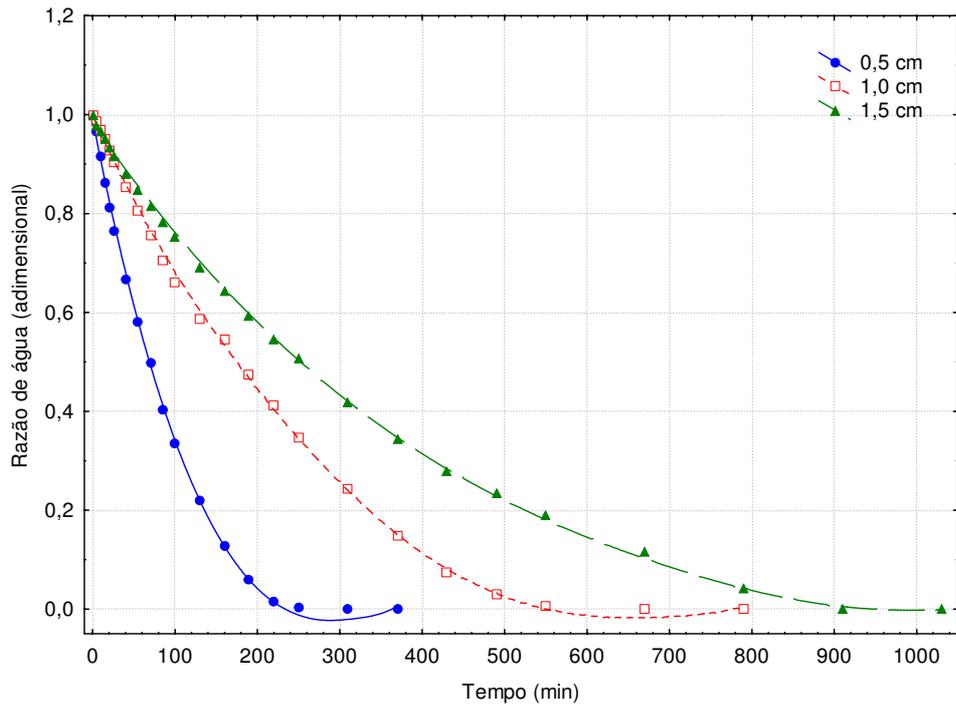
### 4.3 – Cinética de secagem

A suspensão escolhida como a melhor condição (experimento 8) foi submetida ao processo de secagem em camada de espuma em três diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C) e em três diferentes espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm).

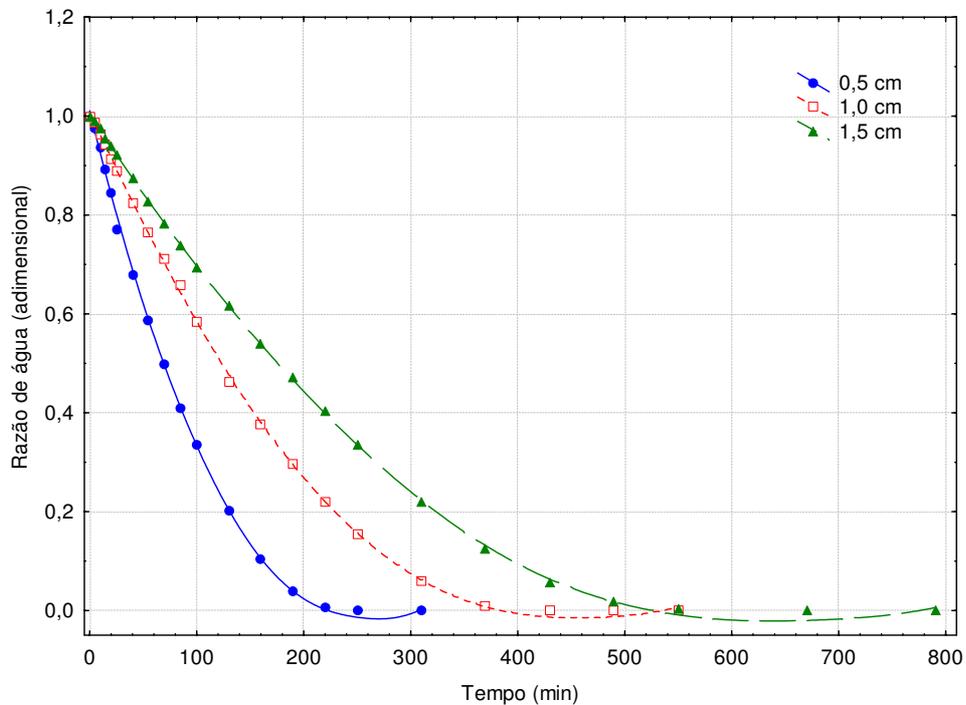
Nas Figuras 4.6 a 4.8 estão representadas as cinéticas de secagem em camada de espuma nas espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C, na forma adimensional do teor de água (razão de água) em função do tempo de secagem.



**Figura 4.6** – Curvas de secagem da espuma com 2% de Emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, temperatura de 60 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm



**Figura 4.7** – Curvas de secagem da espuma com 2% de Emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, temperatura de 70 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm



**Figura 4.8** – Curvas de secagem da espuma com 2% de Emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, temperatura de 80 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5; 1,0 e 1,5 cm

Verifica-se que o processo de secagem foi em todas as amostras, mais rápido para as espessuras menores (0,5 cm) para as três temperaturas estudadas (60, 70 e 80 °C) cujos tempos de secagem foram de 420, 380 e 310 min. Na espessura de 1,0 cm nas três temperaturas se obtiveram os seguintes tempos de secagem: 1000, 800 e 550 min, enquanto que na espessura de 1,5 cm foram obtidos os seguintes tempos de secagem 1850, 1100 e 850 min para as diferentes temperaturas. Observa-se que todas as curvas foram influenciadas pela espessura da camada. Este comportamento também foi verificado por RAJKUMAR et al. (2007) ao estudar a cinética de secagem da polpa de manga com adição de albumina e metilcelulose, na temperatura de 60 °C e espessuras de 1, 2, e 3 mm. RAHARITSIFA & RATTI (2010) verificaram que, aplicando a liofilização na espuma do suco de maçã preparada com 3% de albumina de ovo em diferentes espessuras (1, 4 e 6 cm), a espessura tem impacto significativo na secagem das espumas, isto é, quanto menor a espessura menor também o tempo de secagem.

Pode-se observar que, além da influência da espessura da camada da espuma, a temperatura do ar de secagem também exerce influência no processo de secagem, haja vista que a temperatura de 80 °C foi a que obteve os menores tempos de secagens para as espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, de 310, 550 e 850 min, respectivamente. Na temperatura de 70 °C os tempos de secagem foram de 380, 800 e 1100 min, para as três espessuras, enquanto que na temperatura de 60 °C os tempos de secagem foram 420, 1000 e 1850 min. A influência do aumento da temperatura sobre o tempo de secagem é esperada e relatada em outros estudos, como em RONCHETI et al. (2013) ao estudarem a secagem em camada de espuma da cenoura e morango nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. FURTADO et al. (2010) verificaram, secando polpa de ceriguela pelo processo de secagem em camada de espuma, tempos de secagem inferiores nas temperaturas mais altas (80 °C). KRASAEKOOPT & BHATIA (2012) também observaram redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura ao secar iogurte em leite de espuma. Essas diferenças nos tempos de secagem ocorrem em razão das diferentes temperaturas empregadas principalmente das características de cada produto.

De acordo com FORMOSO et al. (2009) o efeito da temperatura se deve à sua influência sobre o potencial de transferência de água do sólido para o ar de secagem uma vez que o aquecimento do ar a temperaturas mais elevadas, implica na redução de sua umidade relativa afetando diretamente o potencial de transferência de massa. O aumento da temperatura também pode afetar as propriedades físicas da matriz sólida, afetando a difusão da água. Por outro lado, a maior espessura implica no aumento da distância que

deverá ser percorrida por difusão das moléculas de água até a superfície do sólido a partir da qual a transferência de massa passará a ocorrer por convecção.

Em todas as temperaturas e espessuras estudadas constata-se a ocorrência de maior perda de água no início do processo; posteriormente, há diminuição da taxa de migração de água do interior para a superfície e, conseqüentemente, se registram taxas de secagem mais baixas na fase final da secagem.

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Midilli para as temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C e espessura da camada de espuma de 0,5 cm, bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM).

**Tabela 4.5** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm em diferentes temperaturas

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro			$R^2$	DQM	
		k	n				
Page	60	0,0065	1,0792		0,9980	0,0386	
	70	0,0053	1,1674		0,9983	0,0290	
	80	0,0034	1,2630		0,9983	0,0251	
Henderson & Pabis	Temp. (°C)	a	k		$R^2$	DQM	
	60	1,0073	0,0096		0,9974	0,0278	
	70	1,0309	0,0116		0,9964	0,0352	
	80	1,0577	0,0125		0,9943	0,0416	
Midilli	Temp. (°C)	a	k	N	b	$R^2$	DQM
	60	0,9819	0,0062	1,0746	-0,00008	0,9988	0,0017
	70	0,9842	0,0049	1,1713	-0,00008	0,9989	0,0024
	80	0,9935	0,0038	1,2303	-0,00012	0,9989	0,0020

Verifica-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma da polpa de atemoia, em razão de todos apresentarem

coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,98 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,05.

Dentre os modelos testados o de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais com os maiores coeficientes de determinação e os menores desvios quadráticos médios. FURTADO et al. (2010) verificaram, ao secar a polpa de seriguela em camada de espuma em diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C), que os modelos analisados apresentaram ajustes com elevados coeficientes de determinação e baixo erro médio estimado (SE), com o modelo de Midilli & Kucuk sendo o que melhor se ajustou aos dados observados nas diferentes temperaturas de secagem visto que apresentou o maior  $R^2$  e o menor SE.

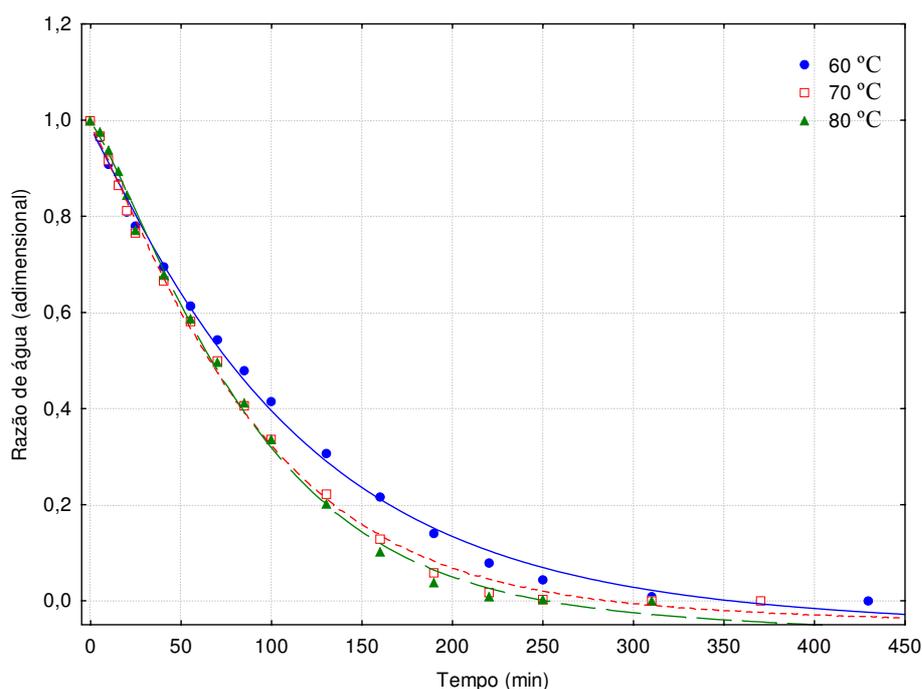
Segundo AZZOUZ et al. (2002) no modelo de Page o parâmetro  $n$  é função da velocidade do ar de secagem e do teor de água inicial do produto e o  $k$  é função da temperatura e do conteúdo de água inicial. Os valores de  $k$  obtidos apresentaram decréscimo com o aumento da temperatura de secagem enquanto que o parâmetro  $n$  aumentou com o aumento da temperatura. DANTAS et al. (2008) encontraram, ao ajustar o modelo de Page às curvas de secagem em camada de espuma da polpa de jaca na temperatura de 90 °C, valores de  $k$  e  $n$  de 0,0046  $\text{min}^{-1}$  e de 1,2651, respectivamente, valores esses superiores e inferiores, respectivamente, aos determinados no presente trabalho, na temperatura de 80 °C. EL-BELTAGY et al. (2007) estudaram a secagem de pedaços de morango submetidos a diferentes pré-tratamentos, nas temperaturas de 50, 55 e 65 °C e velocidade do ar de 1,2 m/s e encontraram, para o modelo de Page  $R^2 \geq 0,97$  e  $\text{DQM} < 0,005$ . GIRALDO-ZUNIGA et al. (2010) estudando a cinética de secagem da polpa de cupuaçu em fatias nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e obtiveram variação nos parâmetros  $k$  e  $n$  em relação às temperaturas estudadas no modelo de Page.

Observa-se, no modelo de Henderson & Pabis que, os valores do parâmetro  $k$  foram aumentando com o aumento da temperatura; este mesmo comportamento pode ser observado com o parâmetro  $a$ ; segundo a Figura A4 (Apêndice A) as curvas de secagem nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ficaram muito próximas. Este comportamento este também observado por ALEXANDRE et al. (2006) estudando a secagem de polpa de pitanga adicionada de agentes emulsificantes, estabilizante e espessante, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Os valores de  $k$  e  $n$  para o modelo de Midilli, diminuíram e aumentaram com o aumento da temperatura, respectivamente. DOYMAZ (2007) concluiu, em secagem de cereja azeda, nas temperaturas de 55 e 65 °C e velocidade do ar de 1 m/s, que o modelo de

Midilli foi satisfatório para descrever as cinéticas de secagem da cereja azeda. FURTADO et al. (2010) estudaram as cinéticas de secagem de polpa de ciriguela nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e verificaram que o modelo matemático de Midilli foi satisfatório com  $R^2$  superior a 0,99 e DQM inferior a 0,02.

Nas Figuras A.1 a A.6 (Apêndice A) são apresentadas as curvas de secagem para as espessuras de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ajustadas pelos modelos de Page e Henderson & Pabis. A Figura 4.9 exibe as curvas de cinética de secagem para o Experimento 8, nas diferentes temperaturas e para a espessura da camada de espuma de 0,5 cm, com ajustes pelo modelo de Midilli. Observa-se que os dados experimentais se aproximam das curvas estabelecidas pelo modelo e a temperatura de secagem influencia na cinética indicando a tendência de que, quanto maior a temperatura menor o tempo de secagem. Notam-se pequenas diferenças entre as curvas a 70 e 80 °C, com um distanciamento maior da curva a 60 °C.



**Figura 4.9** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, espessura da camada de 0,5 cm e em diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Midilli

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Midilli para as três diferentes temperaturas de secagem, a espessura

da camada de espuma de 1,0 cm, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM). Verifica-se que todos os modelos testados podem ser utilizados para representar o processo de secagem pois apresentaram  $R^2$  superiores a 0,99 e DQM inferiores a 0,05.

**Tabela 4.6** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da espuma com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm em diferentes temperaturas

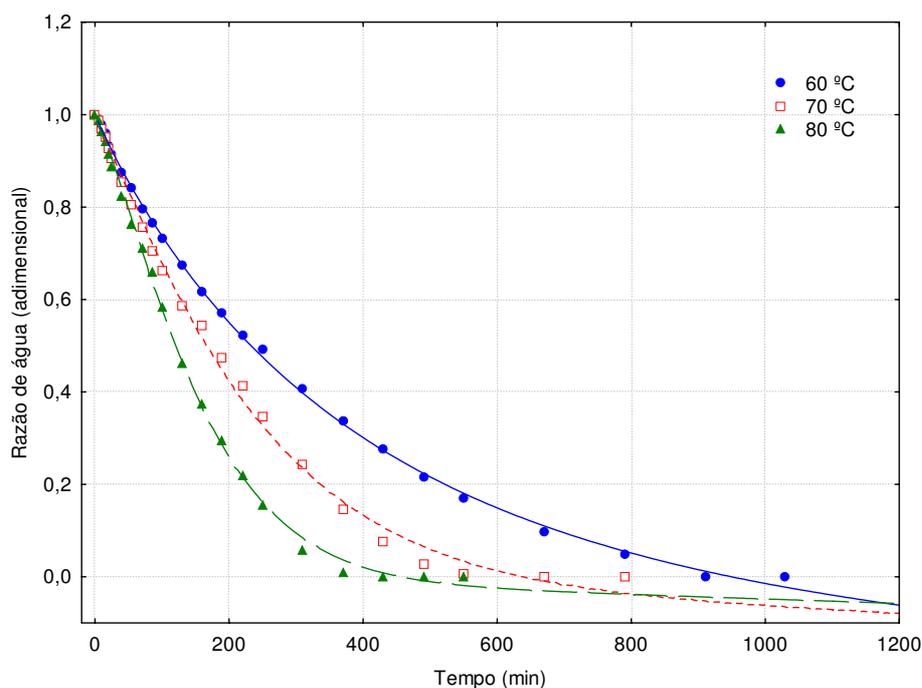
Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro				$R^2$	DQM
		k	n				
Page	60	0,0024	1,0407			0,9983	0,0266
	70	0,0016	1,1815			0,9973	0,0381
	80	0,0013	1,3015			0,9989	0,0293
Henderson & Pabis	Temp. (°C)	a	k			$R^2$	DQM
	60	1,0020	0,0030			0,9981	0,0212
	70	1,0266	0,0046			0,9948	0,0386
	80	1,0505	0,0066			0,9940	0,0446
Midilli	Temp. (°C)	a	K	n	b	$R^2$	DQM
	60	1,0017	0,0038	0,9429	-0,00009	0,9996	0,0007
	70	0,9853	0,0016	1,1652	-0,00006	0,9983	0,0017
	80	0,9868	0,0012	1,3070	-0,00004	0,9994	0,0049

Observando os três modelos utilizados, o parâmetro k diminuiu com o aumento da temperatura para os modelos de Page e Midilli, ocorrendo o inverso para o modelo de Henderson & Pabis, enquanto para o parâmetro n o mesmo aumentou com o aumento da temperatura; tal comportamento também foi observado por SILVA et al. (2008), utilizando os modelos de Page e Henderson & Pabis para o ajuste da curva de secagem da polpa de tamarindo pelo método de secagem em camada de espuma, na temperatura de 80 °C e verificaram bons ajustes com esses modelos, encontrando valores de  $R^2$  de 0,99 e 0,96, respectivamente. COELHO et al. (2010) concluíram, estudando a cinética de secagem da

polpa de mamão pelo método de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, que o modelo matemático de Page foi o que melhor descreveu o comportamento da secagem. PEREZ et al. (2013) observaram que o modelo de Page se ajustou bem aos dados experimentais de secagem da polpa de cupuaçu para os tratamentos estudados apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 99% e erros percentuais médios inferiores a 8,5%, podendo ser usados na predição da cinética de secagem da polpa de cupuaçu.

Dentre os modelos testados o de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes, o que vem a ser confirmado pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,005.

Na Figura 4.10 se apresentam as curvas da cinética de secagem para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo de Midilli para a espessura da camada de espuma de 1,0 cm. DANTAS et al. (2008) também obtiveram excelente precisão com o uso do modelo de Midilli na predição dos dados de secagem em camada de espuma da polpa de jaca. Observa-se que os dados experimentais se aproximam das curvas preditas pelo modelo e a perda de água é mais intensa no início da secagem. Nota-se a influência da temperatura nas curvas de secagem indicando que quanto maior a temperatura mais rápida é a secagem.



**Figura 4.10** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, espessura da camada de 1,0 cm e em diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Midilli

Na Tabela 4.7 são apresentados os valores estimados dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Midilli para as três diferentes temperaturas de secagem, a espessura da camada de espuma de 1,5 cm, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios. Verifica-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem em razão de apresentarem coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,09.

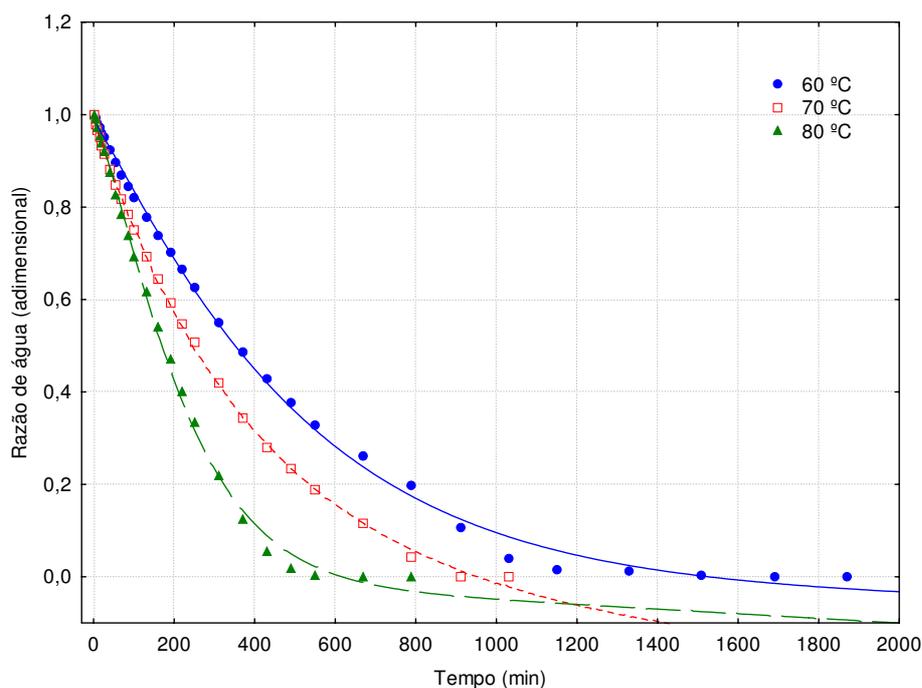
Observando os três modelos utilizados, conclui-se que os parâmetros  $k$  e  $n$  não apresentaram comportamento definido com o aumento da temperatura para os modelos de Page e Midilli, sendo que o parâmetro  $k$  aumentou com o aumento da temperatura no modelo de Henderson & Pabis. GURJÃO (2006) constatou, avaliando a secagem da camada de espuma da polpa de tamarindo, que dos modelos testados o de Midilli foi o que apresentou os maiores valores de  $R^2$  (> 99,78%) e menores DQM para todas as temperaturas, seguido do modelo de Page, que superou o de Henderson e Pabis. O autor observou que os valores de  $K$  ( $\text{min}^{-1}$ ) aumentaram com o aumento da temperatura. SANTOS et al. (2010) verificaram, analisando a cinética de secagem da carambola em secador de bandejas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, que os modelos de Page,

exponencial e Henderson & Pabis se ajustaram bem às curvas de secagem com  $R^2 > 0,96$ , sendo o modelo de Page o que melhor se ajustou aos dados experimentais apresentando maior  $R^2$  e menor erro médio relativo. Dentre os modelos testados o de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes, com  $R^2 > 0,98$  e os menores DQM.

**Tabela 4.7** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios dos modelos de secagem ajustados às curvas de secagem da Emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm nas três diferentes temperaturas

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro				$R^2$	DQM
		k	n				
Page	60	0,0012	1,0802			0,9975	0,0880
	70	0,0019	1,0679			0,9981	0,0364
	80	0,0009	1,2865			0,9982	0,0404
Henderson & Pabis	Temp. (°C)	a	k			$R^2$	DQM
	60	1,0135	0,0021			0,9971	0,0360
	70	1,0017	0,0029			0,9975	0,0249
	80	1,0443	0,0046			0,9931	0,0460
Midilli	Temp. (°C)	a	k	n	b	$R^2$	DQM
	60	0,9861	0,0009	1,1164	-0,00002	0,9989	0,0018
	70	0,9890	0,0025	0,9997	-0,00008	0,9997	0,0007
	80	0,9871	0,0009	1,2802	-0,00005	0,9989	0,0022

Tem-se, na Figura 4.11, as curvas da cinética de secagem da polpa de atemoia com ajustes pelo modelo de Midilli, do Experimento 8 para espessura da camada de espuma de 1,5 cm nas diferentes temperaturas avaliadas. Observa-se, ainda, que houve influência da temperatura sobre as curvas de secagem; nas temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C os tempos de secagem foram em torno de 1900, 1000 e 800 min, respectivamente.



**Figura 4.11** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra, tempo de batimento de 20 min, espessura da camada de 1,5 cm e em diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Midilli

#### 4.4 - Planejamento experimental fatorial (Avaliação do pó de atemoia)

Através da utilização do programa Statistica foram avaliados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas e determinados os erros padrão, os coeficientes  $t$  e a significância estatística ( $p$ ). O valor do coeficiente  $p$  está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo. Normalmente é escolhido, como intervalo de confiança, o valor de 95%. Assim, pode-se afirmar que para valores de  $p$  inferiores a 5% a variável é considerada estatisticamente significativa; caso contrário, é considerada não significativa (TONON, 2009). Por meio da análise dos efeitos da temperatura do ar de secagem e espessura da camada de espuma sobre as respostas de interesse pode-se proceder à obtenção de um modelo matemático e de superfícies de respostas para representar a variação dessas variáveis pelo teste F. Se  $F$  calculado for superior a  $F$  tabelado, a regressão pode ser considerada significativa; de acordo com BOX & WETZ (1973) um modelo pode ser considerado preditivo quando apresenta um valor de  $F$  calculado superior a 4 vezes o valor de  $F$  tabelado.

Na Tabela 4.8 se encontram os valores médios das variáveis dependentes (teor de água, sólidos totais, ácido ascórbico, insolubilidade, luminosidade e intensidade de vermelho) dos pós de atemoia, dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial, em função da espessura da camada e da temperatura de secagem

**Tabela 4.8** – Respostas dos experimentos da secagem em camada de espuma em função da espessura da camada e temperatura de secagem

Exper. (n <sup>o</sup> )	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes					
	Esp. (cm)	T (°C)	TA (%)	ST (%)	AA (mg/100 g)	Insol. (%)	L*	+a*
1	0,5	60	12,61	87,38	13,30	23,71	65,46	11,01
2	0,5	80	6,94	93,05	15,59	29,27	60,21	12,62
3	1,5	60	14,03	85,96	14,93	25,43	53,31	14,66
4	1,5	80	7,77	92,22	14,63	20,16	58,14	13,47
5	0,3	70	7,49	92,50	10,32	29,52	65,63	9,74
6	1,71	70	14,84	85,15	11,25	28,40	50,47	16,04
7	1,0	55,85	15,35	84,64	9,69	22,94	54,92	13,94
8	1,0	84,15	7,33	92,66	12,19	20,33	50,75	15,38
9	1,0	70	8,23	91,76	13,97	29,22	59,35	13,55
10	1,0	70	8,13	91,86	13,97	29,65	59,34	13,47
11	1,0	70	8,18	91,81	13,96	29,24	59,35	13,42

Esp - espessura da camada; T - temperatura de secagem; TA - Teor de água; ST - Sólidos Totais; AA - Ácido Ascórbico; Insol - Insolubilidade; L\*: Luminosidade; +a\*: Intensidade de vermelho.

Nota-se que o teor de água variou entre 6,94 a 15,35% b.u.; o maior teor de água foi encontrado no Experimento 7, realizado na menor temperatura (55,85 °C) e na espessura de camada de 1,0 cm; o menor teor de água foi obtido no Experimento 2, com a menor espessura (0,5 cm) e a maior temperatura (80 °C), este resultado era esperado visto que o material que é submetido à desidratação em camada de espessura menor, tem maior facilidade em perder água por evaporação, em virtude da maior transferência de calor e massa. SILVA FILHO (2012) observou, ao realizar a secagem em camada de espuma da polpa de manga Haden em diferentes temperaturas (50, 60, 70 °C) e espessuras da camada de espuma (0,5, 1,0 e 1,5 cm), que ao aumentar a espessura aumentava também o teor de água; resultados inferiores foram encontrados por OSÓRIO et al. (2011), que relataram

teor de água de 5,37 e 2,75 em polpas de goiaba em pó obtidas por secagem por ar quente e por liofilização, respectivamente.

Com referência ao teor de sólidos totais, o mesmo apresentou comportamento similar ao do teor de água pois a medida que a amostra apresenta teor de água baixo, conseqüentemente a mesma irá apresentar maior teor de sólidos, pois esses parâmetros são inversamente proporcionais; enfim, o teor de sólidos totais variou de 84,64 a 93,05%.

O teor de ácido ascórbico variou entre 9,69 e 15,59 mg/100 g de ácido ascórbico correspondendo aos Experimentos 7 e 2, respectivamente. Comparando com o teor de ácido ascórbico da polpa integral assim como das suspensões, constata-se que, numericamente este parâmetro aumentou após o processo de secagem cujo aumento foi mais expressivo quando se foram utilizadas uma alta temperatura e baixa espessura (experimento 2); este comportamento se baseia na concentração do teor de ácido ascórbico em razão da retirada da água por meio da secagem. Segundo SINGH & LUND (1984) entre os fatores que influenciam a retenção da vitamina C, se encontram a temperatura, a atividade de água ou teor de água, o tempo e a temperatura de processamento e de armazenamento; razão pela qual o teor de vitamina C encontrado em frutas frescas, pode ser maior que em polpas comerciais (GENOVESE et al., 2008). Sabe-se que a estabilidade do ácido ascórbico decresce com o aumento da atividade de água (UDDIN et al., 2001). Uma explicação para o maior teor de ácido ascórbico ter sido do Experimento 2, é provável que, apesar da evidente exposição da polpa a temperatura mais elevada, o tempo de exposição parece ser o responsável pela maior retenção de vitamina C tendo em vista que o tempo de secagem necessário para alcançar peso constante na condição de alta temperatura e baixa espessura foi de 310 min, enquanto que a condição de baixa temperatura e alta espessura foi de 1850 min. Este comportamento condiz com o previamente encontrado na literatura (ERENTURK et al., 2005) e diz que o binômio tempo-temperatura utilizado na desidratação apresenta importante influência na cinética de degradação da vitamina C.

Segundo KHRAISHEH et al. (2004), a estabilidade e a retenção da vitamina C não são dependentes apenas das condições de secagem mas também do teor de água das amostras. O teor de água pode afetar a diluição do ácido ascórbico e dos reagentes na fase aquosa, ou seja, ao mesmo tempo em que o teor de água diminui o grau de diluição reduz e as taxas de reação aumentam, ocasionando a mais baixa retenção de ácido ascórbico. Em um estágio mais tardio da secagem, a temperatura interna da amostra também é mais elevada em comparação com aquela dos estágios iniciais e a expansão da matriz pode expor novos sítios catalíticos contribuindo, assim, com o decréscimo dos teores de

vitamina C. Além disto, as amostras, durante a secagem por convecção, são expostas por mais tempo a outros fatores que também contribuem para a degradação do ácido ascórbico, como luz e O<sub>2</sub>, o que poderia justificar as maiores perdas desta vitamina. ANGEL et al. (2009) encontraram uma variação de ácido ascórbico de 56,89 a 39,73 mg/100 g para o pó atomizado do suco de maracujá elaborado com diferentes blends de lactose-maltodextrina DE-10 (8:5, 10:5 e 12:5%) e diferentes condições de processo: temperatura de entrada do ar (180-190 °C) e pressão do ar (0,10 e 0,20 MPa). KADAM et al. (2012) obtiveram, ao secarem espuma de abacaxi elaborada com albumina, 52,28% de perda de ácido ascórbico.

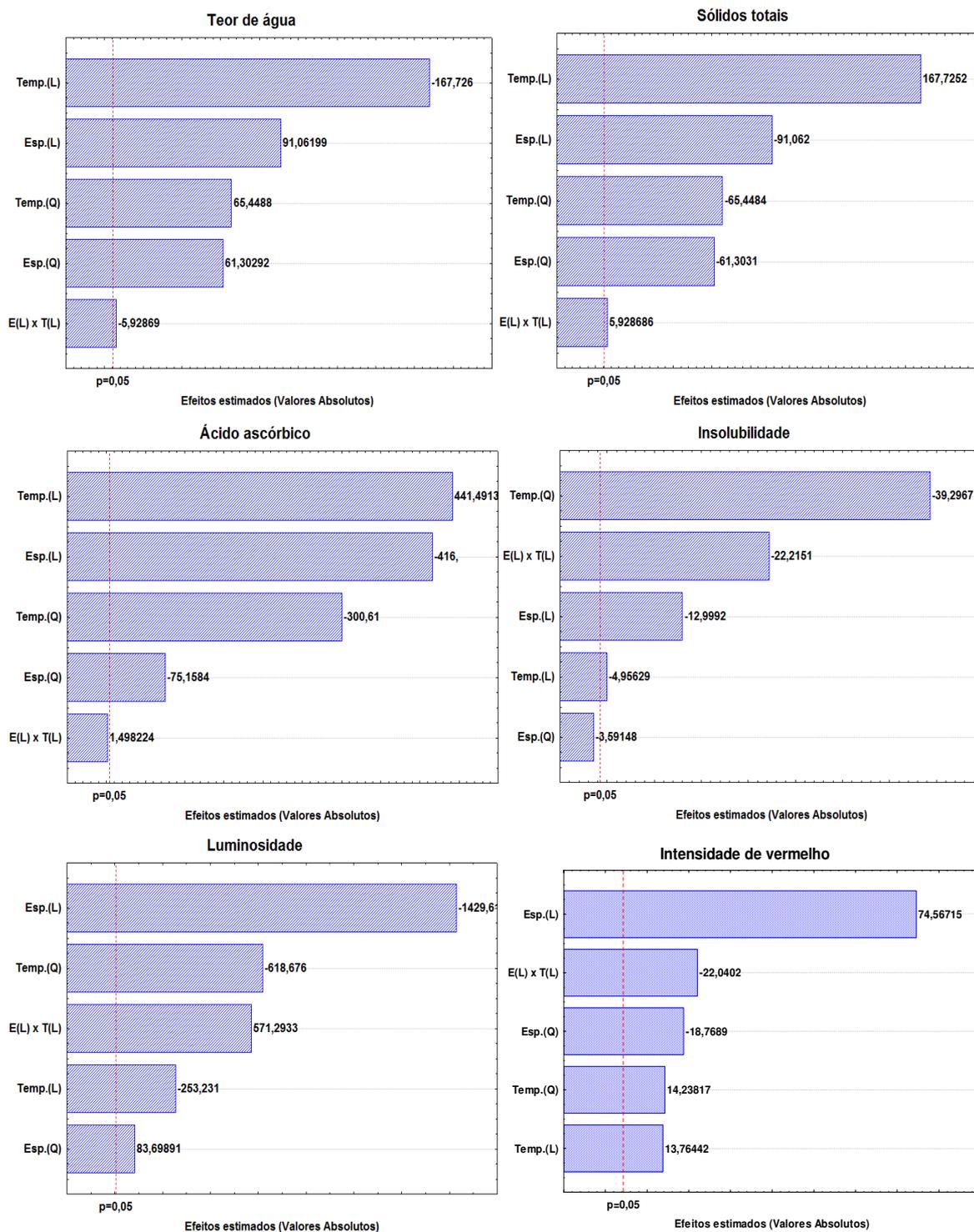
A insolubilidade da atemoia em pó variou entre 20,16 a 29,65%. Os menores valores de insolubilidade foram obtidos nos Experimentos 4 e 8, em que ambos utilizaram maiores temperaturas do ar de secagem (80 e 84,15 °C) obtendo baixos teores de água. Os pós se solubilizam mais facilmente nesses experimentos pois a solubilidade do pó está associada ao conteúdo de água, ou seja, a solubilidade aumenta com a diminuição no teor de água. Resultado bastante inferior de solubilidade foi encontrado por DANTAS (2010) caracterizando os pós produzidos pela secagem de mistura de polpas de frutas e observou que a solubilidade dos produtos foi, em média, de 63%. MOREIRA (2007) estudou a secagem do extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola em diferentes temperaturas (170-200 °C) com maltodextrina e goma de cajueiro como carreadores e concluiu que todos os pós apresentaram boa solubilidade, que variou entre 90,97 e 96,92%. BARBOSA (2010) encontrou valores de solubilidade de 97,29 a 99,37% em sucos de frutas em pó utilizando maltodextrina como carreador e temperaturas de secagem de 155 e 165 °C.

A luminosidade apresentou valores entre 50,47 e 65,63; em comparação com a suspensão (2% de Emustab, 2% de Super Liga Neutra e 20 min de tempo de batimento), o pó se apresentou em alguns casos mais escuros pois a suspensão tinha  $L^* = 63,87$ ; tal resultado pode estar relacionado com a ocorrência de reações químicas, resultando na degradação de pigmentos como os carotenoides, os quais são possíveis de variação com a alteração de temperatura, acidez do meio, tal como a presença de oxigênio e enzimas, além da possível alteração com outros componentes do meio, como ácido ascórbico, íons metálicos e açúcares. Em síntese, o aumento de  $L^*$  pode ter ocorrido devido à degradação de pigmentos por qualquer mecanismo que leve à formação de compostos menos coloridos (KHA et al., 2010). As amostras que atingiram coloração mais clara, foram dos Experimentos 1, 2 e 5, que utilizaram menores espessuras (0,3 e 0,5 cm) cujos processos de secagem são mais rápidos, não degradando a coloração da amostra. Comportamento

semelhante foi encontrado por SILVA FILHO (2012) quando analisou a desidratação da polpa de manga Haden pelo método de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, encontrando luminosidade média de 40,80 para a polpa integral; após a secagem o pó de manga apresentou uma luminosidade média de 58,99; 56,50 e 58,06 para as três temperaturas estudadas, respectivamente. SOLVAL et al. (2012) observaram, trabalhando com melão em pó produzido em secador por aspersão com diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas do ar de entrada (170, 180 e 190 °C), que a cor da amostra não foi afetada pela temperatura de ar de secagem sendo obtidos valores de  $L^*$ , variando de 89,06 a 94,56; resultados superiores aos relatados neste estudo. QUEK et al. (2007), observaram que a luminosidade do suco de melancia em pó em secador por aspersão foi reduzida com o aumento da temperatura de ar de secagem causando escurecimento do pó, provocado pelo alto teor de açúcares.

A intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) aumentou quando comparada com a suspensão, visto que era de 9,73 na espuma e passou para 9,74 a 16,04 no pó. Da mesma maneira que o binômio tempo x temperatura afetou a luminosidade das amostras, também ocorre na intensidade de vermelho; o Experimento 5 utilizou a menor espessura (0,3 cm) com temperatura mediana (70 °C) e apresentou a menor intensidade de vermelho (9,74), enquanto o Experimento 6 utilizou a maior espessura (1,71 cm) com temperatura mediana (70 °C) e apresentou a maior intensidade de vermelho (16,04). QUEK et al. (2007) verificaram ao estudar a influência da temperatura do ar de secagem em polpa de melancia em diferentes temperaturas (145, 155, 165 e 175 °C) que com o aumento da temperatura houve tendência de aumento da intensidade do vermelho.

A Figura 4.12 mostra o diagrama de Pareto das variáveis dependentes do processo de secagem em camada de espuma representando os efeitos dos parâmetros das regressões e suas respectivas significâncias. O diagrama de Pareto é uma das formas de se avaliar, visualmente, a influência dos fatores estudados sobre a resposta. A magnitude dos efeitos é representada pelas barras enquanto a linha transversal às barras representa a magnitude dos efeitos com significado estatístico para  $p = 0,05$ , ou seja, os fatores que são estatisticamente significativos a 95% de confiança.



**Figura 4.12** - Diagramas de Pareto referentes aos efeitos dos parâmetros das regressões sobre as respostas, sendo: Esp.(L) e Temp.(L): efeitos dos parâmetros lineares da espessura da camada e da temperatura de secagem; Esp.(Q) e Temp.(Q): efeitos dos respectivos parâmetros quadráticos

Verifica-se, para o teor de água, que os fatores lineares, quadráticos e a interação, foram significativos a 95% de confiança; logo, as barras ultrapassaram a linha transversal. O fator linear temperatura foi a variável que mais influenciou no teor de água final do pó de atemoia seguido do fator linear espessura, fato evidenciado quando se observam os valores do efeito estimado de cada fator linear e quadrático avaliado. Verifica-se que o fator linear temperatura, apresenta valor absoluto maior (módulo), quando comparado com a variável espessura e a interação das mesmas 167,726; 91,061 e 5,928, respectivamente, assim é possível verificar uma concordância com os dados estudados da cinética; constata-se, também, que a variável linear temperatura de secagem apresentou efeitos estimados negativos, ou seja, apresenta efeito decrescente sobre a resposta, quando passa de um nível -1 para um nível +1; implicando dizer que, quanto maior a temperatura de secagem menor será o teor de água do pó de atemoia proporcionando, desta forma, maior estabilidade e tempo de conservação do produto; por outro lado, a variável linear espessura apresentou efeito estimado positivo, ou seja, o sinal positivo indica que a diminuição da espessura da camada facilita a secagem da espuma de atemoia. Uma possível explicação para essa facilidade seria uma resistência menor para a transferência de calor e massa, ao se utilizar uma camada de menor espessura. BARRETO (2011) verificou, analisando a desidratação da polpa de pitanga roxa, que os valores médios de teor de água do pó que continha somente albumina e o que continha albumina + Superliga®, foram de 3,19% e de 3,06%, respectivamente, não havendo diferença significativa entre as formulações estudadas. FALADE & OKACHA (2012) constataram, para a secagem da banana nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, que ao aumentar a temperatura de secagem ocorreram reduções no teor de água do pó em 8,4, 7,8 e 6,8%, respectivamente.

Observa-se, no diagrama de Pareto que para os sólidos totais apresentam o mesmo comportamento encontrado para o teor de água pois esses parâmetros são inversamente proporcionais. Todos os fatores lineares, quadráticos e a interação dos fatores lineares foram significativos a 95% de confiança. Os fatores lineares temperatura e espessura foram os que mais influenciaram no processo de secagem em camada de espuma sendo que desta vez a temperatura exerceu um efeito estimado positivo, ou seja, quanto maior a temperatura utilizada maior também será o teor de sólidos totais enquanto a espessura teve efeito negativo indicando que quanto maior a espessura, menor será o teor do mesmo.

Para o ácido ascórbico, o diagrama de Pareto demonstra que os fatores lineares e quadráticos temperatura e espessura foram significativos e a interação Espessura (L) x Temperatura (L) não foi significativa não ultrapassando a linha transversal. Constata-se,

ainda, que o fator linear temperatura foi a variável que mais influenciou no teor de ácido ascórbico das amostras apresentando efeitos estimados positivos, isto é, apresentam efeito crescente sobre a resposta quando passa de um nível -1 para um nível +1, implicando dizer que quanto maior a temperatura de secagem maior também será a retenção do ácido ascórbico da atemoia em pó. A superioridade dos valores de ácido ascórbico na maior temperatura em relação à menor temperatura de secagem se deve, provavelmente, à menor degradação do ácido ascórbico provocada pelo menor tempo de secagem a 80 °C. MELO (2012) identificou, ao analisar a polpa de atemoia em pó obtida em secador por aspersão nas temperaturas de 160, 170 e 180 °C, que a temperatura do ar de secagem foi o único fator que influenciou no processo apresentando efeito estimado positivo, ou seja, a cada vez que a temperatura aumentava o teor de ácido ascórbico também aumentava. KANDASAMY et al. (2012) constataram que a secagem de mamão em pó a 60 °C reteve maior quantidade de vitamina C quando comparada com a secagem a 65 e 70 °C pelo método em camada de espuma.

Para a insolubilidade, o fator quadrático temperatura, a interação dos fatores lineares (espessura e temperatura) e os fatores lineares espessura e temperatura, foram significativos a 95% de confiança seguindo esta mesma ordem. Como se observa no diagrama de Pareto, a temperatura foi o fator que mais influenciou no processo seguido da interação Espessura(L) x Temperatura(L), ambos com efeito estimado negativo, ou seja, quanto maior a temperatura de secagem menos insolúvel será o produto final. As propriedades instantâneas, tais como imersibilidade, molhabilidade, dispersibilidade e solubilidade, são influenciadas pela natureza dos alimentos; por exemplo, teor de sólidos, viscosidade e temperatura. A solubilidade do pó está associada com o conteúdo de água e condições operacionais do secador aumentando com a diminuição no teor de água (GOULA & ADAMOPOULOS, 2005). Os sólidos amorfos possuem elevada solubilidade e alta velocidade de dissolução, em comparação com o estado cristalino (YU, 2001). Diante do exposto, considera-se que um nível maior de material amorfo propicia uma elevação da solubilidade do pó na água. Reciprocamente, um grau superior de partículas no estado cristalino resulta em baixas solubilidades do pó em água. Comportamento contrário foi verificado por SANTIAGO et al. (2013) secando um mix de polpa de mamão com cenoura em camada de espuma, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C; esses autores constataram que os maiores resultados obtidos de solubilidade foram para a menor temperatura de secagem (50 °C). CRUZ (2013) observou, ao secar polpa de goiaba pelo

processo de camada de espuma adicionada de 2,5% de emulsificante, que ao aumentar a temperatura (60, 70 e 80 °C) a solubilidade se manteve estável (88,80; 88,11 e 88,51%).

O diagrama de Pareto da luminosidade e da intensidade de vermelho demonstra que todos os fatores lineares, quadráticos e as interações, foram significativos a 95% de confiança, sendo o fator linear espessura o que mais influenciou na cor do produto final. Para a luminosidade, o fator quadrático temperatura foi o segundo que mais influenciou apresentando efeito estimado negativo, assim como a espessura (L), indicando que quanto maior a espessura e a temperatura mais escuro é o produto; isto se dá pelo fato de que a elevada temperatura (80 °C) associada à espessura, também elevada, pode influenciar no processo degradativo dos carotenoides da polpa de atemoia. Esta redução está associada à diminuição deste pigmento amarelo que possui estrutura química instável, ou seja, facilmente reativa (SANTOS et al., 2013); já para a intensidade de vermelho o fator espessura linear apresentou efeito estimado positivo indicando que quanto maior a espessura maior também a intensidade de vermelho no produto final; este fato pode ser explicado porque o uso de espessuras elevadas faz com que o tempo de secagem seja maior; com isto as amostras ficam submetidas ao calor por muito tempo, alterando não só sua coloração mas também outros parâmetros qualitativos. SOUSA et al. (2008) encontraram, ao estudar diferentes condições de secagem (temperatura - 200 a 220 °C; vazão da bomba – 127 a 276 g/min e velocidade de atomização – 25000 a 35000 rpm) aplicada à polpa de tomate e adicionada de 10% de maltodextrina DE-10 e 1% de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), encontraram efeito significativo para todos os parâmetros estudados e verificando que este aumento tornava as amostras em pó mais escuras.

Na Tabela 4.9 tem-se os índices estatísticos dos modelos selecionados; constata-se que para todos os parâmetros avaliados como variáveis resposta apresentaram o modelo de regressão significativo a nível de 95% de confiança, fato coerente com os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) que foram acima de 84%.

**Tabela 4.9** - Índices estatísticos dos modelos referentes às respostas dos experimentos da secagem em camada de espuma da polpa de atemoia

Resposta	Modelo selecionado	Regressão		Falta de ajuste		R <sup>2</sup>
		F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> (5%)	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> (5%)	
TA	Quadrático + interações	10,2380	5,05	1388,8832	19,16	91,10
ST	Quadrático + interações	10,2380	5,05	1388,8789	19,16	91,10
AA	Quadrático + interações	7,3859	5,05	20693,223 6	19,16	88,08
Insol.	Quadrático + interações	19,0224	5,05	39,6498	19,16	95,01
L*	Quadrático + interações	5,6582	5,05	170506,08 5	19,16	84,98
+a*	Quadrático + interações	6,8226	5,05	342,0711	19,16	87,22

TA - Teor de água; ST - Sólidos Totais; AA - Ácido Ascórbico; Insol - Insolubilidade; L\* - Luminosidade; +a\* - Intensidade de vermelho

Quando se observa o teste F, verifica-se que os valores dos F<sub>calculado</sub> foram superiores ao F<sub>tabelado</sub> em todas as respostas, logo, os modelos quadráticos propostos foram estatisticamente significativos a 95% de confiança e, levando-se em consideração o valor da razão entre o F<sub>calculado</sub> e F<sub>tabelado</sub>, pode-se afirmar que, de acordo com o teste F, os modelos quadráticos das variáveis resposta foram estatisticamente significativos porém não preditivos visto que, segundo BOX & WETZ (1973), para que uma regressão seja não apenas significativa mas também preditiva os valores da razão entre o F<sub>calculado</sub> e o F<sub>tabelado</sub>, devem ser no mínimo maiores que 4; observa-se, ainda, que os F<sub>calculado</sub> das faltas de ajuste resultaram em um valor muito alto evidenciando que as mesmas também foram significativas a 95% de confiança. Embora os modelos tenham obtido coeficientes de determinação satisfatório, acima de 84% da variação dos dados, houve uma falta de ajuste do modelo aos dados experimentais; contudo, os modelos quadráticos propostos para as variáveis resposta se mostraram, embora tenham se apresentado significativos, não preditivos (F<sub>calc</sub>/F<sub>tab</sub> < 4); logo, os mesmos devem ser considerados com restrição, o que

nos leva a tomá-los com precaução, tomando apenas o efeito do fator (linear ou quadrático) que tenha sido significativo como determinante sobre a variável resposta.

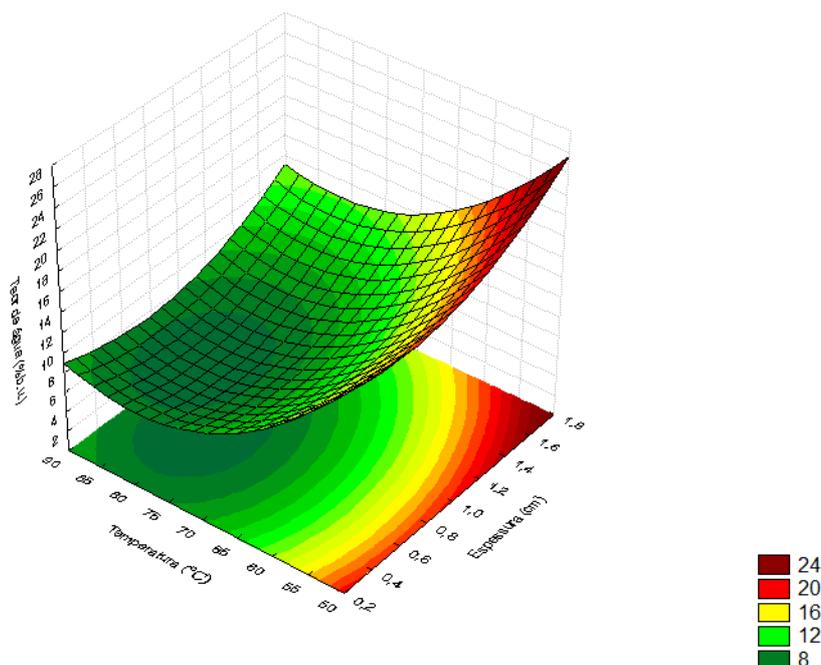
Na Tabela 4.10 tem-se demonstrado os modelos codificados propostos para representar o teor de água, os sólidos totais, o ácido ascórbico, a insolubilidade, a luminosidade e a intensidade de vermelho do pó de atemoia, resultante do processo de secagem, dentro dos limites de temperatura de secagem e espessura da camada de espuma.

**Tabela 4.10** - Coeficientes de regressão (codificados) dos modelos referentes às respostas dos experimentos do pó de atemoia

Fatores	Coeficientes					
	Média	Esp.(L)	Esp.(Q)	Temp.(L)	Temp.(Q)	Esp.(L) x Temp.(L)
TA	8,182887	1,58005	1,26604	-2,91026	1,35166	-0,14548
ST	91,81713	-1,58005	-1,26604	2,91025	-1,35165	0,14548
AA	12,34767	-0,84916	-0,18260	0,90119	-0,73035	
Insol.	29,37524	-2,24103		-0,85445	-8,06342	-5,41618
L*	59,35000	-4,45761	0,31063	-0,78959	-2,29604	2,51917
+a*	13,48333	1,67661	-0,50229	0,30949	0,38104	-0,70083

TA - Teor de água; ST - Sólidos Totais; AA - Ácido Ascórbico; Insol - Insolubilidade; L\* - Luminosidade; +a\* - Intensidade de vermelho

A Figura 4.13 apresenta a superfície de resposta para o teor de água do pó de atemoia, através do modelo proposto (Tabela 4.10), variando os valores de temperatura de secagem e espessura da camada de espuma.

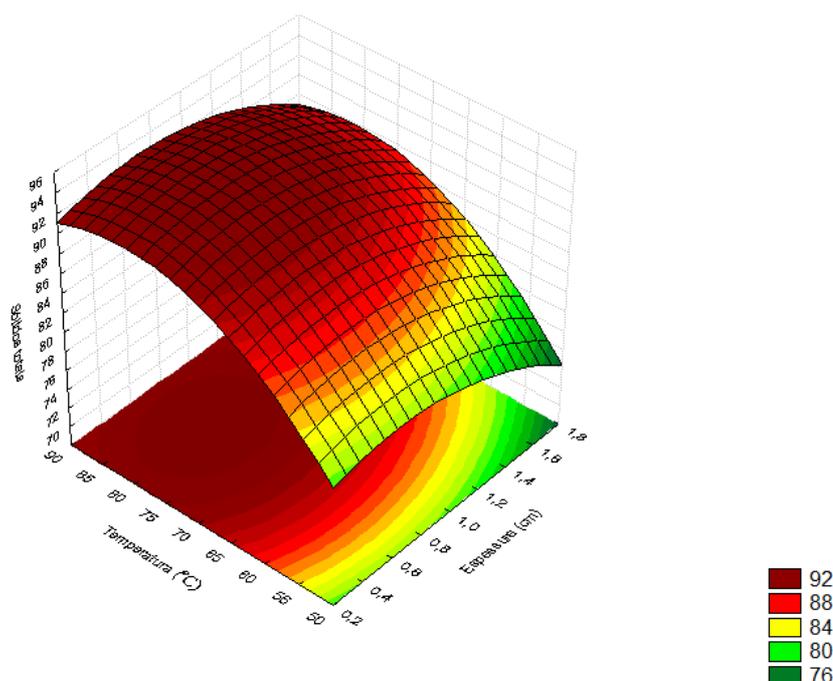


**Figura 4.13** - Superfície de resposta para teor de água do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura

Observa-se que a temperatura de secagem foi a variável que mostrou maior influência sobre o teor de água final dos pós. O uso de temperaturas mais altas implica em maior gradiente de temperatura entre o produto e o ar de secagem, acarretando maior transferência de calor e, conseqüentemente, maior evaporação de água do produto resultando em teores de água mais baixos. A espessura da camada de espuma apresentou efeito positivo sobre o teor de água, ou seja, os processos realizados com maiores espessuras da camada resultaram em partículas mais úmidas. O aumento desta variável faz com que o processo de transferência de calor seja menos eficiente e resultando, assim, em menor evaporação de água do produto, porém, quando foram utilizadas temperaturas mais elevadas, o uso de altas espessuras também resultou em pós com alto teor de água, conforme pode ser observado na Figura 4.13, confirmando o efeito negativo da interação temperatura × espessura observado nas análises estatísticas e indicando que a temperatura foi o fator que exerceu o efeito mais forte sobre a secagem. SOUZA et al. (2008) observaram, estudando a influência das condições de secagem por pulverização sobre as propriedades físicas da polpa de tomate desidratada nas temperaturas de 200, 210 e 220 °C, que com o aumento da temperatura o resultado se refere aos pós com teores de água mais baixos. Resultados semelhantes foram obtidos por AL-ASHEH et al. (2003), GOULA & ADAMAPOULOS (2005) para a obtenção da polpa de tomate em pó através do método de

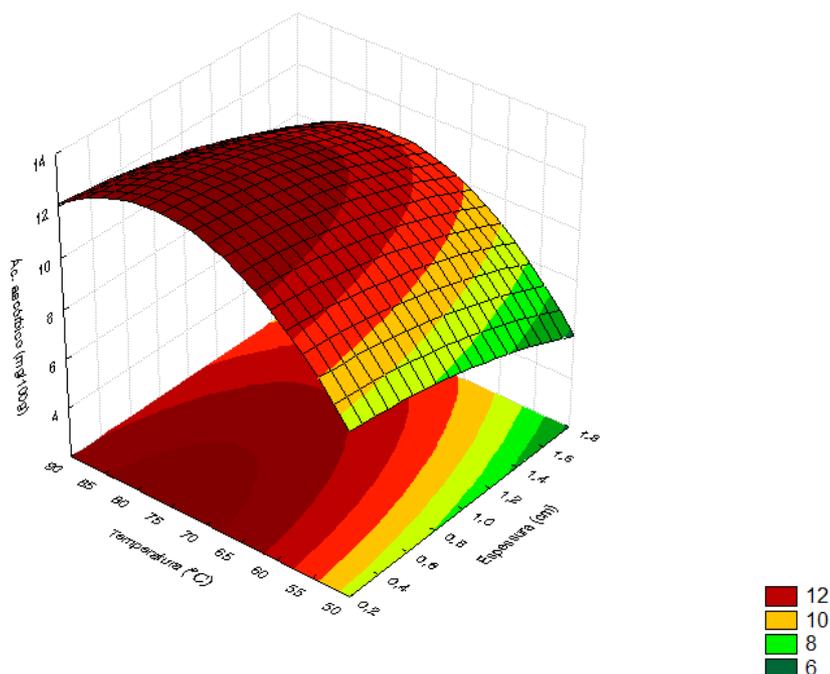
secagem por aspersão, respectivamente. ABADIO et al. (2004) e CHEGINI & GHOBADIAN (2005) concluíram, pesquisando os efeitos da desidratação de abacaxi e o suco de laranja em sacador por aspersão, respectivamente, que o aumento da temperatura do ar de secagem conduz a baixos teores de água.

A Figura 4.14 apresenta a superfície de resposta referente ao modelo quadrático proposto para o teor de sólidos totais do pó de atemoia. Percebe-se que o aumento da temperatura, juntamente com o uso de espessuras mais baixas, acarretou em teor de sólidos totais mais elevado, resultado previsto pois, como discutido anteriormente, a utilização de altas temperaturas com menores espessuras, produz um pó com menor teor de água; logo, se o mesmo apresenta menos água em sua constituição terá consequentemente mais sólidos, o que vem a confirmar o efeito positivo que a temperatura teve no processo de secagem, tal como o efeito negativo da espessura. ROCHA (2003) avaliou a obtenção de suco misto de açaí, morango e acerola em pó, por liofilização e camada de espuma, observando um teor de sólidos totais nos pós produzidos de 88,89 e 90,12%, respectivamente. KRASAEKOOPT & BHATIA (2012) produziram o iogurte em pó utilizando o processo de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, e encontraram teor de sólidos totais para as amostras provenientes das três temperaturas estudadas na ordem de 91,4; 91,5 e 91,5%, respectivamente.



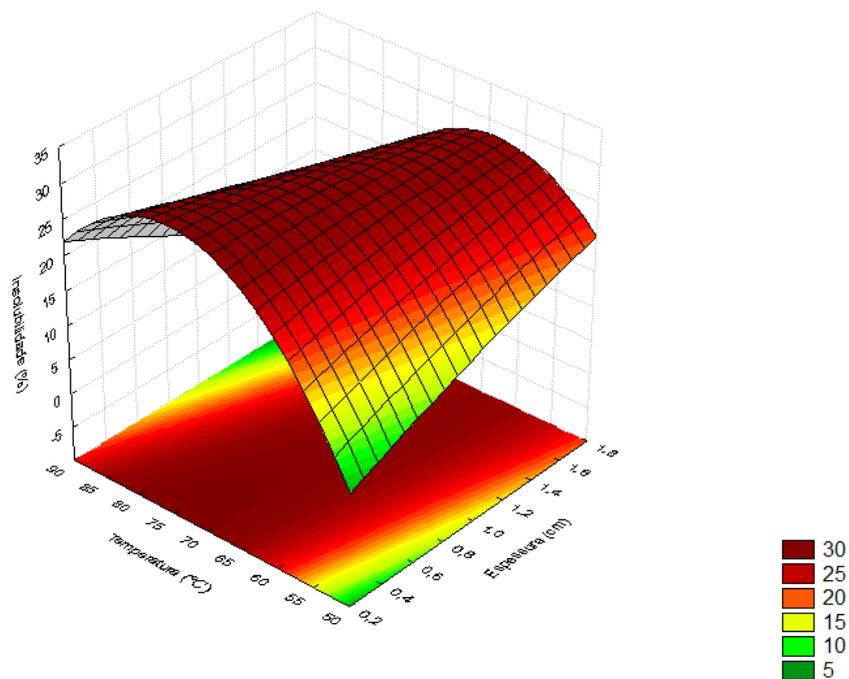
**Figura 4.14** - Superfície de resposta para os sólidos totais do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura

De acordo com a Figura 4.15, pode-se observar o efeito positivo da temperatura sobre o teor de ácido ascórbico, ou seja, o teor deste composto aumenta com o aumento da temperatura de secagem e o efeito negativo da espessura, indicando que quanto maior a espessura menor é o teor de ácido ascórbico. Este processo pode ser explicado em razão das amostras que foram obtidas a partir de temperaturas elevadas e baixa espessura apresentaram baixos teores de água, enquanto que as provenientes de temperaturas baixas e altas espessuras apresentaram alto teor de água fazendo com que o ácido ascórbico fique mais concentrado em menores teores de água. As taxas de degradação de vitamina C aumentam em atividades de água mais altas devido, supostamente, ao fato da reação de oxidação ocorrer mais facilmente quando a fase aquosa do produto é menos viscosa (LEE & LABUZA, 1975). Segundo esses mesmos autores, o aumento da taxa de degradação pode ser resultado da diluição da fase aquosa o que provoca um decréscimo da viscosidade e aumenta a mobilidade dos reagentes. DANTAS (2010) observou, analisando a degradação do ácido ascórbico no abacaxi e na manga durante o processo de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 60 e 70 °C, que as amostras obtidas pela maior temperatura apresentaram maior retenção de ácido ascórbico, e o pó de abacaxi apresentou valores da ordem de 11,00 e 14,32 mg/100 g, respectivamente; o pó de manga apresentou 10,40 e 17,73 mg/100 g.



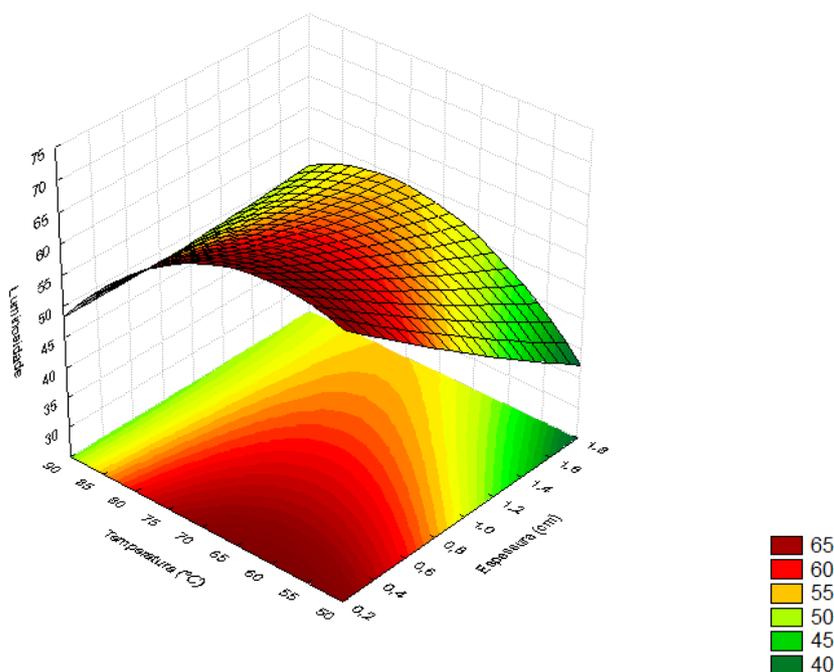
**Figura 4.15** - Superfície de resposta para o ácido ascórbico do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura

O efeito dos fatores temperatura e espessura sobre a insolubilidade do pó de atemoia pode ser verificado na Figura 4.16, através da superfície de resposta. Observa-se que a temperatura foi o fator de maior influência visto que a área em vermelho compreende quase todo o eixo da temperatura mas, ao mesmo tempo, a espessura também influenciou no processo; contudo, a interação dos fatores espessura x temperatura foi essencial para interferir na insolubilidade das amostras. A utilização de altas espessuras e temperaturas produziu um pó com baixo teor de água e, em contrapartida, menos insolúvel; resultado contrário foi encontrado por FERNANDES et al. (2014) estudando a adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó obtido pelo processo de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 60 e 80 °C, concluindo que a insolubilidade da amostra secada na temperatura mais alta, foi maior. GOULA & ADAMOPOULOS (2008) avaliaram o efeito da adição da maltodextrina durante o processo de secagem por aspersão para obtenção do pó de tomate nas temperaturas 130, 140 e 150 °C e concluíram que a solubilidade do pó foi maior nas amostras provenientes da secagem com a temperatura mais alta. SARABANDI et al. (2014) encontraram, pesquisando os efeitos da secagem por aspersão nas propriedades físicas do xarope de uva, que a solubilidade dos pós de xarope de uva variou de 97,6-99,96% e que, ao aumentar a temperatura do ar de entrada, ocorreu um aumento da solubilidade.



**Figura 4.16** - Superfície de resposta para a insolubilidade do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura

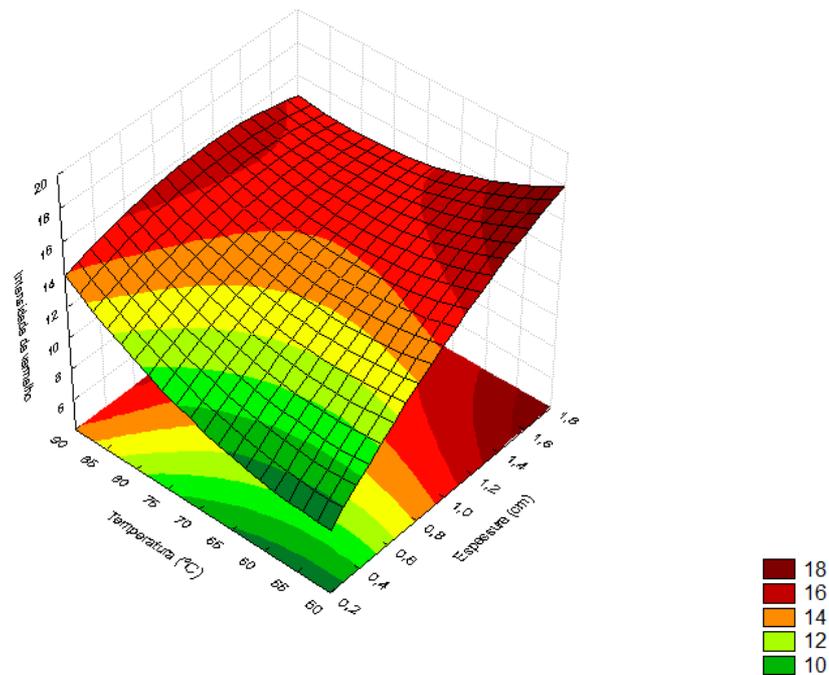
A Figura 4.17 apresenta a superfície de resposta para a luminosidade do pó de atemoia através do modelo proposto (Tabela 4.10), variando os valores de temperatura de secagem e espessura da camada. Observa-se, para que o pó de atemoia apresente coloração mais clara, com melhor aparência é necessário utilizar espessuras da camada e temperaturas de secagem mais baixas; desta forma se confirma o efeito negativo que a espessura e a temperatura exerceram no processo de secagem, ou seja, que quanto maior a espessura e a temperatura menor será a luminosidade do produto final; logo, mais escuro. Tal fato pode ser relacionado à maior degradação de pigmentos em função do menor conteúdo e da menor retenção dos mesmos. AHMED et al. (2010) atribuíram as diferenças na cor de batata-doce-roxa em pó obtida em secagem por aspersão, à presença de antocianinas poliméricas, as quais possuem tonalidade mais marrom resultando em pós mais escuros (menor  $L^*$ ), decorrentes de reações de degradação através de altas temperaturas. SANTIAGO et al. (2013) verificaram, para amostras do pó de mix da polpa de mamão com cenoura, aumento da luminosidade com o aumento da temperatura.



**Figura 4.17** - Superfície de resposta para a luminosidade do pó de atemoia, relacionando a temperatura  $\times$  espessura

A Figura 4.18 apresenta a superfície de resposta para a intensidade de vermelho do pó de atemoia, relacionando a espessura  $\times$  temperatura, no ponto central. Pode-se observar o efeito positivo da espessura sobre a intensidade de vermelho, ou seja, a

intensidade de vermelho aumenta com o aumento da espessura da camada, ou seja, a condição ótima para se obter um produto com maior intensidade de vermelho ( $+a^* = 18$ ), é aquela com maior espessura da camada e temperatura do ar de secagem mediana (ponto central); já a condição para se obter um produto com intensidade de vermelho menor ( $+b^* = 10$ ), é uma espessura menor da camada seguida de menor temperatura. CRUZ (2013) observou ao secar, pelo processo de secagem em camada de espuma, a polpa de goiaba adicionada de 2,5% de emulsificante que, ao aumentar a temperatura (60, 70 e 80 °C) a intensidade de vermelho se manteve estável. FERRARI et al. (2012) analisaram a influência da temperatura de secagem e a adição de maltodextrina durante a secagem por aspersão da polpa de amora preta e concluíram que o pó apresentou redução na intensidade de vermelho da temperatura de 160 para 180 °C.



**Figura 4.18** - Superfície de resposta para a intensidade de vermelho do pó de atemoia, relacionando a temperatura × espessura

#### 4.4.1 – Caracterização química, física e físico-química das amostras em pó

Após realizar as análises das variáveis respostas do planejamento experimental fatorial da atemoia em pó, foram analisados também outros parâmetros químicos, físicos e físico-químicos com a finalidade de fazer um estudo mais aprofundado das amostras de

atemoia em pó produzidas em diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma.

Das análises de variância obtidas ao se realizar o tratamento estatístico dos parâmetros analisados para os 11 experimentos, pôde-se constatar que o pH, a acidez total titulável, os açúcares redutores, não-redutores e totais, a atividade de água, a massa específica, a molhabilidade, o tempo de reconstituição, o ângulo de repouso e a distribuição granulométrica, foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, enquanto as cinzas, a massa específica e o rendimento, não foram significativos.

Na Tabela 4.11 estão expressos os resultados médios encontrados na determinação da caracterização física, química e físico-química do pó de atemoia para os diferentes experimentos.

**Tabela 4.11** – Caracterização química, física e físico-química da atemoia em pó obtida através do processo de secagem em camada de espuma em diferentes espessuras e temperatura do ar de secagem

Parâmetros	Médias										
	Exp. 1	Exp. 2	Exp.3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10	Exp. 11
pH	5,48 a	5,45 a	5,41 ab	5,45 a	5,10 c	5,11 c	5,15 c	5,15 c	5,34 b	5,34 b	5,35 b
Acidez total titulável (% ác. cítrico)	1,60 d	1,87 a	1,77 b	1,89 a	1,64 cd	1,70 bc	1,64 cd	1,70 bc	1,76 b	1,76 b	1,76 b
Cinzas (%)	3,07 a	4,18 a	3,45 a	4,11 a	3,41 a	3,18 a	3,32 a	3,28 a	3,52 a	3,53 a	3,28 a
Açúc. redutores (% glicose)	57,98 b	62,95 ab	60,31 b	64,35 ab	68,44 a	67,92 a	69,39 a	67,34 a	60,32 b	60,32 b	60,32 b
Açúc. não-redutores (% sacarose)	8,97 bcd	9,69 bcd	11,49 abcd	11,97 abc	4,13 d	4,62 cd	4,54 cd	19,00 a	15,04 ab	15,04 ab	15,04 ab
Açúc. totais (% glicose)	66,95 d	72,64 bc	71,80 c	76,32 b	72,57 bc	72,54 bc	73,93 bc	86,35 a	75,36 bc	75,36 bc	75,36 bc
Intens. amarelo (+b*)	29,05 e	31,63 b	31,41 bc	30,86 cd	30,33 d	34,48 a	31,42 bc	34,18 a	31,25 bc	31,24 bc	31,24 bc
Atividade de água (a <sub>w</sub> )	0,198 a	0,188 b	0,175 c	0,162 d	0,135 f	0,145 e	0,204 a	0,174 c	0,164 d	0,164 d	0,164 d
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	684,66 a	680,96 a	681,94 a	683,42 a	683,42 a	680,26 a	681,97 a	683,17 a	681,19 a	681,25 a	681,06 a
Molhabilidade (g/s)	0,071 e	0,190 d	0,400 b	0,282 c	0,174 d	0,537 a	0,400 b	0,551 a	0,286 c	0,285 c	0,285 c
Tempo de reconstituição (s)	50 a	32,5 b	22,5 bc	30 bc	24 bc	21,5 bc	20,5 c	27 bc	27,5 bc	27,5 bc	27,5 bc
Tempo de escoamento (s)	1 a	1 a	1 a	1 a	1 a	1 a	1 a	1 a	1 a	1 a	1 a
Ângulo de repouso	10,20 a	8,94 b	9,54 ab	9,05 b	9,53 ab	9,48 ab	9,21 b	9,23 b	9,03 b	9,05 b	9,01 b
Rendimento (%)	25,42 a	25,73 a	26,84 a	26,06 a	25,52 a	25,91 a	26,63 a	25,57 a	25,29 a	25,29 a	25,29 a

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

O pH apresentou diferença estatística entre alguns experimentos, embora numericamente esta diferença não se tenha mostrado tão expressiva pois o pH variou de 5,10 a 5,48. Comparando com o pH da polpa integral, o mesmo aumentou com o processo de desidratação; uma possível explicação sobre este fato é que a retirada da água do produto faz com que ocorra a oxidação das suas partículas. SANCHÉZ et al. (2011) encontraram valores de pH de 5,7; 5,7 e 5,4 para amostras em pó de suco de melancia com adição de 0,5% de maltodextrina DE-10, 0,5% de goma arábica e 0,5% de maltodextrina DE-10 e goma arábica (1:1), respectivamente. COSTA et al. (2009) obtiveram, caracterizando pós de caju e goiaba obtidos através de secagem em estufa a vácuo, valores de pH de 3,97 e 4,49, respectivamente. OLIVEIRA et al. (2011) encontraram, para o sapoti em pó liofilizado, pH em torno de 5,58.

O teor da acidez total titulável dos experimentos avaliados foi diferente estatisticamente entre si, apresentando valores mais expressivos quando se utilizou uma temperatura mais elevada (Experimento 2 e 4) de 1,87 e 1,89% de ácido cítrico, respectivamente. A polpa de atemoia desidratada apresentou um aumento expressivo nos teores de acidez quando comparados com os da polpa integral, que se apresentou, em média, de 0,37% de ácido cítrico. Este aumento de acidez titulável pode ser devido à redução de água resultante do processo de desidratação, que aumenta a concentração de açúcares, ácidos orgânicos, sais e outros componentes, impossibilitando o desenvolvimento de micro-organismos (OLIVEIRA et al., 2010). Este aumento da acidez titulável foi encontrado também no trabalho de FEITOSA et al. (2011) quando analisaram o pó da polpa de mangaba com leite de cabra, secado pelo processo de secagem em camada de espuma, em que observaram que, com o aumento da temperatura de secagem de 50 a 60 °C, ocorria redução significativa da acidez e ao aumentar a temperatura de 60 a 70 °C, não ocorreu diferença entre as médias. Resultados contrários foram encontrados por KULKARNI & VIJAYANAND (2010) quando avaliaram o pó da casca de maracujá-amarelo desidratado em estufa a 60 °C, por 6 h, cujo material obtido apresentou teores de acidez titulável de 1,63%, valor inferior ao encontrado na casca in natura. FALADE & OKACHA (2012) obtiveram, estudando a secagem em camada de espuma da polpa de banana fresca, valores de acidez total titulável sem diferença estatística entre as temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Observando o teor de cinzas, os experimentos não apresentaram diferenças estatísticas; este comportamento era esperado pois a suspensão utilizada no processo de secagem foi uma só, ou seja, apresentava 2% de Emustab, 2% de Super Liga Neutra e 20

min de batimento diferenciando-se somente nas temperaturas de secagem e espessuras da camada. Comparando com a polpa integral, o teor de cinzas aumentou em razão de que com a retirada da água os minerais ficam concentrados nas amostras. Segundo WANG & ZHENG (2003) o teor de cinzas pode ser considerado uma medida geral de qualidade nos alimentos, de vez que maiores teores de cinzas retratam também maiores teores de cálcio, magnésio, ferro, fósforo, sódio e outros componentes minerais nos frutos. De acordo com UCHOA et al. (2008) altos valores de cinzas estão associados a uma concentração maior dos minerais. CAMARGO et al. (2008), constataram teores de 4,14% para pó de maracujá obtido pelo método de secagem em camada de espuma, valores aproximados aos do estudo em questão. DANTAS (2010) quantificou teores de cinzas de 2,22 e 2,37% para pós de abacaxi e manga, respectivamente.

Analisando os teores de açúcares redutores, totais e não-redutores, observa-se que apresentaram diferenças estatísticas variando entre 57,98 a 69,39%, 66,95 a 86,35% e 4,13 a 19%, respectivamente. Segundo BEZERRA (2009), valores elevados de açúcares redutores são decorrentes da eliminação de parte da água do produto no processo de secagem, conduzindo a uma concentração nesses teores. CAMARGO et al. (2008) obtiveram, trabalhando com polpa de maracujá desidratada pelo método de secagem em camada de espuma, valores médios de açúcares redutores na ordem de 40,09%. BEZERRA et al. (2011) verificaram, trabalhando com manga em pó obtida por secagem em estufa a vácuo na temperatura de 61 °C das variedades Rosa e Tommy Atkins, um aumento importante nos teores de açúcares redutores e totais com a desidratação realizada aumentando esta variação de 4,10 a 4,25% para 29,14 a 36,32% para os açúcares redutores e de 8,55 a 11,28% para 39,42 a 40,47% para os açúcares totais. Este fato, segundo PINA (2003), pode estar relacionado ao tratamento térmico empregado e ao aumento da acidez total titulável. COSTA et al. (2007) quantificaram, para o pó das cascas de abacaxi obtido por secagem em estufa a vácuo na temperatura de 65 °C, teores de açúcares totais de 36,05%, açúcares redutores de 32,94% e açúcares não-redutores de 3,11%. COSTA et al. (2009) apresentaram valores de açúcares totais de 30,60% e 8,69% para pós de caju e goiaba, respectivamente.

A intensidade de amarelo diferiu estatisticamente entre os experimentos variando entre 29,05 a 34,48, demonstrando que as amostras em pó ficaram com tonalidade mais amarela quando comparadas com a polpa integral. O aumento da intensidade de amarelo pode ser explicado, segundo MASKAN (2002) como: o desenvolvimento de alterações na cor durante o processamento térmico de alimentos pode ser resultado de reações não

enzimáticas (Maillard) e destruição dos pigmentos presentes (oxidação). Comportamento semelhante foi encontrado por QUEK et al. (2007) ao estudarem a influência da temperatura do ar de secagem em polpa de melancia nas temperaturas de (145, 155, 165 e 175 °C) e observaram, com o aumento da temperatura, tendência de aumento da intensidade do amarelo. CALISKAN & DIRIM (2013) reportaram, realizando estudos de secagem por aspersão do extrato de sumac (*Rhus coriaria* L.), que a intensidade de amarelo foi significativamente influenciada pela temperatura de secagem (160, 180 e 200 °C), ocorrendo um aumento do parâmetro ao aumentar a temperatura. SAHIN-NADEEM et al. (2013) verificaram, em estudos com o pó de sálvia secado por aspersão, aumento da intensidade de amarelo em função do aumento da temperatura de secagem de 145 para 155 °C, mantendo-se sem alteração significativa entre as temperaturas de 155 e 165 °C.

Os valores médios da atividade de água diferiram estatisticamente entre si em todos os experimentos realizados, resultado já esperado pois o uso de temperaturas mais altas implica em maior taxa de transferência de calor para as partículas, o que leva a uma evaporação maior de água do produto, resultando em pós com teor de água mais baixo e, conseqüentemente, atividade de água também mais baixa. Os valores de atividade de água do pó de atemoia compreenderam uma faixa de 0,135 a 0,204; no entanto, esses valores são considerados seguros quanto às alterações causadas pelo crescimento de microrganismos visto que os mesmos não conseguem se desenvolver nesses valores de atividade de água. Uma atividade de água elevada, valores próximos a 1, implica numa quantidade maior de água livre disponível para as reações químicas e conseqüentemente, vida útil mais curta. A atividade de água é diferente de umidade, de vez que mede a disponibilidade de água livre em um sistema alimentar que é responsável por quaisquer reações bioquímicas enquanto o teor de umidade representa a composição da água em um alimento (QUEK et al., 2007). FERRARI et al. (2012) avaliaram a influência da temperatura do ar de secagem (160 ou 180 °C) e da concentração de maltodextrina (5, 15 ou 25%) sobre as características físico-químicas do suco de amora-preta em pó, produzido em secagem por aspersão e concluíram que apenas a temperatura de secagem influenciou significativamente nos resultados havendo, portanto, uma redução da atividade de água com o aumento da temperatura, ficando em média de 0,280 (160 °C) e 0,260 (180 °C).

As massas específicas dos experimentos realizados não diferiram estatisticamente, fato que pode ser explicado pelo fato de se utilizar uma única suspensão (2% de Emustab, 2% de Super Liga Neutra e 20 min de batimento) para todas as temperaturas de secagem e espessuras da camada, estando as mesmas em média de 682,122 kg/m<sup>3</sup>. OLIVEIRA et al.

(2006) obtiveram, ao estudar amostras em pó elaboradas com polpa de pitanga adicionada de 15% de maltodextrina e 30% de água destilada, valores de densidade absoluta para os pós coletados na câmara de secagem e ciclone de 1.192,3 e 1.380,6 kg/m, respectivamente. CHEGINI & GHOBADIAN (2007) encontraram valores para a densidade absoluta do pó do suco de laranja obtido em secagem por aspersão adicionado de maltodextrina variando de 500 a 210 kg/m, de acordo com as condições de secagem (temperatura do ar - 130-150 °C; e vazão da bomba - 15-30 mL/min).

LANNES & MEDEIROS (2003) sugeriram que se 90% do produto fossem mergulhados no líquido em 5 min, pode ser um bom parâmetro de molhabilidade, logo, o pó de atemoia pode ser considerado com boa molhabilidade; pois 1 g do pó se apresentou totalmente molhado com tempos menores que 5 min, com exceção do pó do Experimento 1, que levou o tempo de 14 min para completar o processo apresentando, desta forma, a menor taxa de molhabilidade dentre os experimentos avaliados. Observa-se que a condição ótima para a taxa de molhabilidade ser maior é utilizar uma espessura maior com temperaturas mais amenas a elevadas, o que caracteriza um pó com partículas maiores. O menor valor encontrado para a molhabilidade foi quando se utilizou menor espessura da camada com menor temperatura de secagem. De acordo com MAIA & GOLGHER (1983) o espaço intersticial apresentado por partículas grandes e de forma irregular favorece a molhabilidade; ao contrário, partículas pequenas e simétricas acarretam redução dos interstícios, prejudicando a penetração de água. É evidente que a granulometria deve ser uniforme ou com o mínimo teor de finos, os quais tendem a preencher os interstícios das partículas maiores prejudicando a molhabilidade. SIERRA et al. (2007) observaram valores entre 1,3 e 3,8 min para polpa de manga em pó obtida pelo método de secagem por aspersão na temperatura de 140 °C com maltodextrina. BEZERRA (2014) avaliou o pó da polpa de marolo liofilizado e pôde verificar que a molhabilidade variou de 14 a 39 segundos. MEDEIROS & LANNES (2010) avaliaram fisicamente o cacau em pó e encontraram que o mesmo se apresentou 100% mergulhado em 1 minuto e 3 segundos.

O tempo de reconstituição das amostras em pó apresentou pequenas diferenças estatísticas, com exceção do Experimento 1, o qual apresentou o maior tempo para se reconstituir totalmente o que vem a confirmar os dados obtidos na molhabilidade. Os Experimentos 7, 6 e 3, apresentaram os menores tempos de reconstituição, respectivamente e, desta forma, pôde-se afirmar que a espessura da camada foi o fator que mais influenciou no processo pois o aumento da espessura da camada geralmente produz partículas maiores e mais porosas com isto, ocorre diminuição no tempo necessário para o pó ser reidratado.

As partículas maiores podem ser depositadas, enquanto as menores geralmente flutuam na água, dificultando a reconstituição do pó; contudo, o pó de atemoia pode ser considerado um produto de fácil reconstituição visto que os tempos variaram de 22,5 a 50 segundos. SOUZA et al. (2007) encontraram um tempo de reconstituição para o mix de frutas desidratado em leito de jorro igual a 5 min e solubilidade em torno de 99,5%. BASTOS et al. (2005) verificaram, para o pó de manga Tommy secado pelo método de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 70 e 85 °C, que o material era de fácil reidratação em água fria (cerca de 1 minuto).

A medida do ângulo de repouso foi utilizada para caracterizar o comportamento do pó de atemoia durante o escoamento. A escoabilidade dos pós está relacionada com o tamanho e com a distribuição das partículas (MARTINS, 2006). Esta propriedade apresenta relações qualitativas e quantitativas do grau de escoabilidade do material particulado com o ângulo de repouso (CARR, 1965). Os valores do ângulo de repouso apresentaram pequenas diferenças estatísticas embora numericamente tal diferença não tenha sido expressiva podendo-se afirmar que a temperatura de secagem e a espessura da camada interferiram na formação do ângulo de repouso dos pós visto que o valor médio dos ângulos de repouso encontrados entre os experimentos foi de 8,94 a 10,20°, Experimentos 2 e 1, respectivamente sendo, assim, amostras que apresentaram menor teor de água e maiores tamanhos das partículas, respectivamente. Várias características dos materiais podem influenciar a escoabilidade, como o tamanho das partículas, a forma, o teor de água e orientação das partículas, que podem exercer influência no ângulo de repouso. A fluidez de um material e o ângulo de repouso pode estar correlacionados à fricção do sólido granular sobre si mesmo referindo-se à designada escoabilidade estática, nos casos em que o volume do material está em movimento, encontra-se envolvido no ângulo de repouso dinâmico (DANTAS et al., 2009). O ângulo de repouso relativamente baixo encontrado no presente trabalho diz respeito à quantidade de amostra utilizada para determinar o parâmetro que foi de apenas 10 g quando comparado com outras metodologias que utilizam na ordem de 40 g de amostra; assim, pode-se dizer que o pó de atemoia é um produto de bom escoamento. Segundo ASTOLFI-FILHO et al. (2005) os pós que exibem ângulos de repouso menores que 45° geralmente apresentam a propriedade de escoamento livre enquanto ângulos acima de 50° indicam coesividade ou problemas de escoamento. MOREIRA (2007) verificou, para resíduo de acerola, valores médios de ângulo de repouso que variaram entre 40,19° e 52,27°, resultados coerentes com os encontrados nesta pesquisa. SOUZA (2009) obteve, estudando a secagem de mistura de

polpas de frutas tropicais em leito de jorro nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ângulos de repouso entre 19,6 e 25,5°.

Os valores médios do rendimento da atemoia em pó obtida pelo processo de secagem em camada de espuma, dos diferentes experimentos do planejamento experimental fatorial, não apresentaram diferenças estatísticas entre os experimentos ficando em média 25,77%, indicando, portanto, que tanto a espessura da camada, quanto à temperatura de secagem, não exerceu influência no processo. Este rendimento era previsto, sendo compatível com o teor de sólidos totais presentes na suspensão selecionada como a melhor para a secagem (Experimento 2). VIANA JUNIOR (2010) constatou, para a banana em pó produzida por secagem convencional nas temperaturas de 55 e 80 °C, rendimentos médios de 15,10 e 14,60%, respectivamente.

#### **4.4.1.1 – Distribuição granulométrica**

Na Tabela 4.12 se encontram os valores médios da distribuição granulométrica da polpa de atemoia em pó obtida a partir de diferentes temperaturas do ar de secagem e espessuras da camada de espuma. Segundo SILVA et al. (2009) o tamanho das partículas do alimento após a moagem se constitui em aspecto importante no preparo de alimentos tendo em vista que uma uniformidade maior da granulometria permite a elaboração de um produto final de melhor qualidade sensorial, principalmente textura, sabor e aspecto visual, em razão de que o alimento absorve água de forma homogênea. Observa-se que todos os pós analisados se apresentam com partículas maiores pois as peneiras utilizadas para tal determinação variaram de 24 a 80 Tyler, ou seja, as partículas apresentam tamanhos entre 0,180 e 0,710 mm e apresentaram diferenças estatísticas com relação à retenção da amostra tanto entre os experimentos quanto entre as peneiras.

Nas amostras dos Experimentos 1, 2, 4, 6 e 7 o pó ficou mais retido na peneira de Tyler 42, sinal de que a distribuição apresenta grande quantidade de material com tamanho das partículas em torno de 0,355 mm; por outro lado, as partículas apresentaram distribuição bastante disforme com pouca deposição de material nas peneiras de menor diâmetro, para esses mesmos experimentos.

**Tabela 4.12** - Valores médios da análise granulométrica da polpa de atemoia em pó obtida a partir de diferentes temperaturas do ar de secagem e espessura da camada de espuma

Peneira (Tyler)	Amostra retida (%)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	19,15 bE	16,72 cH	21,81 aA	20,33 cC	11,53 dI	20,53 bB	18,76 bF	19,33 bD	18,37 cG	18,37 cG	18,37 cG
32	16,53 cF	15,79 dG	18,56 bD	21,53 bB	11,60 dI	17,11 cE	13,91 dH	25,39 aA	21,13 aC	21,14 aC	21,12 aC
42	23,37 aA	21,91 aE	16,87 cI	22,26 aC	21,61 bF	22,16 aD	23,08 aB	18,38 cH	20,87 bG	20,82 bG	20,89 bG
48	14,23 cE	13,12 eF	16,69 dB	12,94 dG	6,56 fI	12,47 eH	17,99 cA	14,72 dD	16,23 dC	16,25 dC	16,25 dC
60	11,19 eE	19,02 bA	14,57 eC	10,34 eF	18,26 cB	6,50 fI	13,32 eD	8,93 fH	9,54 eG	9,56 eG	9,51 eG
80	10,36 fC	7,20 fG	7,01 fH	7,84 fF	23,40 aA	15,61 dB	7,89 fF	9,95 eD	8,54 fE	8,56 fE	8,51 fE
Resíduo	5,17 gE	6,25 gB	4,49 gH	4,75 gG	7,04 eA	5,62 gC	5,05 gF	3,29 gI	5,32 gD	5,30 gD	5,35 gD

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

A diferença na granulometria dos experimentos pode ser explicada pelo fato de ter se utilizado diferentes espessuras da camada e temperatura do ar de secagem pois quando se utilizam temperaturas mais elevadas com menores espessuras, o processo de secagem se torna mais rápido e o pó se desprende mais facilmente da bandeja, apresentando-se, após a trituração, um pó mais fino, como pode ser comprovado nos Experimentos 2 e 5, nos quais um percentual maior de pó ficou retido na peneira de Tyler 60 além de, no Experimento 5, apresentar um percentual de 23,40% de amostra retida na peneira de Tyler 80 demonstrando que as partículas têm tamanho de 0,180 mm. Contudo, os Experimentos 2 e 5 foram os que apresentaram maiores percentuais de resíduos. Quando se utilizam menores temperaturas com espessuras mais altas o processo de secagem se torna mais demorado, o que torna o material borrachudo apresentando, mesmo após a trituração, aspecto com partículas grandes, se observa nos valores da distribuição granulométrica dos Experimentos 3 e 6; ressalta-se que em todas as peneiras utilizadas permaneceu retido grande percentual do material. Na peneira de Tyler 24 ficaram retidos cerca de 21,81 e 20,53% do material indicando que essas amostras apresentam partículas maiores que 0,710 mm.

Nos Experimentos 7 e 8 foram utilizadas espessuras da camada de espuma mediana (1,0 cm) com temperaturas de 55,85 e 84,15 °C, respectivamente, verificando-se grande percentual das amostras retidas nas peneiras de maior abertura apresentando cerca de 23,08% do material na peneira de Tyler 42, indicando que as partículas apresentam tamanhos maiores que 0,355 mm no Experimento 7 e no Experimento 8, 25,39% do pó permaneceram na peneira de Tyler 32, ou seja, as partículas são maiores que 0,500 mm, o que vem a confirmar que a espessura da camada de espuma influencia no tamanho das partículas após o processo de secagem.

MEDEIROS & LANNES (2010) determinaram, estudando as propriedades físicas de substitutos do cacau, tais como: Aroma de Chocolate (AS); Aroma Idêntico ao Natural de Cacau *Cocoa Extender* (CE); Composto de Cacau (Fibracau Natural e Fibracau Preta) (FN e FP); Cupuaçu em pó (CP) e Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D e Carovit ED) (CD e CED), que todas as amostras de CP foram as que apresentaram partículas de maior tamanho e a CED as de menor tamanho. Quase 80% das partículas da amostra CE foram retidos em uma das peneiras, comprovando sua homogeneidade. Entre as farinhas de alfarroba (CD e CED), a amostra CED apresentou tamanho de partícula menor que a CD, tal como as amostras de composto de cacau, FP possui partículas menores que FN. SOUZA (2011) verificou, analisando o efeito da liofilização e a desidratação em leite de

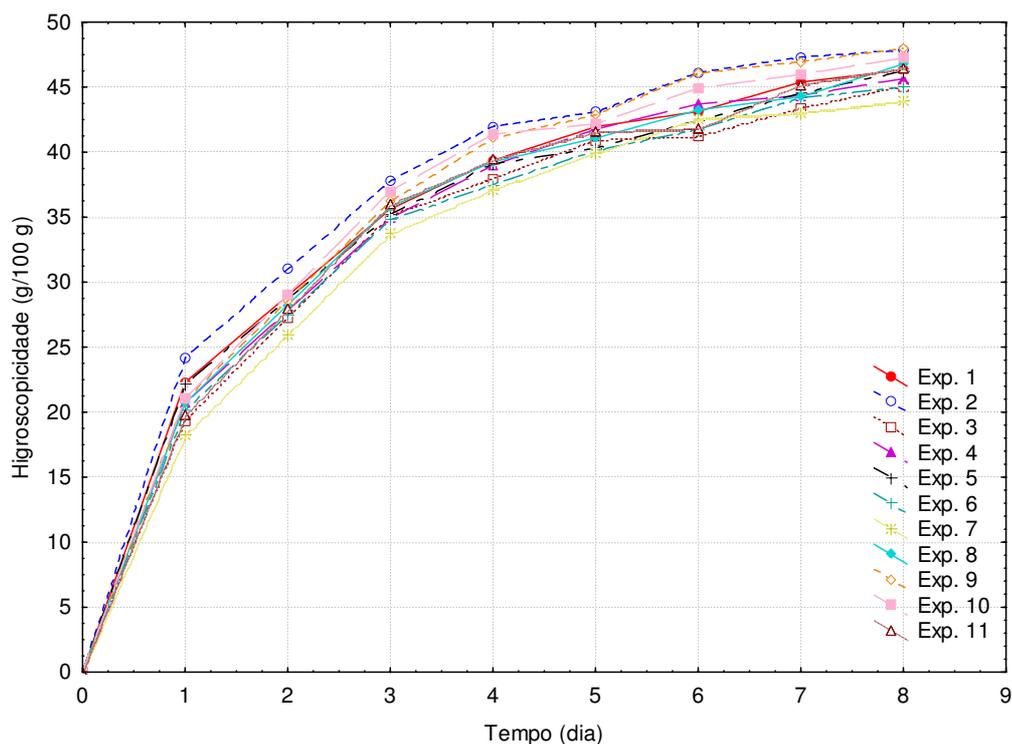
espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu, que para o pó obtido por liofilização a média do diâmetro equivalente às partículas, foi de 37,117  $\mu\text{m}$ , sendo que 25% das partículas apresentaram diâmetro equivalente de até 19,751  $\mu\text{m}$ , 50% de até 37,110  $\mu\text{m}$  e 75% de até 70,026  $\mu\text{m}$ . O pó obtido por desidratação em leite de espuma apresentou partículas com diâmetro equivalente médio um pouco menor (35,063  $\mu\text{m}$ ), sendo 25% com diâmetro de até 17,769  $\mu\text{m}$ , 50% com até 35,065  $\mu\text{m}$  e 75% com até 69,179  $\mu\text{m}$ . Os resultados foram semelhantes para os pós estudados demonstrando que não há diferença entre o tamanho das partículas dos pós de polpa de cupuaçu obtidos por liofilização e por desidratação em leite de espuma.

TONON et al. (2008) e NIJDAM & LANGRISH (2006) também verificaram, trabalhando com açaí e leite em pó, respectivamente, produzidos por secagem por aspersão, a formação de partículas maiores com o aumento da temperatura do processo. Segundo os autores, ao se utilizar maiores temperaturas no processo de secagem por atomização, o tempo de secagem é menor, promovendo a formação mais rápida de uma estrutura, o que evita o encolhimento das partículas durante a secagem.

#### **4.4.1.2 – Higroscopicidade**

Na Figura 4.19 se encontram as curvas do comportamento higroscópico dos pós de atemoia obtidas por diferentes espessuras da camada e temperaturas de secagem, em função do tempo na temperatura de 25 °C e umidade relativa controlada de 83%.

Observa-se que todas as amostras analisadas se mostraram altamente higroscópicas visto que apresentaram altos níveis de ganho de água ao longo de nove dias de observação alcançando de 43,95 a 47,97 g/100 g de água adsorvida.



**Figura 4.19** – Comportamento higroscópico das amostras em pó ao longo do tempo sob temperatura de 25 °C e umidade relativa controlada 83%

O provável que as diferenças encontradas nos valores de higroscopicidade das amostras tenham sido influenciadas pela espessura da camada de espuma e/ou temperatura de secagem, dado que para a obtenção das amostras a incorporação de aditivos como o Emustab e a Super Liga Neutra, foram na mesma proporção em todos os experimentos. Valores de higroscopicidade significativamente maiores ( $p \leq 0,05$ ) foram observados nas amostras dos Experimentos 2, 8 e do ponto central (9, 10 e 11), casos em que foram os experimentos que utilizaram temperaturas mais elevadas com espessuras menores produzindo, assim, amostras mais secas e, conseqüentemente, mais higroscópicas. Segundo TONON et al. (2009) temperaturas de secagem mais altas resultam em pós com umidades mais baixas e maior facilidade em adsorver água, quer dizer, mais higroscópicos, o que está relacionado ao maior gradiente de concentração de água existente entre o produto e o ambiente. O conteúdo de água é um dos fatores que mais afetam a estabilidade do pó uma vez que pequena quantidade de água é suficiente para depreciar a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e, por conseguinte, aumentar a mobilidade da matriz durante a estocagem (BHANDARI & HARTEL, 2005).

Os valores mais baixos de higroscopicidade foram encontrados nos Experimentos 7, 6 e 3, onde foram utilizadas temperaturas mais baixas com espessuras da camada alta, o

que proporcionou a produção de pós com teor de água mais elevado, o que os tornam menos higroscópicos. Esses resultados estão de acordo com o teor de água determinado para cada experimento, confirmando o comportamento higroscópico das amostras de atemoia em pó.

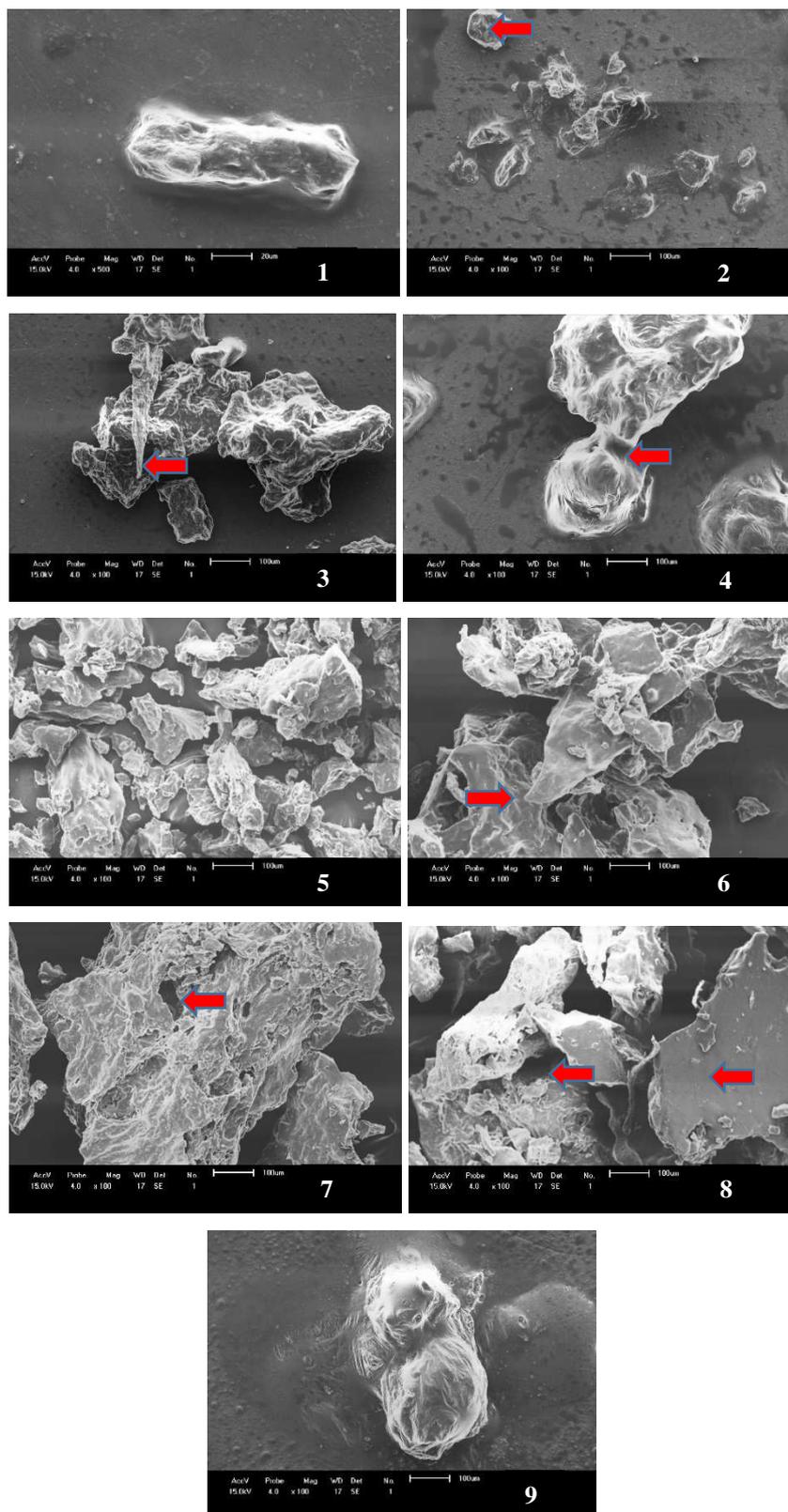
Segundo a classificação da GEA NIRO RESEARCH LABORATORY (2014) para a higroscopicidade do soro em pó, que pode ser aplicada para outros produtos desidratados, o pó de atemoia pode ser considerado extremamente higroscópico por apresentar mais que 25% de higroscopicidade.

RODRIGUEZ-HERNANDEZ et al. (2005) obtiveram, em um estudo com secagem por aspersão de figo-da-índia utilizando concentrações de maltodextrina de 18-23% e temperatura de secagem de 205-225 °C, pós mais higroscópicos quando utilizaram maiores temperaturas de secagem; tais ocorrências também foram verificadas no presente trabalho. FERRARI et al. (2012) também encontraram, ao analisar o comportamento higroscópico da amora-preta em pó obtida pelo método de secagem por aspersão nas temperaturas de 160 e 180 °C, pós mais higroscópicos quando utilizaram temperaturas mais elevadas e os valores foram da ordem de 28,73 e 29,51 g/100 g de água adsorvida. OLIVEIRA (2012) observou, ao analisar a polpa de cajá em pó obtida pelo método de liofilização, que ao longo do tempo de 120 dias a higroscopicidade da amostra aumentou 22,20%; mesmo assim, o produto permaneceu classificado como ligeiramente higroscópico.

#### **4.4.1.3 - Microscopia eletrônica de varredura**

As técnicas de microscopia eletrônica de varredura têm-se mostrado eficientes no conhecimento da microestrutura de alimentos e suas alterações (PEREIRA, 2006). De acordo com WILKINSON et al. (2000), o estudo da microestrutura pode ser usado para ampliar o conhecimento das mudanças estruturais que ocorrem durante o processamento dos alimentos e a função dos diferentes ingredientes nessas alterações. A análise estrutural foi realizada por meio do estudo das imagens geradas pelo microscópio eletrônico de varredura do pó de atemoia desidratado em cinco diferentes temperaturas (55,85; 60; 70; 80 e 84,15 °C) e diferentes espessuras da camada de espuma (0,3; 0,5; 1,0; 1,5 e 1,71 cm).

Na Figura 4.20 observam-se as partículas do pó de atemoia dos experimentos provenientes do planejamento experimental fatorial composto central  $2^2 + 3$  pontos centrais e 4 pontos axiais.



**Figura 4.20** - Fotomicrografias do pó de atemoia dos Experimentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9, provenientes do planejamento experimental, obtidas por microscopia eletrônica com aumento de 100x

Nota-se que não existem uniformidade na forma e tamanho das partículas; uma hipótese para este comportamento pode ser atribuída ao tipo de secagem pois a camada de espuma, quando submetida a secagem, forma uma placa plana, na qual a água vai evaporando, tornando esta placa mais rígida; para se realizar a retirada deste material da bandeja é necessário fazer uma raspagem da placa com espátula e posterior trituração do produto em processador para obtenção do pó favorecendo numerosas imperfeições nas superfícies das partículas. SANTANA & GASPARETTO (2009) revelaram, em estudo da secagem por liofilização e por método convencional de fibra alimentar do albedo da laranja, irregularidades das estruturas físicas do material orgânico. Segundo os autores, o comportamento observado foi coerente com o método utilizado, ou seja, a secagem convencional, através da qual este método revela um encolhimento maior, quando comparado com outros métodos de secagem. FEITOSA (2014) desidratou polpa de murta por secagem em camada de espuma utilizando 1,5% de Emustab com 0,5% de Super Liga Neutra, na temperatura de 50 °C e observou, na amostra em pó, uma estrutura porosa e irregular em forma e tamanho, em razão do pó ter sido obtido através da raspagem e logo após sofrer trituração.

Na imagem do Experimento 2 (temperatura de 80 °C e espessura de 0,5 cm), observa-se uma partícula arredondada e oca, que é um caso comum nas amostras oriundas da secagem em camada de espuma em virtude dos espaços intersticiais que ficam na espuma pela presença de ar na mesma, fazendo com que o material desidrate com espaços vazios no interior das partículas. Este mesmo aspecto pode ser visualizado na imagem do Experimento 4 (temperatura de 80 °C e espessura de 1,5 cm), com o que é possível observar que as amostras apresentaram cavidades em sua estrutura oriundas, provavelmente, dos espaços deixados pelas bolhas de ar, o que contribui para a porosidade da polpa de atemoia em pó. Deste modo é possível afirmar que as concentrações de emulsificantes utilizadas garantiram a estabilidade das espumas durante o processo de secagem em camada de espuma favorecendo a formação de uma estrutura porosa que contribui para a solubilização deste produto. CRUZ (2013) também verificou, estudando a microscopia do pó de goiaba obtido pelo método de secagem em camada de espuma em diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C) e concentrações de emulsificante (2,5 e 5 %), falta de uniformidade entre as partículas e cavidades nas partículas, tornando-as porosas.

Na imagem do Experimento 3 (temperatura de 60 °C e espessura de 1,5 cm), a amostra se apresentou visivelmente mais danificada pelo processo de desidratação; a mesma apresentava partículas maiores, mesmo após a trituração. O fato de se utilizar

temperatura menor com maior espessura, fez com que o tempo de secagem deste material fosse maior; logo, o material ao ser raspado da bandeja apresentava aspecto borrachudo que, mesmo com a trituração, não conseguiu formar um pó fino, fato comprovado nas imagens que mostram partículas bem maiores do que as secadas em temperaturas inferiores. A imagem do Experimento 3 e 6 evidencia o fato de que o material foi submetido a uma raspagem pois as partículas se mostram pontiagudas. NIJDAM & LANGRISH (2006) afirmaram que quando a temperatura de secagem é baixa, a superfície das partículas permanece úmida e flexível durante mais tempo de modo que a partícula pode esvaziar, ficar oca ou enrugar à medida que arrefece. SILVA FILHO (2012) observou, analisando o pó de manga Haden proveniente da secagem em camada de espuma utilizando temperatura de 50 °C e espessura de 1,5 cm, que não houve uniformidade na forma nem no tamanho das partículas e atribuiu este fato à raspagem que é feita para a retirada do material da bandeja com posterior trituração em processador.

Na imagem do Experimento 8 (temperatura de 70 °C e espessura de 1,71 cm) as amostras apresentaram grau de integridade com uma distribuição compactada das partículas, além da formação de aglomerados e superfícies rugosas (pequenas depressões). Resultados semelhantes foram encontrados por BEZERRA (2014) ao analisar a microscopia do pó puro da polpa de marolo obtido por liofilização, quando observou que as fotomicrografias mostraram forte aderência entre as amostras caracterizando o fenômeno de caking.

#### **4.4.1.4 – Seleção da melhor condição de secagem**

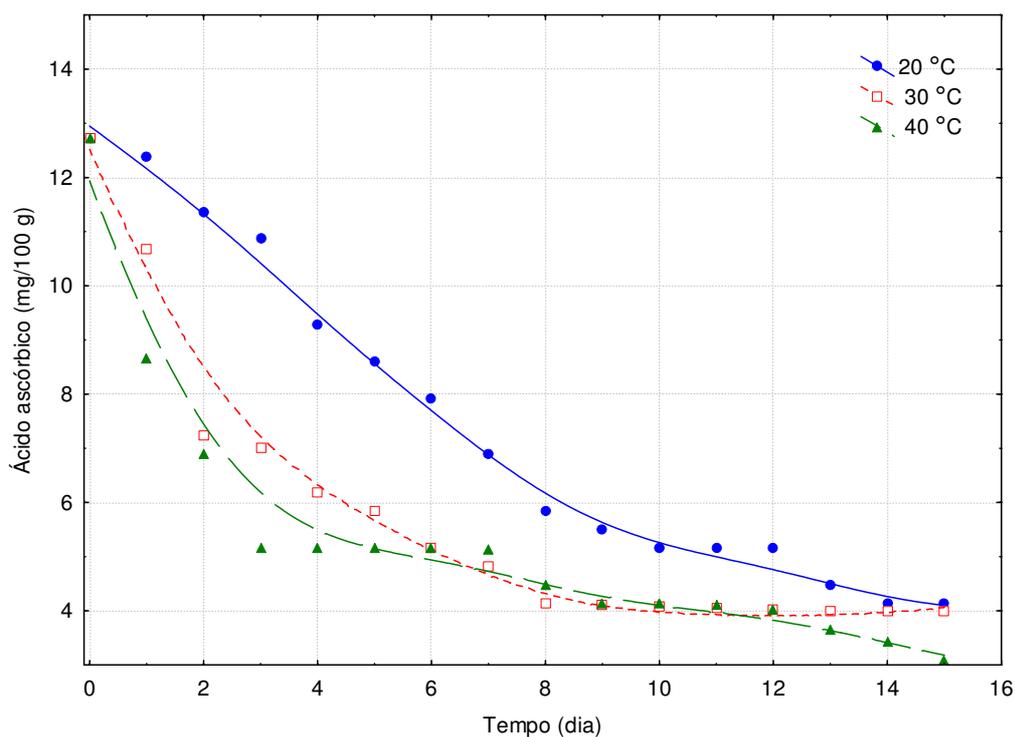
Com base no planejamento experimental fatorial empregado e dos resultados analisados sobre a atemoia em pó obtida pelo processo de secagem em camada de espuma, selecionou-se o pó do Experimento 2 (temperatura de secagem de 80 °C e espessura da camada de espuma 0,5 cm) como sendo aquele com melhor característica para ser submetido ao armazenamento, tais como: menor teor de água, maior teor de sólidos totais, acidez total titulável, ácido ascórbico e açúcares redutores. O rendimento e a atividade de água não diferiram entre os experimentos; portanto, o Experimento 2 pode ser selecionado como melhor condição de secagem nesses parâmetros visto que a atividade de água se apresentou muito baixa, em média de 0,188, proporcionando maior tempo de vida útil do produto.

#### 4.5 – Cinética de degradação do ácido ascórbico da amostra em pó

O estudo da cinética de degradação do ácido ascórbico da atemoia em pó foi realizado para a amostra selecionada no item anterior, que foi a amostra do Experimento 2, a qual foi produzida com uma concentração de Emustab de 2%, concentração de Super Liga Neutra de 2% e tempo de batimento de 20 min e desidratada a uma temperatura do ar de secagem de 80 °C com uma espessura da camada de espuma de 0,5 cm.

Esta amostra de atemoia em pó selecionada foi submetida a diferentes condições de temperatura (20, 30 e 40 °C) e umidade relativa controlada (83%) avaliando-se a degradação do ácido ascórbico durante 15 dias. A quantidade de ácido ascórbico da atemoia em pó no início da degradação, foi de aproximadamente 12,74 mg/100 g.

Na Figura 4.21 tem-se a variação da concentração de ácido ascórbico em função do tempo da amostra de atemoia em pó, em diferentes temperaturas.



**Figura 4.21** – Cinética de degradação do ácido ascórbico da atemoia em pó em diferentes temperaturas

Observa-se que, com o aumento da temperatura, ocorreu perda mais acentuada de ácido ascórbico; comportamento semelhante foi relato por GABAS et al. (2003) estudando

a cinética de degradação do ácido ascórbico nas temperaturas de 40 a 80 °C, em ameixas liofilizadas.

Verifica-se que a maior degradação ocorreu na temperatura de 40 °C; após 15 dias de avaliação da amostra nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, o teor de ácido ascórbico foi 4,13, 3,99 e 3,10 mg/100 g, respectivamente. Diante destes valores deve-se escolher uma embalagem que, quando estocados nessas condições avaliadas minimize as perdas deste nutriente. GOULA & ADAMOPOULOS (2005) observaram a influência do teor de água na taxa de degradação do ácido ascórbico verificando um aumento da taxa de degradação na faixa entre 65-95% de teor de água (base úmida). EL-BELTAGY et al. (2007) verificaram que em morangos secados inteiros houve maior retenção da vitamina C do que quando secados cortados.

Na Tabela 4.13 se encontram os parâmetros dos modelos cinéticos de ordem zero e de primeira ordem utilizados para avaliar a degradação do ácido ascórbico, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, para a atemoia em pó. Constata-se, dentre os modelos avaliados que os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram obtidos para o modelo cinético de ordem zero ( $R^2 > 0,70$ ) nas temperaturas de 20 e 30 °C e de primeira ordem na temperatura de 40 °C; comportamento semelhante foi verificado por OZKAN et al. (2004) ao avaliarem a cinética de degradação do ácido ascórbico em suco de laranja e néctar de cereja durante o armazenamento, observando que o modelo cinético de ordem zero se ajustou melhor que o de primeira ordem.

**Tabela 4.13** – Parâmetros cinéticos da degradação do ácido ascórbico em três diferentes temperaturas da atemoia em pó

Temperatura (°C)	AA* (mg/100 g)	Ordem zero		Primeira ordem		$\Theta_{(1/2)}$ ** (dia)
		k (dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	k (dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	
20	12,74	0,0814	0,9861	-0,614	0,9340	8,51
30	12,74	0,1030	0,7368	-0,453	0,6870	6,73
40	12,74	0,1098	0,6101	-0,403	0,6380	6,31

\*concentração inicial do ácido ascórbico;

\*\*tempo de meia vida, calculado com o valor de k da reação de ordem zero

O tempo de meia vida  $\Theta_{(1/2)}$  foi calculado a partir da constante da velocidade da reação (k) de ordem zero. Através dos resultados observa-se, com o aumento da temperatura, uma redução do tempo de meia vida, ou seja, o ácido ascórbico presente na

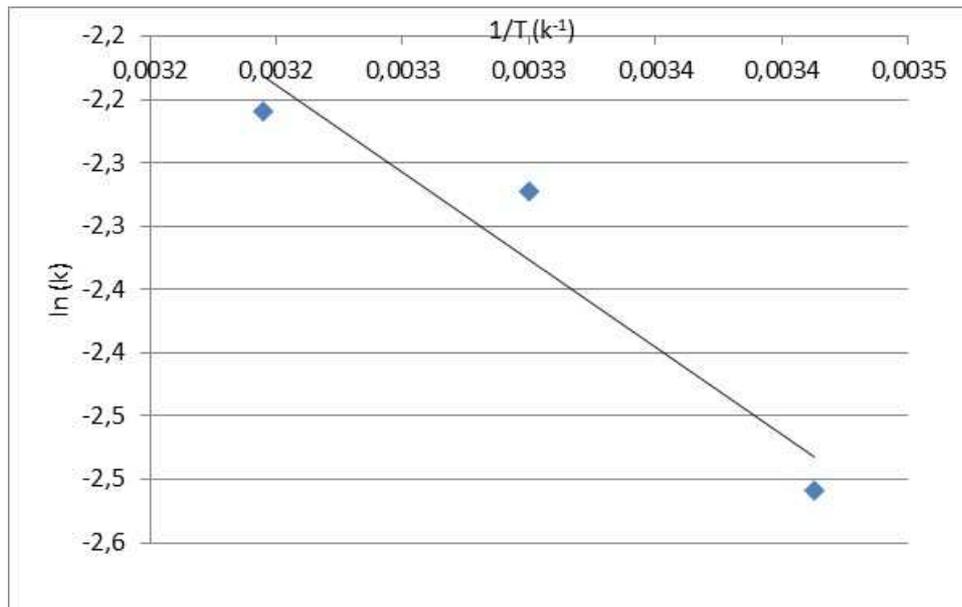
amostra estudada se degrada mais rapidamente com o aumento da temperatura de armazenamento.

Na Tabela 4.14 se encontram os parâmetros da equação de Arrhenius e os coeficientes de reação ( $Q_{10}$ ) para a degradação de ácido ascórbico da atemoia em pó. Verifica-se, nesta tabela, que o valor de  $Q_{10}$  foi de 1,27 e 1,07, para a variação de 20-30 °C e 30-40 °C, respectivamente. O valor de  $Q_{10}$  é maior quando ocorre a menor perda de ácido ascórbico confirmando o aumento na degradação para uma temperatura 10 °C maior; assim, a maior perda de ácido ascórbico se deu na faixa de temperatura 30-40 °C, resultado esperado, uma vez que o ácido ascórbico é termossensível.

**Tabela 4.14** -Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficientes de reação ( $Q_{10}$ ) para a degradação do ácido ascórbico da atemoia em pó

Intervalo (°C)	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de temperatura ( $Q_{10}$ )	
	ln A	$E_A$ (kJ/mol)	$R^2$	(20-30 °C)	(30-40 °C)
<b>20-40</b>	2,22	11,47	0,912	1,27	1,07

Na Figura 4.22 se encontra a representação gráfica da constante da velocidade da reação do modelo cinético de ordem zero, em função da temperatura da cinética de degradação do ácido ascórbico da atemoia em pó. Da inclinação da reta ( $E_a/R$ ) obteve-se a energia de ativação de 11,47 kJ/mol para a amostra de atemoia em pó. TORALLES et al. (2008) encontraram, ao estudar a degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego, na faixa de temperatura de 70 a 90 °C, uma energia de ativação ( $E_A$ ) média na ordem de 45 kJ/mol.



**Figura 4.22** - Representação gráfica de Arrhenius da constante cinética de ordem zero para degradação do ácido ascórbico na atemoia em pó

#### 4.6 – Armazenamento acelerado da atemoia em pó

O estudo do armazenamento acelerado foi realizado para a amostra selecionada no item 4.5.2.4. A amostra que foi acondicionada em embalagens flexíveis laminadas e armazenadas durante 60 dias, sob atmosfera controlada em estufas BOD, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidades relativa média de 55 e 83% proporcionada por soluções saturadas de NaBr e KCl, respectivamente.

##### 4.6.1 – Teor de água

Das análises de variância dos teores de água do pó de atemoia, em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%), verificou-se que os fatores avaliados e sua interação foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, exceto para a interação temperatura x tempo na UR = 83% que não foi significativa.

Na Tabela 4.15 são apresentados os valores médios do teor de água (%) do pó de atemoia com concentração de 2% de Emustab, 2% de Super Liga Neutra e 20 min de batimento e desidratado a uma temperatura de 80 °C e espessura da camada de espuma de

0,5 cm, armazenado durante 60 dias nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, e umidade relativa média de 83%.

**Tabela 4.15** - Valores médios do teor de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Teor de água (% b.u.)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	8,32 cA	8,32 cA	8,32 eA
10	8,55 cA	9,03 cA	9,32 deA
20	9,05 cA	9,58 cA	10,03 deA
30	9,10 cA	10,65 cA	11,01 dA
40	11,98 bB	15,06 bA	16,02 cA
50	17,64 aA	18,20 aA	19,46 bA
60	19,80 aB	20,31 aAB	22,15 aA

DMS para colunas = 1,94; DMS para linhas = 2,44; MG = 12,95; CV = 13,42%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observa-se, nas três temperaturas avaliadas, que o teor de água aumentou significativamente ao longo do armazenamento, aumento este mais evidente na temperatura de 40 °C, passando de 8,32 para 19,80% na temperatura de 20 °C, de 8,32 para 20,31% na temperatura de 30 °C e de 8,32 para 22,15 na temperatura de 40 °C. O aumento observado pode ter sido decorrente da embalagem utilizada, a qual pode não ter oferecido barreira eficiente com relação à permeabilidade ao oxigênio e a vapor d'água, favorecida provavelmente por prováveis oscilações da temperatura e umidade do local de armazenamento. De acordo com ENDO et al. (2007) conforme o tempo e as condições de umidade relativa e a temperatura do ambiente, ocorre a absorção de água para o produto sendo esta acentuada em temperaturas mais elevadas, pelo fato da permeabilidade das embalagens aumentar com a temperatura.

Observa-se, nas três temperaturas estudadas, que os tempos de 40, 50 e 60 foram os que apresentaram maiores picos de absorção de água. Resultado divergente foi observado por CARNEIRO (2011) que observou que não houve variação do teor de água no estudo da estabilidade do pó de açaí orgânico, acondicionado em embalagem laminada ao longo dos 270 dias de armazenamento, apresentando valor médio de 5,17%. Similarmente,

MENEZES et al. (2009) também constataram, estudando a estabilidade de pós de acerola obtidos por secagem em estufa e por liofilização armazenados em embalagens de polietileno de baixa densidade e em condições ambientais, pelo período de 180 dias, variações no teor de umidade apresentando aumento significativo desta variável ao final do tempo de armazenamento.

Analisando cada tempo de armazenamento, nota-se que na maioria dos tempos não houve diferença significativa nos teores de água entre as temperaturas, exceto aos 40 dias, em que a temperatura de 20 °C diferiu da temperatura de 30 e 40 °C e aos 60 dias em que houve diferença entre 20 e 40 °C.

Na Tabela 4.16 se encontram as equações de regressão propostas para a estimativa do teor de água em função do tempo de armazenamento, para o pó de atemoia, acondicionado em embalagem laminada e armazenado em ambientes com umidade relativa média de 83% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Constatou-se que todas as equações polinomiais linear, quadrática e de quarto grau, foram significativas a 1% de probabilidade para as amostras armazenadas a 20 °C; para as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C, a equação linear e a quadrática foram significativas a 1% de probabilidade e para as amostras armazenadas a 40 °C as equações linear, quadrática e de quarto grau, foram significativas a 1% de probabilidade e a cúbica a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.16** – Equações de regressão propostas para o teor de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$X = 6,1117 + 1,9837 t^{**}$	0,815
	$X = 8,5556 - 0,9488 t + 0,4887 t^2^{**}$	0,964
	$X = 8,1897 + 3,2293 t - 3,3093 t^2 + 1,0471 t^3 - 0,0885 t^4^{**}$	0,990
30	$X = 6,6162 + 2,1351 t^{**}$	0,914
	$X = 8,2001 + 0,2345 t + 0,3167 t^2^{**}$	0,975
40	$X = 6,4952 + 2,4209 t^{**}$	0,917
	$X = 8,2895 + 0,2676 t + 0,3588 t^2^{**}$	0,977
	$X = 8,6746 - 1,0157 t + 0,9364 t^2 - 0,0641 t^3^{*}$	0,982
	$X = 8,3239 + 2,4325 t - 2,0930 t^2 + 0,7540 t^3 - 0,0681 t^4^{**}$	0,994

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Avaliando a temperatura de armazenamento de 20 °C, tem-se que as equações linear, quadrática e polinomial de 4º grau foram significativas a 5% de probabilidade e com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,80, todas estimando satisfatoriamente os dados experimentais, ante o que se sugere dar preferência à utilização da equação quadrática na estimativa do teor de água do pó de atemoia armazenado a 20 °C, visto que possui menor número de parâmetros e resultou em um  $R^2$  acima de 0,90.

Para as amostras armazenadas a 30 e 40 °C observa-se que as equações de regressão linear e quadrática foram significativas para a temperatura de 30 °C, enquanto na temperatura de armazenamento de 40 °C as equações linear, quadrática, cúbica e polinomial de 4º grau, foram significativas, com todas apresentando  $R^2$  satisfatório, acima de 0,90. Recomenda-se, então, a utilização da equação linear na estimativa do teor de água do pó de atemoia armazenado a 30 e 40 °C. Resultados semelhantes obtiveram PILON et al. (2006) ao utilizar equações de regressão lineares para avaliar o comportamento da umidade de pimentões minimamente processados durante o armazenamento, obtendo  $R^2 = 0,87$ . De maneira geral e se analisando essas equações verifica-se, quando as amostras são colocadas na temperatura de 40 °C, tendência de que a esta temperatura o aumento do teor de água com o tempo de armazenamento seja maior que na temperatura de 25 °C.

Na Tabela 4.17 se encontram os valores médios do teor de água do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 55% pelo tempo de 60 dias. Constata-se que, igualmente às amostras armazenadas na umidade relativa de 83%, o teor de água aumentou consideravelmente nas três temperaturas estudadas ao longo de todo o armazenamento. Analisando cada temperatura ao longo do armazenamento, tem-se que em todas as temperaturas as amostras permaneceram estáveis até 30 dias; a partir deste tempo houve aumento do teor de água. SOUZA (2011) encontrou, estudando o efeito da liofilização e a desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu, que ocorreu um aumento do teor de água dos pós durante 40 dias de armazenamento indicando, assim, que a embalagem de polipropileno utilizada não foi eficiente para proteger os pós da umidade ambiente sendo inadequada para longos períodos de armazenamento. MOURA (2010), semelhante ao observado nesta pesquisa, verificou tendência de acréscimo do teor de água durante o armazenamento de acerola em pó orgânica.

Com relação à comparação entre as temperaturas, percebe-se que as mesmas não diferiram estatisticamente até o tempo de 30 dias; a partir do tempo de 40 dias a

temperatura de 20 °C passou a apresentar menores valores de teor de água em suas amostras.

**Tabela 4.17** - Valores médios do teor de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Teor de água (% b.u.)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	8,32 cA	8,32 cA	8,32 cA
10	8,42 cA	8,79 cA	9,02 cA
20	8,88 cA	9,04 cA	9,47 cA
30	8,99 cA	9,43 cA	9,91 cA
40	11,29 bB	14,17 bA	15,70 bA
50	17,28 aB	18,37 aAB	18,91 aA
60	18,92 aB	19,68 aAB	20,76 aA

DMS para colunas = 1,55; DMS para linhas = 1,96; MG = 12,48; CV = 11,18%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Comparando as amostras armazenadas nas duas umidades relativas, observa-se que as amostras dos pós que se encontravam na UR = 83%, nas três temperaturas, absorveram mais água ao longo do armazenamento do que as amostras armazenadas na UR = 55%. Este resultado era esperado visto que na UR = 83% a absorção de água pelas amostras se torna mais expressiva e, juntamente com a utilização de temperaturas mais elevadas, faz com que tal absorção seja maior após 30 dias de armazenamento; desta forma, nota-se claramente que tanto a temperatura quanto a umidade relativa influenciaram no teor de água final do produto.

Na Tabela 4.18 se encontram as equações de regressão propostas para a estimativa do teor de água em função do tempo de armazenamento para o pó de atemoia, acondicionada em embalagem laminada e armazenada em ambientes com umidade relativa média de 55% e temperaturas de 20, 30 e 40 °C.

**Tabela 4.18** – Equações de regressão propostas para o teor de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$X = 6,1644 + 1,8558 t^{**}$	0,797
	$X = 8,5271 - 0,9793 t + 0,4725 t^2^{**}$	0,952
	$X = 8,1689 + 3,2645 t - 3,4145 t^2 + 1,0763 t^3 - 0,0912 t^4^{**}$	0,983
	$X = 8,3207 - 2,8423 t + 5,3511 t^2 - 3,0851 t^3 + 0,7056 t^4 - 0,0531 t^5^{**}$	0,999
30	$X = 6,2890 + 2,0850 t^{**}$	0,860
	$X = 8,2285 - 0,2424 t + 0,3879 t^2^{**}$	0,950
	$X = 8,7869 - 2,1038 t + 1,2255 t^2 - 0,0930 t^3^{**}$	0,963
	$X = 8,2746 + 2,9341 t - 3,2004 t^2 + 1,1023 t^3 - 0,0996 t^4^{**}$	0,995
40	$X = 6,3691 + 2,2616 t^{**}$	0,884
	$X = 8,1683 + 0,1025 t + 0,3598 t^2^{**}$	0,951
	$X = 8,7802 - 1,9370 t + 1,2776 t^2 - 0,1019 t^3^{**}$	0,965
	$X = 8,3196 + 2,5923 t - 2,7015 t^2 + 0,9728 t^3 - 0,0825 t^4^{**}$	0,987

Em que: X – teor de água (%); t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Percebe-se que as equações linear, quadrática, polinomial de quarto grau e de quinto grau, foram significativas a 1% de probabilidade para as amostras armazenadas a 20 °C; para as amostras armazenadas a 30 e 40 °C, as equações linear, quadrática, cúbica e de quarto grau, foram significativas a 1% de probabilidade. Para as amostras armazenadas na temperatura de 20 °C, as equações de regressão apresentaram R<sup>2</sup> satisfatório, sendo a equação quadrática a recomendada para a estimativa do teor de água da atemoia em pó armazenado na temperatura de 20 °C sob umidade relativa de 55%; enquanto, para as amostras armazenadas na temperatura de 30 e 40 °C, as equações lineares apresentaram R<sup>2</sup> acima de 0,80 e as equações quadráticas, cúbica e polinomial de quarto grau apresentaram R<sup>2</sup> acima de 0,90; sendo assim, deve-se utilizar as equações quadráticas para estimar o teor de água do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 30 e 40 °C sob umidade relativa de 55%, visto que apresentam menos parâmetros. Resultado divergente ao encontrado por RAMOS et al. (2008), em que a equação linear se ajustou bem aos dados experimentais com coeficiente de determinação igual a 0,92 para o abacaxi desidratado ao longo de 75 dias de armazenamento. OLIVEIRA et al. (2006) verificaram, em estudo do armazenamento da polpa de pitanga em pó armazenada em embalagem laminada, que a

equação linear resultou em ajuste com coeficiente de determinação de 0,9049 e a equação quadrática em ajuste com coeficiente de determinação de 0,9634, para a estimativa do teor de água em função do tempo.

#### 4.6.2 - pH

De acordo com as análises de variância do pH dos pós de atemoia e, em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%), verificou-se que os fatores avaliados e sua interação foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.19 tem-se os valores médios do pH da atemoia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C durante 60 dias de armazenamento em atmosfera controlada com umidade de 83%.

**Tabela 4.19** - Valores médios do pH do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	pH		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	4,86 aA	4,86 bcA	4,86 aA
10	4,85 abA	4,84 cdA	4,86 aA
20	4,80 cB	4,85 bcdA	4,72 bC
30	4,82 abcC	4,95 aA	4,86 aB
40	4,83 abcA	4,77 eB	4,83 aA
50	4,82 bcB	4,89 bA	4,84 aB
60	4,79 cAB	4,81 deA	4,76 bB

DMS para colunas = 0,03; DMS para linhas = 0,04; MG = 4,83; CV = 0,65%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Constata-se que, numericamente o pH das amostras permaneceu relativamente estável durante todo o armazenamento nas três temperaturas estudadas, apresentando uma média geral de 4,83, embora estatisticamente existam entre alguns tempos, diferenças significativas; na temperatura de 20 °C nota-se apenas um valor de pH mais baixo no tempo de 60 dias; na temperatura de 30 °C o valor mais baixo do pH foi aos 40 dias e na

temperatura de 40 °C se observam os menores valores nos tempos de 20 e 60 dias. COSTA (2012) observou, realizando o estudo da estabilidade de maracujá em pó proveniente de cultivo orgânico, pequenas variações de pH no início do armazenamento; no entanto, após 150 dias de estocagem esses valores obtidos permaneceram praticamente inalterados chegando aos 360 dias de armazenamento a temperatura ambiente com pH de 4,1. ALEXANDRE et al. (2014) verificaram, analisando o armazenamento da pitanga em pó obtida pelo método de secagem em camada de espuma, que o pH diferiu estatisticamente entre o tempo inicial (zero) e o tempo final (60 dias) do armazenamento com tendência de aumento nos valores a partir dos 30 dias. Verificou-se também, um aumento do pH ao final do armazenamento (60 dias) de 3,6%, indicando que a embalagem não evitou a alteração do pH.

Comparando as temperaturas de armazenagem tem-se que no tempo inicial e aos 10 dias o pH das amostras nas diferentes temperaturas não diferiu entre si; nos demais tempos houve diferenças estatísticas entre as temperaturas sem, no entanto, ter um comportamento definido em função do aumento da temperatura.

Na Tabela 4.20 estão as equações de regressão propostas para a estimativa do pH da atemoia em pó em função do tempo de armazenamento (dias), nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%; para as amostras armazenadas na temperatura de 20 e 40 °C, as equações linear, cúbica e de quinto grau foram significativas a 1% de probabilidade e as amostras armazenadas a 30 °C; as equações linear, quadrática e polinomial de quinto grau foram significativas a 1% de probabilidade. Observa-se que todas as equações significativas para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, apresentaram baixos  $R^2$  não satisfatórios, com exceção das equações polinomiais de quinto grau nas temperaturas de 20 e 30 °C, que apresentaram  $R^2$  de 0,962 e 0,905, respectivamente, podendo, desta forma, ser utilizadas para estimar o pH do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20 e 30 °C e na umidade relativa de 83%; para a estimativa do pH do pó de atemoia armazenado a 40 °C, pode-se utilizar também uma equação polinomial de quinto grau, sendo que a mesma apresentou baixo  $R^2$  de 0,647. ARLINDO et al. (2007) concluíram, analisando o armazenamento do pimentão em pó em embalagem de polietileno, que a equação de regressão polinomial para o pH foi significativa a 1% de probabilidade com  $R^2$  de 0,880, podendo ser utilizada para a estimativa deste parâmetro em função do tempo de armazenamento com precisão razoável.

**Tabela 4.20** – Equações de regressão propostas para o pH da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
	$pH = 4,8517 - 0,0082 t$ **	0,514
20	$pH = 4,8688 - 0,0532t + 0,0183t^2 - 0,0019t^3$ **	0,758
	$pH = 4,8637 + 0,0827t - 0,1634t^2 + 0,0801t^3 - 0,0151t^4 - 0,0009t^5$ **	0,962
	$pH = 4,8698 - 0,0052 t$ **	0,376
30	$pH = 4,8525 + 0,0155 t - 0,0034 t^2$ **	0,391
	$pH = 4,8669 - 0,3502 t + 0,4926 t^2 - 0,2277 t^3 - 0,0426 t^4 - 0,0027 t^5$ **	0,905
	$pH = 4,8458 - 0,0082 t$ **	0,101
40	$pH = 4,8781 - 0,1149 t + 0,0478 t^2 - 0,0053 t^3$ **	0,425
	$pH = 4,8660 + 0,2052 t - 0,3815 t^2 + 0,1888 t^3 - 0,0357 t^4 - 0,0023 t^5$ **	0,647

Em que: t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Na Tabela 4.21 estão os valores médios do pH da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e em uma umidade relativa de 55%. Percebe-se que as amostras apresentaram o mesmo comportamento discutido para a UR = 83%, em que o pH numericamente se apresentou estável em todo o armazenamento com média de 4,8. Constata-se que nas diferentes temperaturas os valores do pH oscilaram durante todo o armazenamento com acréscimos e decréscimos, sem tendência definida. Resultados divergentes foram encontrados por PILON et al. (2006) quando armazenaram pimentões minimamente processados e observaram um aumento de 17,1% do pH do primeiro ao 21º dia de armazenamento. CANTERI et al. (2010) avaliando a farinha da casca de maracujá, obtiveram uma faixa de pH de 3,1 a 4,1.

Analisando os tempos de armazenamento observam-se, entre as temperaturas, diferenças estatísticas entre os valores de pH sem tendência definida em relação ao aumento da temperatura.

Comparando as duas condições de armazenagem, constata-se que nem a temperatura nem a umidade relativa interferiram no pH das amostras visto que as mesmas apresentaram o mesmo comportamento oscilatório durante todo o período de armazenamento apresentando, em média, um pH de 4,8 para todos os tempos de armazenamento e temperaturas e umidades relativas estudadas.

**Tabela 4.21** - Valores médios do pH do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	pH		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	4,86 aA	4,86 aA	4,86 aA
10	4,85 aA	4,74 cC	4,82 bcB
20	4,76 cB	4,84 bA	4,74 dB
30	4,81 bB	4,86 abA	4,85 abA
40	4,74 cB	4,76 cB	4,80 cA
50	4,85 aB	4,88 aA	4,86 aAB
60	4,75 cB	4,75 cB	4,80 cA

DMS para colunas = 0,02; DMS para linhas = 0,03; MG = 4,82; CV = 0,43%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.22 se encontram as equações propostas para o pH da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e em uma umidade relativa média de 55%; constata-se, para a temperatura de 20 e 30 °C, que as equações linear, quadrática, cúbica, polinomial de quarto e quinto graus, foram significativas a 1% de probabilidade exceto a equação polinomial de quarto grau na temperatura de 30 °C, que foi significativa a 5% de probabilidade; contudo, as equações não estimaram bem o pH das amostras visto que todas apresentaram  $R^2$  muito baixos, com exceção da equação polinomial de quinto grau para as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C, a qual apresentou um  $R^2$  de 0,915. Este resultado era esperado, visto que a equação de quinto grau apresenta vários parâmetros, o que a faz se ajustar bem aos dados porém não têm significado físico. RAMOS et al. (2008) encontraram, analisando o armazenamento do abacaxi desidratado a 60 °C por 80 dias e embalado em policloreto de vinilideno sob vácuo + folha de alumínio, que a equação linear foi significativa a 5% de probabilidade com  $R^2$  de 0,500, podendo ser utilizada na estimativa do pH do abacaxi desidratado e armazenado a temperatura ambiente.

**Tabela 4.22** – Equações de regressão propostas para o pH da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$pH = 4,8425 - 0,0128t^{**}$	0,289
	$pH = 4,8605 - 0,0344t + 0,0035t^2^{**}$	0,356
	$pH = 4,8762 - 0,0869t + 0,0272t^2 - 0,0026t^3^{**}$	0,449
	$pH = 4,8627 + 0,0461t - 0,0896t^2 + 0,0289t^3 - 0,0026t^4^{**}$	0,645
	$pH = 4,8656 - 0,0709t - 0,0783t^2 - 0,0508t^3 + 0,0126t^4 - 0,0010t^5^{**}$	0,689
30	$pH = 4,8277 - 0,0049t^{**}$	0,276
	$pH = 4,8178 + 0,0068t - 0,0019t^2^{**}$	0,288
	$pH = 4,8476 - 0,0925t + 0,0427t^2 - 0,0049t^3^{**}$	0,300
	$pH = 4,8517 - 0,1318t + 0,0773t^2 - 0,0143t^3 - 0,0007t^4^*$	0,442
	$pH = 4,8647 - 0,6582t + 0,8328t^2 - 0,3729t^3 + 0,0694t^4 - 0,0045t^5^{**}$	0,915
40	$pH = 4,8431 - 0,0220t + 0,0033t^2^{**}$	0,096
	$pH = 4,8700 - 0,1115t + 0,0436t - 0,0044t^3^{**}$	0,496

Em que: t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

#### 4.6.3 – Acidez total titulável

Através das análises de variância da acidez total titulável do pó de atemoia em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%), verificou-se que o tempo e a interação foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F, porém o fator temperatura na UR = 83% não foi significativo e o fator temperatura UR = 55% foi significativo a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 4.23 estão os valores da acidez total titulável da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e uma umidade relativa de 83%.

Como esperado assim o pH das amostras armazenadas nas três diferentes temperaturas sob condições de umidade controlada de 83%, a acidez titulável da atemoia em pó oscilou durante todo o período de armazenamento obtendo valores de 1,74 até 1,91% na temperatura de 20 °C, de 1,74 a 1,89% na temperatura de 30 °C e de 1,74 a 1,87% na temperatura de 40 °C mas, de maneira geral, a acidez titulável apresentou leve tendência de aumento ao final do armazenamento. MENEZES et al. (2009) verificaram, realizando um estudo comparativo do pó da acerola verde obtido em estufa por circulação

de ar e por liofilização, que para as duas amostras sua acidez diminuiu ao longo do armazenamento de 180 dias, ficando de 7,68 a 6,55% e de 8,50 a 6,18%, respectivamente. MEDEIROS (2007) detectou, em estudo do armazenamento de mangaba em pó em embalagem laminada, após 60 dias de armazenamento, diminuição na acidez total titulável, da ordem de 20,03%.

**Tabela 4.23** - Valores médios da acidez total titulável do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Acidez total titulável (% ác. cítrico)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	1,74 eA	1,74 dA	1,74 cA
10	1,87 abAB	1,90 aA	1,86 aB
20	1,82 cdB	1,86 abA	1,87 aA
30	1,87 bcA	1,85 abcA	1,81 bB
40	1,81 dB	1,80 cB	1,87 aA
50	1,92 aA	1,87 bA	1,87 aB
60	1,80 dB	1,81 bcB	1,87 aA

DMS para colunas = 0,04; DMS para linhas = 0,05; MG = 1,84; CV = 1,93%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Comparando os valores da acidez titulável das amostras nas três temperaturas estudadas observa-se que não houve tendência de comportamento da acidez com o aumento da temperatura.

Na Tabela 4.24 se encontram as equações propostas para a acidez total titulável da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e em uma umidade relativa média de 83%. Constata-se que todas as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais foram significativas a 1% de probabilidade; entretanto, apresentaram baixos  $R^2$ , com exceção da equação polinomial de quarto grau da temperatura de 30 °C que obteve um  $R^2$  de 0,903. GUIMARÃES et al. (2014) concluíram, analisando a qualidade física e química de morango passa em embalagens de celofane sem vácuo, polietileno sem vácuo e polietileno com vácuo, que as equações quadráticas podem ser utilizadas para estimar a acidez total titulável do produto com  $R^2$  acima de 0,80.

**Tabela 4.24** – Equações de regressão propostas para a acidez titulável da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$ATT = 1,8063 + 0,0088 t^{**}$	0,109
	$ATT = 1,7669 + 0,0562 t - 0,0078 t^2^{**}$	0,369
	$ATT = 1,7432 + 0,2733 t - 0,1951 t^2 + 0,0500 t^3 - 0,0041 t^4^{**}$	0,754
30	$ATT = 1,7868 + 0,0486 t - 0,0074 t^2^{**}$	0,310
	$ATT = 1,7617 + 0,1324 t - 0,0452 t^2 + 0,0041 t^3^{**}$	0,541
	$ATT = 1,7430 + 0,3155 t - 0,2060 t^2 + 0,0476 t^3 - 0,0036 t^4^{**}$	0,903
40	$ATT = 1,7973 + 0,0146 t^{**}$	0,410
	$ATT = 1,7755 + 0,0407 t - 0,0043 t^2^{**}$	0,519
	$ATT = 1,7561 + 0,1053 t - 0,0334 t^2 + 0,0032 t^3^{**}$	0,674
	$ATT = 1,7432 + 0,2324 t - 0,1450 t^2 + 0,0333 t^3 - 0,0025 t^4^{**}$	0,870

Em que: ATT – acidez total titulável (% ácido cítrico); t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Na Tabela 4.25 estão os valores da acidez total titulável da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e uma umidade relativa de 55%.

**Tabela 4.25** - Valores médios da acidez total titulável do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Acidez total titulável (% ác. cítrico)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	1,74 cA	1,74 bA	1,74 dA
10	1,85 abAB	1,93 aA	1,81 cdB
20	1,84 abcC	1,93 aB	2,06 aA
30	1,87 abA	1,85 aA	1,81 cdA
40	1,89 abA	1,92 aA	1,95 bA
50	1,93 aA	1,87 aA	1,93 bA
60	1,81 bcA	1,85 aA	1,86 abcA

DMS para colunas = 0,08; DMS para linhas = 0,10; MG = 1,86; CV = 3,84%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observa-se que em todas as temperaturas a acidez aumenta entre o início e os 10 dias de armazenamento. Verifica-se que as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C se mantiveram estáveis do tempo 10 dias até o final do armazenamento e, nas temperaturas de 20 e 40 °C, os valores da acidez oscilaram com acréscimos e decréscimos ao longo do armazenamento.

OLIVEIRA et al. (2006) verificaram, para a polpa de pitanga em pó desidratada em secador por aspersão, acidez de 0,73% de ácido cítrico, sendo inferior á do pó de atemoia.

Analisando cada tempo de armazenamento observa-se, entre as temperaturas, que a acidez das amostras foi estatisticamente igual no tempo inicial e nos tempos de 30 dias, até final do armazenamento; apenas nos tempos de 10 e 20 dias a acidez diferiu entre algumas temperaturas.

Na Tabela 4.26 se encontram as equações propostas para estimar a acidez total titulável da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e em uma umidade relativa média de 55%.

**Tabela 4.26** – Equações de regressão propostas para a acidez total titulável da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$ATT = 1,8036 + 0,0145 t$ **	0,287
	$ATT = 1,7518 + 0,0767 t - 0,0103 t^2$ **	0,724
	$ATT = 1,7436 + 0,2135 t - 0,1430 t^2 + 0,0378 t^3 - 0,0032 t^4$ **	0,982
30	$ATT = 1,8499 + 0,0067 t$ **	0,469
	$ATT = 1,7901 + 0,0786 t - 0,0119 t^2$ **	0,487
	$ATT = 1,7615 + 0,1736 t - 0,0547 t^2 + 0,0047 t^3$ **	0,666
	$ATT = 1,7440 + 0,3457 t - 0,2059 t^2 + 0,0455 t^3 - 0,0034 t^4$ **	0,858
40	$ATT = 1,7410 + 0,4675 t - 0,3807 t^2 + 0,1285 t^3 - 0,1929 t^4 + 0,0010 t^5$ *	0,886
	$ATT = 1,8274 + 0,0175 t$ *	0,128
	$ATT = 1,7561 + 0,1029 t - 0,0142 t^2$ **	0,382
	$ATT = 1,7373 - 0,1538 t + 0,4721 t^2 - 0,2589 t^3 + 0,0527 t^4 - 0,0036 t^5$ *	0,576

Em que: ATT – acidez total titulável (% ácido cítrico); t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Para as amostras armazenadas na temperatura de 20 °C, as equações linear, quadrática e polinomial de quarto grau, foram significativas a 1% de probabilidade, sendo

a equação de quarto grau a recomendada para estimar a acidez titulável do pó de atemoia armazenado em temperatura de 20 °C com umidade relativa de 55%, por apresentar R<sup>2</sup> de 0,982. Para as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C, as equações linear, quadrática, cúbica e polinomial de quarto grau, foram significativas a 1% de probabilidade e a de quinto grau, a 5% de probabilidade; recomenda-se a utilização da equação de quarto grau na estimativa dos dados visto que a mesma tem menos parâmetros que a equação de quinto grau e um R<sup>2</sup> próximo ao da equação de quinto grau. Para as amostras armazenadas na temperatura de 40 °C a equação linear e a de quinto grau, foram significativas a 5% de probabilidade, enquanto a quadrática foi significativa a 1% de probabilidade, todas com R<sup>2</sup> baixos.

#### 4.6.4 – Ácido ascórbico

Das análises de variância do ácido ascórbico do pó de atemoia, em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%), verificou-se que os fatores avaliados foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F, porém a interação dos fatores nas duas umidades relativas não foi significativa.

Na Tabela 4.27 estão os valores do ácido ascórbico da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas na umidade relativa de 83%.

**Tabela 4.27** - Valores médios do ácido ascórbico do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Ácido ascórbico (mg/100 g)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	11,69 aA	11,69 aA	11,69 aA
10	11,48 aA	10,73 bB	10,51 bB
20	11,16 abA	10,51 bcAB	10,07 bcB
30	10,41 bcA	9,86 bcdA	9,75 bcdA
40	10,39 bcA	9,65 cdAB	9,32 cdeB
50	10,08 cA	9,10 dB	8,98 deB
60	9,85 cA	8,99 dB	8,77 eB

DMS para colunas = 0,73; DMS para linhas = 0,93; MG = 10,3826; CV = 6,35%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Percebe-se que as amostras apresentaram decréscimo no teor de ácido ascórbico ao longo do armazenamento e entre as diferentes temperaturas utilizadas. As amostras armazenadas nas temperaturas de 30 e 40 °C diferiram na maioria dos tempos das amostras armazenadas na temperatura de 20 °C; as amostras na temperatura de 20 °C apresentaram menores perdas de ácido ascórbico quando comparadas com as demais temperaturas.

O decréscimo do teor de ácido ascórbico pode ter ocorrido em razão da permeabilidade da embalagem ao vapor d'água e ao oxigênio e das condições do armazenamento (temperatura e umidade relativa), verificando-se que a embalagem laminada utilizada não foi eficaz contra a perda dessa vitamina. Esses fatores podem ter contribuído para a redução do ácido ascórbico através de reações de oxidações e químicas, visto que a polpa desidratada se apresentou com coloração amarronzada, característica de escurecimento químico não enzimático. Os teores de ácido ascórbico após o processo de desidratação são dependentes do método empregado, do tempo de estocagem e da embalagem utilizada (MOREIRA et al., 2011).

TANAKA (2007) observou, estudando a influência da secagem por aspersão sobre o teor ácido ascórbico no suco de acerola, durante seu armazenamento, que o produto apresentou uma redução 5,61% de ácido ascórbico em 90 dias de armazenamento. Estudos realizados por PEREIRA et al. (2006), com embalagens de polietileno sem vácuo em desidratação de tomates em pó comprovaram que os teores de vitamina C não apresentaram, durante os 60 dias de armazenamento, variação significativa.

A perda do ácido ascórbico no final do armazenamento com relação ao início nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C foi de 15,74 23,10 e 24,98%, respectivamente; diante desses valores, verifica-se que quanto maior a temperatura maior também a perda de ácido ascórbico com o tempo de armazenamento.

Na Tabela 4.28 se encontram as equações de regressão testadas para estimar o ácido ascórbico do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C sob umidade relativa de 83%, em função do tempo de armazenamento (dias). Para as amostras armazenadas nas temperaturas de 20 e 40 °C, a equação de regressão linear foi significativa a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ambas com  $R^2$  acima de 0,90, indicando que podem ser utilizadas com precisão para estimar os dados de ácido ascórbico.

**Tabela 4.28** – Equações de regressão propostas para o ácido ascórbico da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
<b>20</b>	$AA = 11,6128 - 0,2812 t$ **	0,983
	$AA = 11,4486 - 0,3241 t$ **	0,910
<b>30</b>	$AA = 11,6973 - 1,0774 t + 0,3268 t^2 - 0,0355 t^3$ *	0,996
	$AA = 11,6914 - 1,0179 t + 0,2737 t^2 - 0,0206 t^3 - 0,0013 t^4 + 0,00001 t^5$ **	0,996
<b>40</b>	$AA = 11,3049 - 0,4674 t$ *	0,938

Em que: AA – ácido ascórbico (mg/100 g); t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Para as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C foram significativas as equações linear e polinomial de quinto grau a 1% de probabilidade, tal como a equação cúbica a 5% de probabilidade, todas com R<sup>2</sup> acima de 0,90. Desta forma, pode-se dizer que para as três temperaturas estudadas a equação que pode ser utilizada na estimativa do teor de ácido ascórbico do pó de atemoia foi a equação linear, pois apresenta R<sup>2</sup> acima de 0,90 e demonstra significado físico. SILVA FILHO (2012) concluíram, analisando a polpa de manga Haden em pó obtida pelo método de secagem em camada de espuma e armazenada em temperaturas de 25 e 40 °C sob umidade relativa de 55%, que a equação que pode ser utilizada na estimativa do comportamento do ácido ascórbico foi a equação linear com R<sup>2</sup> acima de 0,94. ALEXANDRE et al. (2014) constataram, observando a estabilidade do ácido ascórbico durante o tempo de armazenamento da pitanga em pó obtida pelo método de secagem em camada de espuma, que a equação linear se ajustou bem aos dados experimentais do ácido ascórbico da pitanga em pó acondicionada na embalagem multifoliada com o tempo de armazenamento, apresentando um coeficiente de determinação de 0,93, podendo ser usada para estimar o comportamento do ácido ascórbico com o tempo de armazenamento

Na Tabela 4.29 estão os valores do ácido ascórbico da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e umidade relativa de 55%. Verifica-se que, em todas as temperaturas estudadas o teor de ácido ascórbico diminuiu ao longo do armazenamento. A alteração desta variável analisada pode estar relacionada com o tipo de embalagem utilizada, que não evita totalmente a permeabilidade ao oxigênio e a umidade, visto que o nível que entrou em contato com a amostra durante o armazenamento contribuiu para provocar alterações no teor de ácido ascórbico. A perda do ácido ascórbico no final do

armazenamento com relação ao início nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, foi de 14,71, 20,27 e 24,98%, respectivamente, significando que quanto maior a temperatura maior também a degradação do ácido ascórbico, com as amostras armazenadas na temperatura de 20 °C sofrendo menos alterações durante o armazenamento do que as amostras armazenadas nas temperaturas de 30 e 40 °C.

Esta diminuição nos valores também pode ser devida à oxidação do ácido ascórbico em virtude das condições do meio, tais como: influência da pressão parcial de oxigênio, do pH e temperatura, que produzem grandes perdas de ácido ascórbico (STADLER, 2008). Estudando a estabilidade de açaí em pó orgânico, CARNEIRO (2011), verificou que o conteúdo de ácido ascórbico se manteve praticamente estável durante 270 dias de armazenamento com valores próximos a 163,88 mg/100 g do pó de açaí.

**Tabela 4.29** - Valores médios do teor de ácido ascórbico do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Ácido ascórbico (mg/100 g)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	11,69 aA	11,69 aA	11,69 aA
10	11,37 abA	10,95 abAB	10,51 bB
20	10,94 abcA	10,51 bA	10,29 bA
30	10,72 bcdA	10,51 bAB	9,97 bcB
40	10,40 cdA	10,29 bA	9,20 cdB
50	10,28 cdA	10,08 bcA	8,88 dB
60	9,97 dA	9,32 cAB	8,77 dB

DMS para colunas = 0,74; DMS para linhas = 0,94; MG = 10,22; CV = 6,53%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Comparando as temperaturas entre si em cada tempo de armazenamento, nota-se que houve tendência de redução do ácido ascórbico com o aumento da temperatura.

Comparando as amostras armazenadas nas umidades relativas de 83% e 55%, pode-se constatar que a perda no percentual de ácido ascórbico foi maior nas amostras armazenadas na UR = 83%, nas temperaturas de 20 e 30 °C; uma explicação para este comportamento é o fato de que o produto absorve mais umidade na UR = 83% e,

consequentemente, ocorrem uma degradação maior e a diluição do teor de ácido na amostra em razão do maior teor de água.

A Tabela 4.30 apresenta as equações de regressão utilizadas para estimar o comportamento do ácido ascórbico com o tempo de armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 55%. Nota-se que, tal como as amostras armazenadas na umidade relativa de 83% tiveram o comportamento do ácido ascórbico ao longo do armazenamento estimado por equações lineares, as amostras armazenadas em umidade relativa de 55% nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, também podem ser estimadas por equações lineares com R<sup>2</sup> acima de 0,92, respectivamente.

**Tabela 4.30** – Equações de regressão propostas para o ácido ascórbico da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$AA = 11,6959 - 0,3241 t$ **	0,955
30	$AA = 11,3823 - 0,4358 t$ **	0,955
40	$AA = 11,2170 - 0,4484 t$ **	0,928
	$AA = 11,5226 - 0,8151 t + 0,0611 t^2$ *	0,980

Em que: AA - ácido ascórbico (mg/100 g); t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

#### 4.6.5 – Atividade de água

Através das análises de variância da atividade de água do pó de atemoia e em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%), pôde-se constatar que os fatores avaliados, da mesma maneira como a interação foi significativa a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.31 estão os valores da atividade de água da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e umidade relativa de 83%. Observa-se que a atividade de água aumentou ao longo do armazenamento nas três temperaturas estudadas passando 0,155 no tempo inicial para 0,230; 0,228 e 0,226 nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente. O aumento pode ser justificado em virtude do aumento do teor de água do pó de atemoia durante o armazenamento e da permeabilidade ao vapor d'água da embalagem utilizada o que provocou a adsorção de água. No entanto, esses valores são considerados seguros quanto às alterações favorecidas pelo crescimento de

microrganismos visto que eles não conseguem se desenvolver nesses valores de atividade de água. MOREIRA et al. (2011) verificaram, avaliando a polpa de cupuaçu desidratada em estufa, que não houve variação da  $a_w$  após 90 dias de armazenamento porém os valores encontrados foram superiores aos do presente trabalho permanecendo entre 0,63 e 0,69. BRAGA et al. (2005) observaram a estabilidade de cogumelos desidratados armazenados em diferentes embalagens a 25 °C com umidade relativa de 80%, por um período de 270 dias observando que, ao longo do armazenamento, a atividade de água das amostras aumentou de 0,252 para aproximadamente 0,690.

**Tabela 4.31** - Valores médios da atividade de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Atividade de água ( $a_w$ )		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	0,156 cA	0,156 eA	0,156 dA
10	0,205 bA	0,194 dA	0,167 cdB
20	0,218 abA	0,199 cdB	0,173 cC
30	0,221 aA	0,209 bBCD	0,177 cC
40	0,221 aA	0,211 bcAB	0,208 bB
50	0,223 aA	0,221 abA	0,220 abA
60	0,231 aA	0,228 aA	0,228 aA

DMS para colunas = 0,011; DMS para linhas = 0,014; MG = 0,201; CV = 5,09%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando, em cada tempo de armazenamento, as atividades de água do pó de atemoia nas três temperaturas avaliadas observa-se, nos tempos de 10, 20, 30 e 40 dias que as amostras armazenadas na temperatura de 40 °C apresentaram os valores mais baixos e na temperatura de 20 °C os valores mais altos enquanto nos tempos 50 e 60 dias não houve diferenças significativas entre as temperaturas. Este movimento do vapor d'água do ambiente para o alimento depende não apenas do alimento (teor de água e composição) mas também das condições do ar (temperatura e umidade relativa) (FELLOWS, 2006).

Na Tabela 4.32 tem-se as equações de regressão propostas para estimar a atividade de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento e das temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 83%. Observa-se que todas as equações propostas

para as amostras armazenadas nas três temperaturas analisadas, foram significativas a 1% de probabilidade, exceto a equação polinomial de quarto grau ajustada aos dados das amostras armazenadas na temperatura de 40 °C que foi significativa a 5% de probabilidade. Verifica-se que as equações de regressão apresentaram  $R^2$  entre 0,644 a 0,993; contudo, as equações que melhor estimaram a atividade de água das amostras de atemoia em pó armazenadas foram as equações cúbica a 20 °C, de quarto graus a 30 e 40 °C, com os maiores  $R^2$ .

**Tabela 4.32** – Equações de regressão propostas para a atividade de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$aw = 0,1822 + 0,0094 t$ **	0,644
	$aw = 0,1660 + 0,0289 t - 0,0032 t^2$ **	0,871
	$aw = 0,1572 + 0,0583 t - 0,0164 t^2 - 0,0014 t^3$ **	0,990
30	$aw = 0,1723 + 0,0101 t$ **	0,844
	$aw = 0,1635 + 0,0207 t - 0,0017 t^2$ **	0,920
	$aw = 0,1579 + 0,0394 t - 0,0101 t^2 - 0,0009 t^3$ **	0,976
	$aw = 0,1560 + 0,0578 t - 0,0263 t^2 + 0,0053 t^3 - 0,0003 t^4$ **	0,993
40	$aw = 0,1522 + 0,0125 t$ **	0,945
	$aw = 0,1557 + 0,0229 t - 0,0155 t^2 + 0,0049 t^3 - 0,0004 t^4$ *	0,980

Em que: aw – atividade de água; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Na Tabela 4.33 estão os valores da atividade de água da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e umidade relativa de 55%; constatando-se o mesmo comportamento das amostras armazenadas na UR = 83%, em que a atividade de água aumentou ao longo do armazenamento, nas três temperaturas.

**Tabela 4.33** - Valores médios do teor de água do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Atividade de água ( $a_w$ )		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	0,156 cA	0,156 dA	0,156 dA
10	0,214 bA	0,180 cB	0,167 cdC
20	0,219 bA	0,180 cB	0,167 cdC
30	0,233 aA	0,199 bB	0,170 cC
40	0,234 aA	0,210 bB	0,207 bB
50	0,235 aA	0,224 aB	0,220 aB
60	0,236 aA	0,236 aA	0,220 aA

DMS para colunas = 0,010; DMS para linhas = 0,013; MG = 0,201; CV = 4,46%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando em cada tempo de armazenamento as atividades de água do pó de atemoia nas três temperaturas avaliadas observa-se, nos tempos de 10, 20, 30, 40 e 50 dias que as amostras armazenadas na temperatura de 40 °C apresentaram os valores mais baixos e na temperatura de 20 °C os valores mais altos; no tempo 60 dias não houve diferenças significativas entre as temperaturas.

Na Tabela 4.34 tem-se as equações de regressão propostas para estimar a atividade de água da atemoia em pó nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa de 55%, em função do tempo de armazenamento (dias). Verifica-se as equações linear, quadrática, cúbica, polinomial de quarto e de quinto grau, foram significativas a 1% de probabilidade para as amostras armazenadas na temperatura de 20 °C; para as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C, somente a equação de regressão linear foi significativa a 1 % de probabilidade e para as amostras armazenadas na temperatura de 40 °C, foram significativas as equações linear, quadrática e cúbica a 1% de probabilidade e a equação de quarto grau foi significativa a 5% de probabilidade. Todas as equações testadas podem ser utilizadas para descrever o comportamento da atividade de água das amostras de atemoia em pó armazenadas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, exceto a equação linear a 20 °C ( $R^2 < 0,9$ ). COSTA (2012) constatou, avaliando a estabilidade do maracujá em pó a temperatura ambiente obtido pelo método de secagem por aspersão por um período de 360

dias, que os valores de atividade de água apresentaram diferença significativa com o tempo de armazenamento, sendo a equação linear a melhor ajustada aos dados.

**Tabela 4.34** – Equações de regressão propostas para a atividade de água da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$aw = 0,1859 + 0,0107t^{**}$	0,643
	$aw = 0,1663 + 0,0342t - 0,0039t^2^{**}$	0,900
	$aw = 0,1589 + 0,0589t - 0,0150t^2 - 0,0012t^3^{**}$	0,966
	$aw = 0,1566 + 0,0812t - 0,0346t^2 + 0,0065t^3 - 0,0004t^4^{**}$	0,983
	$aw = 0,1558 + 0,1135t - 0,0810t^2 + 0,0285t^3 - 0,0046t^4 + 0,0002t^5^{**}$	0,994
30	$aw = 0,1592 + 0,0128t^{**}$	0,980
	$aw = 0,1502 + 0,0120t^{**}$	0,885
40	$aw = 0,1547 + 0,0066t + 0,0009t^2^{**}$	0,900
	$aw = 0,1595 - 0,0092t + 0,0080t^2 - 0,0007t^3^{**}$	0,929
	$aw = 0,1559 + 0,0261t - 0,0230t^2 + 0,0075t^3 - 0,0006t^4^*$	0,977

Em que: aw – atividade de água; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

#### 4.6.6 - Luminosidade

De acordo com as análises de variância da luminosidade do pó de atemoia e em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%). Verifica-se que os fatores avaliados, tal como a interação, foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.35 estão os valores da luminosidade da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e umidade relativa de 83%. Observam-se, em todas as temperaturas estudadas, que os valores de luminosidade apresentaram tendência de redução com o tempo de armazenamento, demonstrando escurecimento das amostras com o tempo. SILVA et al. (2010) apresentaram, avaliando o tomate seco armazenado por 60 dias a temperatura ambiente e em ausência de luz, decréscimo nos valores de L\*. BARBOSA (2010) apresentou, em estudo da estabilidade de pó de misturas de frutas (cajá, manga e mamão) no período de 60 dias sob temperatura ambiente (25 °C), valores de L\*

entre 29,71 e 30,55 observando um aumento de L\* com o tempo de armazenamento e redução deste parâmetro com o aumento da concentração de maltodextrina. ENDO et al. (2007) observaram, avaliando a vida de prateleira do suco de maracujá desidratado durante 180 dias nas temperaturas de 30 e 40 °C, que a luminosidade do produto aumentou, ou seja, o pó de maracujá ficou mais claro.

Entre as temperaturas observa-se que a luminosidade em cada tempo de armazenamento se comportou de maneira diferente apresentando algumas diferenças significativas sem, no entanto, tendência padrão em todos os tempos com o aumento da temperatura.

**Tabela 4.35** - Valores médios da luminosidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Luminosidade (L*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	60,32 aA	60,32 bA	60,32 aA
10	55,42 bcC	63,08 aA	58,42 bB
20	55,83 bcB	57,02 cAB	57,71 bA
30	56,74 bA	56,58 cdA	53,56 dB
40	55,58 bcA	56,55 cdA	55,30 cA
50	56,24 bA	55,32 dA	52,94 dB
60	54,43 cB	55,15 dB	57,31 bA

DMS para colunas = 1,31; DMS para linhas = 1,65; MG = 56,86; CV = 2,06%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.36 tem-se as equações de regressão testadas para estimar a luminosidade da atemoia em pó em função do tempo de armazenamento nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C sob umidade relativa de 83%.

Observa-se que as amostras de atemoia em pó armazenadas na temperatura de 20 e 30 °C, obtiveram as equações linear, quadrática, cúbica, de quarto e quinto grau significativas a 1% de probabilidade e na temperatura de 40 °C apenas as equações linear, quadrática e cúbica foram significativas a 1% de probabilidade, constatando-se que as equações com os melhores ajustes ( $R^2 > 0,80$ ) na temperatura de 20 °C foram a cúbica, de quarto e quinto graus, a 30 °C as de quarto e quinto graus e a 40 °C, a cúbica. RAMOS et

al. (2008) obtiveram, em estudo com fatias de abacaxis desidratadas na temperatura de 60 °C e acondicionadas em embalagens de polietileno com folha de alumínio e armazenada durante 75 dias sob temperatura ambiente ( $27 \pm 2$  °C) e protegida da luz,  $R^2 < 0,48$  ao ajustar a equação linear aos dados experimentais da luminosidade com o tempo.

**Tabela 4.36** – Equações de regressão propostas para a luminosidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$L = 58,1139 - 0,5819 t^{**}$	0,444
	$L = 58,8620 - 1,4796 t + 0,1496 t^2^{**}$	0,532
	$L = 59,9377 - 5,0654 t + 1,7632 t^2 - 0,1792 t^3^{**}$	0,857
	$L = 60,2196 - 7,8377 t + 4,1987 t^2 - 0,8371 t^3 + 0,0548 t^4^{**}$	0,921
	$L = 60,3436 - 12,8259 t + 11,3586 t^2 - 4,2362 t^3 + 0,7057 t^4 - 0,0433 t^5^{**}$	0,982
30	$L = 61,0962 - 1,1257 t^{**}$	0,695
	$L = 61,7088 - 1,8608 t + 0,1225 t^2^{**}$	0,719
	$L = 61,1988 - 0,1608 t - 0,6424 t^2 + 0,0849 t^3^{**}$	0,750
	$L = 60,6282 + 5,4496 t - 5,5715 t^2 + 1,4163 t^3 - 0,1109 t^4^{**}$	0,859
	$L = 60,3481 + 16,7213 t - 21,7506 t^2 + 9,0973 t^3 - 1,5817 t^4 + 0,0980 t^5^{**}$	0,988
40	$L = 58,9095 - 0,8004 t^{**}$	0,415
	$L = 60,9866 - 3,2930 t + 0,4154 t^2^{**}$	0,751
	$L = 60,1740 - 0,5843 t - 0,8034 t^2 + 0,1354 t^3^{**}$	0,842

Em que: L - Luminosidade; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Na Tabela 4.37 se encontram os valores médios da luminosidade da atemoia em pó armazenada em diferentes temperaturas e com umidade relativa de 55%. Constata-se o mesmo comportamento com as amostras armazenadas com umidade relativa de 83%, ou seja, as amostras escureceram ao longo do armazenamento. Resultado contrário foi encontrado por LOUREIRO et al. (2013) que, ao estudar o armazenamento do buriti em pó em embalagens de polietileno e laminadas, observaram um acréscimo na luminosidade das amostras armazenadas nas duas embalagens estudadas concluindo, assim, que o tipo de embalagem utilizado não influenciou no processo.

Com relação ao aumento da temperatura em cada tempo de armazenamento, não se observou comportamento padrão notando-se, porém, oscilações da luminosidade com a temperatura.

Comparando as amostras armazenadas nas condições de umidade relativa de 83 e 55% observa-se, no final do armazenamento, que as amostras tinham valores semelhantes na temperatura correspondente.

**Tabela 4.37** - Valores médios da luminosidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Luminosidade (L*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	60,32 aA	60,32 bA	60,32 aA
10	59,38 aB	63,00 aA	57,24 bC
20	57,07 bA	55,55 cB	55,37 cB
30	57,51 bA	51,96 dB	52,39 dB
40	56,07 bcA	56,54 cA	56,56 bcA
50	53,20 dB	56,32 cA	52,75 dB
60	54,89 cB	55,29 cB	57,48 bA

DMS para colunas = 1,21; DMS para linhas = 1,52; MG = 56,64; CV = 1,91%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.38 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da luminosidade do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, em função do tempo de armazenamento; constata-se, para as amostras armazenadas a 20 °C, que as equações linear, de quarto e de quinto grau foram significativas a 1% de probabilidade; recomenda-se dar preferência ao uso da equação linear na predição dos dados experimentais da luminosidade das amostras de atemoia em pó em razão desta equação ter menos parâmetros e por apresentar coeficiente de determinação de 0,856, além de ter significado físico demonstrando que a luminosidade diminui com o tempo de armazenamento. Para a temperatura de 30 °C as equações linear e de quinto grau, foram significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, devendo-se utilizar a equação de quinto grau na estimativa do comportamento da luminosidade, em razão de ter apresentado R<sup>2</sup> acima de 0,90. Para as amostras armazenadas na temperatura de 40 °C, as equações

linear, quadrática, de quarto e quinto grau, foram significativas a 1% de probabilidade, da mesma forma que na temperatura de 30 °C, deve-se dar preferência à equação de quinto grau, por apresentar o maior R<sup>2</sup> e ser acima de 0,80, resultando em maior precisão. LIMA et al. (2004) utilizaram, ao estudarem a estabilidade à temperatura ambiente de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional e armazenados em embalagens com vácuo e sem vácuo, a equação de regressão linear para estimar o comportamento ao longo de 180 dias de armazenamento.

**Tabela 4.38** – Equações de regressão propostas para a luminosidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$L = 60,0981 - 1,0596 t^{**}$	0,856
	$L = 60,5079 - 3,5699 t + 2,2827 t^2 - 0,6643 t^3 + 0,0593 t^4^{**}$	0,928
	$L = 60,3378 + 3,2739 t - 7,5408 t^2 + 3,9993 t^3 - 0,8336 t^4 + 0,0595 t^5^{**}$	0,994
30	$L = 60,3379 - 1,3774 t^{**}$	0,473
	$L = 60,2420 + 27,9746 t - 39,0703 t^2 + 17,2915 t^3 - 3,1518 t^4 + 0,2036 t^5^*$	0,945
40	$L = 57,7661 - 0,5835 t^{**}$	0,204
	$L = 60,3644 - 3,7015 t + 0,5196 t^2^{**}$	0,689
	$L = 60,4780 - 5,3138 t + 2,0451 t^2 - 0,4302 t^3 + 0,0369 t^4^{**}$	0,703
	$L = 60,2270 + 4,7833 t - 12,4481 t^2 + 6,4504 t^3 - 1,2806 t^4 + 0,0878 t^5^{**}$	0,816

Em que: L - luminosidade; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

#### 4.6.7 – Intensidade de vermelho

De acordo com as análises de variância da intensidade de vermelho do pó de atemoia, em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%). Verifica-se que os fatores avaliados, tal como a interação, foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.39 estão os valores da intensidade de vermelho (+a\*) da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e umidade relativa de 83%.

Nas temperaturas de 20 e 30 °C verifica-se tendência de redução da intensidade de vermelho com o tempo de armazenamento e na temperatura de 40 °C nota-se uma

estabilidade de +a\* com o tempo. Em estudo da estabilidade do pó de acerola verde orgânica, armazenada por 360 dias sob temperatura ambiente MOURA (2010) verificou que o valor da intensidade de vermelho aumentou de 2,02 para 2,94 durante o período de armazenamento. ARLINDO et al. (2007) observaram, ao avaliar o armazenamento de pimentão em pó em embalagem de polietileno, que ao longo do armazenamento a intensidade de vermelho aumentou em todos os tempos com relação ao tempo inicial, exceto no tempo de 40 dias, quando este aumento foi da ordem de 43,5%.

**Tabela 4.39** - Valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de vermelho (+a*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	11,82 aA	11,82 aA	11,82 abA
10	11,60 aB	11,97 aA	11,70 abAB
20	11,05 bB	10,87 bcB	11,44 bA
30	11,11 bB	11,67 aA	11,54 abA
40	11,03 bB	11,15 bB	11,91 aA
50	10,63 cB	10,80 bcB	11,63 abA
60	10,09 dC	10,50 cB	11,83 aA

DMS para colunas = 0,31; DMS para linhas = 0,39; MG = 11,33; CV = 2,45%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Entre as temperaturas e em cada tempo de armazenamento observa-se, de maneira geral, que os menores valores de +a\* ocorrem na temperatura de 20 °C.

Na Tabela 4.40 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da intensidade de vermelho do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, em função do tempo de armazenamento. Observa-se que na temperatura de armazenamento de 20 °C, foram significativas 1% de probabilidade as equações linear e cúbica e a 5% de probabilidade a equação de quinto grau, com todas apresentando R<sup>2</sup> satisfatório acima de 0,91. Nesta temperatura recomenda-se utilizar a equação linear na estimativa do comportamento da intensidade de vermelho durante o armazenamento em razão da mesma apresentar significado físico demonstrando que a intensidade de vermelho diminui com o tempo de armazenamento.

Para as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C observa-se que as equações de regressão linear e de quinto grau foram significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente e a 40 °C as equações quadrática e de quinto grau foram significativas a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. Recomenda-se utilizar a equação de quinto grau para estimar o comportamento da intensidade de vermelho durante o armazenamento nas temperaturas de 30 e 40 °C, por apresentar  $R^2 > 0,80$ .

**Tabela 4.40** – Equações de regressão testadas para estimar a intensidade de vermelho da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
	$a = 11,8165 - 0,2563t$ **	0,913
20	$a = 11,8719 - 0,5880t + 0,1726t^2 - 0,0207t^3$ **	0,967
	$a = 11,8260 + 0,6061t - 1,4235t^2 + 0,6990t^3 - 0,1323t^4 + 0,0085t^5$ *	0,996
30	$a = 11,8993 - 0,2150t$ **	0,665
	$a = 11,2482 + 1,9765t - 3,2479t^2 + 1,5636t^3 - 0,3000t^4 + 0,0199t^5$ *	0,830
40	$a = 11,7807 - 0,1356t + 0,0247t^2$ *	0,323
	$a = 11,8201 + 0,8544t - 1,6382t^2 + 0,8335t^3 - 0,1628t^4 + 0,0109t^5$ **	0,946

Em que: a – intensidade de vermelho; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

HOJO et al. (2007) observaram, ao avaliar o uso de películas de fécula de mandioca e PVC na qualidade pós colheita de pimentões armazenados em condição ambiente, que a intensidade de vermelho pode ser representada por uma equação polinomial de terceiro grau ( $R^2 = 0,9104$ ). PEREIRA et al. (2006) avaliaram que a intensidade de vermelho do tomate em pó pode ser estimada pelas equações linear e quadrática, em função do tempo de armazenamento.

Na Tabela 4.41 se encontram os valores médios da intensidade de vermelho da atemoia em pó armazenada em diferentes temperaturas com umidade relativa de 55%.

Observa-se, nas temperaturas de 20 e 30 °C, que as amostras tiveram sua intensidade de vermelho diminuída com o tempo e na temperatura de 40 °C nota-se uma tendência à estabilidade, apesar de algumas diferenças significativas. LAVELLI (2009) verificou redução significativa dos valores de intensidade de vermelho avaliando o efeito

de diferentes temperaturas e atividade de água durante o armazenamento de maçãs desidratadas.

**Tabela 4.41** - Valores médios da intensidade de vermelho do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de vermelho (+a*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	11,82 abA	11,82 bA	11,82 abA
10	12,25 aA	12,40 aA	11,58 bB
20	11,29 cdA	10,95 cA	11,09 cA
30	10,86 deB	11,71 bA	11,63 bA
40	11,37 bcA	10,94 cB	11,68 bA
50	10,61 efB	10,74 cdB	11,45 bcA
60	10,33 fB	10,44 dB	12,18 aA

DMS para colunas = 0,36; DMS para linhas = 0,46; MG = 11,38; CV = 2,88%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.42 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da intensidade de vermelho do pó de atemoia armazenado na temperatura de 20, 30 e 40 °C, em função do tempo de armazenamento. Observa-se que nas amostras armazenadas na temperatura de 20 °C, foram significativas a 1% de probabilidade as equações de regressão linear, de quarto e de quinto grau. As equações linear e de quinto grau foram significativas a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, para as amostras armazenadas na temperatura de 30 °C e na temperatura de 40 °C as equações linear e de quarto grau foram significativas a 5% de probabilidade e a quadrática e de quinto grau foram significativas a 1%.

Recomenda-se para as amostras armazenadas nas três temperaturas avaliadas, utilizar a equação de quinto grau por apresentar os maiores  $R^2$  ( $> 0,80$ ). ARLINDO et al. (2007) relataram que a intensidade de vermelho do pimentão em pó em embalagem de polietileno durante o armazenamento pode ser representada por uma equação linear com  $R^2$  de 0,616 e que pela equação de regressão este parâmetro apresenta tendência de aumento com o aumento do tempo de armazenamento.

**Tabela 4.42** – Equações de regressão propostas para estimar a intensidade de vermelho (+a\*) da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
	$a = 12,0408 - 0,2740 t^{**}$	0,769
20	$a = 11,8799 + 0,8978 t - 0,9787 t^2 + 0,2592 t^3 - 0,0214 t^4^{**}$	0,847
	$a = 11,8150 + 3,5071 t - 4,7241 t^2 + 2,0373 t^3 - 0,3619 t^4 + 0,0226 t^5^{**}$	0,976
30	$a = 12,0873 - 0,2673 t^{**}$	0,676
	$a = 11,8476 + 3,0551 t - 4,1771 t^2 + 1,8479 t^3 - 0,3367 t^4 + 0,0216 t^5^*$	0,815
40	$a = 11,4839 + 0,0498 t^*$	0,104
	$a = 11,7920 - 0,3199 t + 0,0616 t^2^{**}$	0,582
	$a = 11,8743 - 1,0199 t + 0,6525 t^2 - 0,1555 t^3 + 0,0127 t^4^*$	0,695
	$a = 11,8291 + 0,7995 t - 1,9591 t^2 + 1,0843 t^3 - 0,2246 t^4 + 0,0158 t^5^{**}$	0,952

Em que: a – intensidade de vermelho; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

#### 4.6.8 – Intensidade de amarelo

Verificou-se, nas análises de variância da intensidade de amarelo (+b\*) do pó de atemoia em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%) que os fatores avaliados, assim como a interação, foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.43 estão os valores da intensidade de amarelo (+b\*) da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e umidade relativa de 83%.

Observa-se que as amostras de atemoia em pó sofreram muitas oscilações na intensidade de amarelo ao longo do armazenamento não apresentando um só comportamento em todas as temperaturas testadas. Comparando os valores da intensidade de amarelo nas temperaturas de 20 e 30 °C entre o início e no fim do armazenamento, nota-se que não existe diferença significativa entre as médias e a 40 °C tem-se um aumento significativo. Essas oscilações podem ser explicadas pelo fato de que os alimentos que contêm carotenoides quando processados, se tornam mais vulneráveis durante o armazenamento às alterações provocadas pelo calor, luz e concentração de oxigênio sofrendo auto-oxidação, originando compostos que modificam a cor do produto (SARON et al., 2007; POLICARPO et al., 2007). ENDO et al. (2007) também observaram redução nos valores deste parâmetro para o suco de maracujá desidratado em secador por aspersão

e acondicionado em embalagens de polipropileno biorientado, metalizado e armazenado na temperatura de 40 °C.

**Tabela 4.43** - Valores médios da intensidade de amarelo do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de amarelo (+b*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	30,77 abA	30,77 cA	30,77 dA
10	29,54 cC	33,68 aA	32,51 cB
20	31,30 aB	32,67 abA	31,76 cdB
30	31,15 aB	29,35 dC	32,33 cA
40	30,00 bcC	31,62 bcB	33,96 bA
50	31,53 aB	31,17 cB	32,57 cA
60	29,76 bcC	31,80 bcB	35,48 aA

DMS para colunas = 0,88; DMS para linhas = 1,10; MG = 31,64; CV = 2,48%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Com relação ao aumento da temperatura verifica-se nos tempos de 30 a 60 dias, que os maiores valores da intensidade de amarelo ocorreram na temperatura de 40 °C.

Na Tabela 4.44 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da intensidade de amarelo do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C em função do tempo de armazenamento. Constatou-se que as equações que foram significativas a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Observa-se que os  $R^2$  foram muito baixos, com exceção da equação de quinto grau, nas temperaturas de 20 e 40 °C, com valores de  $R^2$  0,975 e 0,982, respectivamente. Nesse caso deve-se dar preferência ao uso desta equação na predição dos dados experimentais da intensidade de amarelo do pó de atemoia.

**Tabela 4.44** – Equações de regressão propostas para a intensidade de amarelo da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$b = 30,2658 + 0,4073 t - 0,0699 t^2$ **	0,107
	$b = 30,5484 - 0,5345 t + 0,3539 t^2 - 0,0470 t^3$ **	0,231
	$b = 30,7767 - 8,3653 t + 11,3503 t^2 - 5,1889 t^3 + 0,9733 t^4 - 0,0643 t^5$ **	0,975
30	$b = 31,8983 - 0,1062 t$ *	0,027
	$b = 31,2844 + 2,2615 t - 1,1167 t^2 + 0,1274 t^3$ **	0,341
	$b = 30,7809 + 7,2133 t - 5,4670 t^2 + 1,3024 t^3 - 0,0979 t^4$ **	0,720
	$b = 30,7117 + 9,9966 t - 9,4622 t^2 + 3,1991 t^3 - 0,4611 t^4 + 0,0242 t^5$ *	0,756
40	$b = 31,0059 + 0,5878 t$ *	0,686
	$b = 30,8792 + 1,6145 t - 0,5583 t^2 + 0,0683 t^3$ *	0,777
	$b = 30,7505 + 8,4804 t - 10,7171 t^2 + 4,9892 t^3 - 0,9563 t^4 + 0,0644 t^5$ **	0,982

Em que: b – intensidade de amarelo; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Na Tabela 4.45 se encontram os valores médios da intensidade de amarelo da atemoia em pó armazenada em diferentes temperaturas e sob atmosfera controlada com umidade de 55%.

**Tabela 4.45** - Valores médios da intensidade de amarelo do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de amarelo (+b*)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	30,77 bcA	30,77 cA	30,77 dA
10	31,21 bB	34,41 aA	31,96 cB
20	32,59 aA	31,92 bA	32,29 bcA
30	31,60 abB	28,67 dC	32,87 bcA
40	30,81 bcB	31,08 bcB	33,30 bA
50	30,08 cB	32,06 bA	32,80 bcA
60	30,68 bcC	31,84 bcB	34,54 aA

DMS para colunas = 0,89; DMS para linhas = 1,12; MG = 31,76; CV = 2,51%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Constata-se o mesmo comportamento ocorrido na UR = 83%, em que as amostras não apresentaram tendência de comportamento em todas as temperaturas; nas temperaturas de 20 e 30 °C observa-se, no final do armazenamento e em relação ao início, que na intensidade de amarelo não existe diferença significativa, entre as médias indicando tendência de estabilidade com o tempo e a 40 °C, entre o início e o fim do armazenamento, tem-se aumento significativo da intensidade de amarelo. LISBÔA et al. (2012) verificaram redução nos valores de +b\* para o figo-da-índia em pó acondicionado em embalagens laminadas armazenados na temperatura de 40 °C e umidades relativas de 55 e 83%.

Com relação ao aumento da temperatura verifica-se, nos tempos de 30 a 60 dias, que os maiores valores da intensidade de amarelo ocorreram na temperatura de 40 °C. MOURA et al. (2007) verificaram, em estudo com maçã-passa armazenada em condições de temperatura controlada (5, 25 e 35 °C), que os valores de +b\* permaneceram praticamente os mesmos, não sofrendo alteração com o aumento da temperatura.

Na Tabela 4.46 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da intensidade de amarelo do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, em função do tempo de armazenamento.

**Tabela 4.46** – Equações de regressão propostas para estimar a intensidade de amarelo da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$b = 31,5643 - 0,1534t^{**}$	0,169
	$b = 31,0060 + 0,5165t - 0,1116t^2^{**}$	0,438
	$b = 30,5367 + 2,0807t - 0,8155t^2 - 0,0782t^3^{**}$	0,778
	$b = 30,7001 + 0,4746t + 0,5954t^2 - 0,3029t^3 + 0,0317t^4^*$	0,895
30	$b = 32,3389 - 0,7504t + 0,1113t^2^{**}$	0,239
	$b = 31,6287 + 1,6168t - 0,9539t^2 + 0,1183t^3^{**}$	0,693
	$b = 30,8031 + 9,7356t - 8,0865t^2 + 2,0448t^3 - 0,1605t^4^{**}$	0,896
	$b = 30,7282 + 12,7457t - 12,4071t^2 + 4,0960t^3 - 0,5533t^4 + 0,0261t^5^*$	0,923
40	$b = 31,1473 + 0,5000t^{**}$	0,852
	$b = 30,7232 + 1,6903t - 0,5000t^2 + 0,0532t^3^{**}$	0,931
	$b = 30,7632 + 3,2894t - 3,3736t^2 + 1,6041t^3 - 0,3236t^4 + 0,0229t^5^*$	0,998

Em que: b – intensidade de amarelo; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Na temperatura de 20 °C as equações linear, quadrática e cúbica foram significativas a 1% de probabilidade apresentando  $R^2$  baixos e a equação de quarto grau foi significativa a 5% de probabilidade com  $R^2$  de 0,895, a qual deve ser utilizada na predição dos dados experimentais da intensidade de amarelo. Para a temperatura de 30 °C, foram significativas a 1% de probabilidade as equações quadrática, cúbica e de quarto grau e a equação de quinto grau significativa a 5% de probabilidade com  $R^2=0,923$ , a qual deve ser utilizada na estimativa do comportamento da intensidade de amarelo. Por fim, obteve-se, na temperatura de 40 °C, a equação linear e cúbica, significativas a 1% de probabilidade e a equação de quinto grau significativa a 5% de probabilidade. Analisando os  $R^2$  das equações de regressão na temperatura de 40 °C por apresentar  $R^2$  de 0,931 a equação cúbica é recomendada para a predição dos dados experimentais. PEREIRA et al. (2006) observaram, caracterizando, físico-quimicamente, o tomate em pó durante o armazenamento, que o parâmetro intensidade de amarelo obteve a equação de regressão polinomial de quarto grau estatisticamente significativa apresentando um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9, podendo ser utilizada para estimar os valores durante o armazenamento.

#### **4.6.9 – Insolubilidade**

Através das análises de variância da insolubilidade do pó de atemoia, em função da temperatura e do tempo de armazenamento sob atmosfera controlada (UR - 83% e 55%) verificou-se que os fatores avaliados, assim como a interação, foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.47 estão os valores da insolubilidade da atemoia em pó armazenada em três diferentes temperaturas e uma umidade relativa de 83%.

Observa-se, em todas as temperaturas, que a insolubilidade apresentou tendência de aumento com o tempo de armazenamento e mais expressivamente na temperatura de 40 °C. Esses valores aumentaram com o tempo de estocagem devido, possivelmente, à cristalização dos açúcares ocasionada pelas condições de umidade relativa e temperatura de armazenamento. A umidade absorvida foi suficiente para promover a cristalização dos açúcares, com conseqüente redução da solubilidade das amostras estudadas. Segundo GOULA & ADAMOPOULOS (2008), a solubilidade ou insolubilidade do pó, está associada ao conteúdo de água e às condições operacionais do secador aumentando com a diminuição no teor de água. Comportamento similar foi encontrado por ENDO et al.

(2007) que observaram redução da solubilidade com o tempo de armazenamento de 99,15% a 98,61% para pós de maracujá desidratado em secador por aspersão, armazenados por 180 dias sob temperatura ambiente. CARNEIRO (2011) observou uma redução da solubilidade em pó de açaí orgânico durante o armazenamento por 270 dias, na qual os valores variaram de 93 a 79%.

**Tabela 4.47** - Valores médios da insolubilidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 83%

Tempo de armazenamento (dia)	Insolubilidade (%)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	23,54 cA	23,54 dA	23,54 cA
10	23,63 bcA	23,91 cdA	24,24 cA
20	23,76 bcA	24,16 cdA	24,75 cA
30	24,23 bcA	24,80 cA	24,69 cA
40	24,63 bB	24,96cB	38,49 bA
50	24,81 bC	37,73 bB	39,99 aA
60	38,64 aB	39,85 aA	40,36 aA

DMS para colunas = 1,15; DMS para linhas = 1,45; MG = 28,57; CV = 3,60%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando a insolubilidade entre as temperaturas, tem-se que nos tempos iniciais de 0 a 30 dias não existem diferenças significativas entre as médias e nos tempos de 40, 50 e 60 dias os maiores valores da insolubilidade ocorreram na temperatura de 40 °C, o que vem comprovar que o fato da amostra apresentar maior teor de água afeta a solubilidade, ou seja, as amostras se tornaram mais insolúveis.

Na Tabela 4.48 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da insolubilidade do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, em função do tempo de armazenamento.

Observa-se, para as três temperaturas estudadas, que as equações de regressão foram significativas, foram a linear, quadrática, cúbica, de quarto e quinto grau, todas a 1% de probabilidade com exceção da equação de quinto grau significativa para a temperatura de 40 °C, que foi significativa a 5% de probabilidade. Constata-se, também, que a partir da equação de regressão cúbica os  $R^2$  se apresentaram na ordem de 0,90; sendo assim, as

equações de terceiro grau nas temperaturas de 20 e 40 °C devem ser utilizadas na estimativa do comportamento da insolubilidade durante 60 dias de armazenamento e a 30 °C, a equação de quarto grau.

**Tabela 4.48** – Equações de regressão propostas para a insolubilidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$I = 41,1248 - 3,4631t^{**}$	0,806
	$I = 43,0762 - 5,8048t + 0,3902t^2^{**}$	0,836
	$I = 40,8131 + 1,7388t - 3,0043t^2 + 0,3771t^3^{**}$	0,910
	$I = 39,9405 + 10,3198t - 10,5430t^2 + 2,4133t^3 + 0,1696t^4^{**}$	0,941
	$I = 40,2279 - 1,2421t + 6,0527t^2 - 5,4654t^3 + 1,3390t^4 - 0,1005t^5^{**}$	0,958
30	$I = 36,9796 - 2,7933t^{**}$	0,703
	$I = 41,1609 - 7,8109t + 0,8362t^2^{**}$	0,892
	$I = 41,7142 - 9,6553t + 1,6662t^2 - 0,0922t^3^{**}$	0,898
	$I = 40,8556 - 1,2124t - 5,7511t^2 + 1,9111t^3 - 0,1669t^4^{**}$	0,938
	$I = 40,4280 + 15,9916t - 30,4454t^2 + 13,6347t^3 - 2,4118t^4 + 0,1496t^5^{**}$	0,988
40	$I = 32,2428 - 1,9573t^{**}$	0,465
	$I = 36,7446 - 7,3594t + 0,9003t^2^{**}$	0,760
	$I = 39,2665 - 15,7659t + 4,6832t^2 - 0,4203t^3^{**}$	0,926
	$I = 40,1492 - 24,4457t + 12,3087t^2 - 2,4799t^3 + 0,1716t^4^{**}$	0,984
	$I = 40,3494 - 32,4998t + 23,8694t^2 - 7,9683t^3 + 1,2226t^4 - 0,0700t^5^*$	0,999

Em que: I – insolubilidade (%); t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Na Tabela 4.49 se encontram- os valores médios da insolubilidade da atemoia em pó armazenadas em diferentes temperaturas e sob atmosfera controlada com umidade de 55%. As amostras seguiram a mesma tendência das que foram armazenadas com UR = 83%, ou seja, a insolubilidade aumentou ao longo do armazenamento nas três temperaturas estudadas, sendo o maior acréscimo na temperatura de 40 °C por apresentar teor de água mais alto, ou seja, na temperatura de 40 °C os pós armazenados se apresentaram menos solúveis ao longo do armazenamento.

**Tabela 4.49** - Valores médios da insolubilidade do pó de atemoia armazenado em diferentes temperaturas e umidade relativa média de 55%

Tempo de armazenamento (dia)	Insolubilidade (%)		
	20 °C	30 °C	40 °C
0	23,54 eA	23,54 cA	23,54 bA
10	23,66 deA	23,73 cA	23,89 bA
20	23,88 deA	24,35 bcA	24,55 bA
30	23,95 cdB	24,83 bA	24,90 bA
40	25,10 cB	26,51 aB	39,47 aA
50	26,37 bB	38,72 aA	40,11 aA
60	37,86 aB	39,84 aA	40,36 aA

DMS para colunas = 1,38; DMS para linhas = 1,74; MG = 31,06; CV = 3,99%

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Em comparação com as amostras armazenadas na UR= 83%, nota-se que as amostras nas três temperaturas apresentaram o mesmo comportamento apesar das amostras armazenadas na umidade de 55% absorverem menos água ao longo do armazenamento mas não foi significativo para alterar sua insolubilidade. CANO-CHAUCA et al. (2005) registraram 72% de solubilidade (28% de insolubilidade) para o pó da manga adicionado de 9% de celulose desidratado em secador por aspersão. CAPARINO et al. (2012) encontraram, para a solubilidade do pó de manga, os valores 89,70% (10,30% insolubilidade), 94,38% (5,62% de insolubilidade), 95,31% (4,69% de insolubilidade) para os métodos de liofilização, secagem em tambor rotativo e secagem por aspersão, respectivamente.

Na Tabela 4.50 se encontram as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais da insolubilidade do pó de atemoia armazenado nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, em função do tempo de armazenamento, observando-se que nas temperaturas de armazenamento de 20 e 30 °C as equações de regressão significativas a 1% de probabilidade foram a linear, a quadrática, a cúbica, a de quarto e quinto grau. Com relação à temperatura de 40 °C, apenas a equação de regressão cúbica não foi significativa, com as demais significativas a 1% de probabilidade.

**Tabela 4.50** – Equações de regressão propostas para a insolubilidade da atemoia em pó, em função do tempo de armazenamento

Temp. (°C)	Equação	R <sup>2</sup>
20	$I = 43,6484 - 3,4430 t^{**}$	0,789
	$I = 41,7068 - 1,1131 t - 3,8832 t^2^{**}$	0,819
	$I = 30,5367 + 2,0807 t - 3,9216 t^2 + 0,3925 t^3^{**}$	0,898
	$I = 40,1530 - 1,1452 t + 3,0046 t^2 - 1,4781 t^3 + 0,1558 t^4^{**}$	0,924
	$I = 40,5144 - 15,6829 t + 23,8717 t^2 - 11,3847 t^3 + 2,0529 t^4 - 0,1264 t^5^{**}$	0,950
30	$I = 40,9196 - 3,4137 t^{**}$	0,767
	$I = 43,0490 - 5,9690 t + 0,4258 t^2^{**}$	0,803
	$I = 40,9693 + 0,9634 t - 2,6937 t^2 + 0,3466 t^3^{**}$	0,864
	$I = 39,8924 + 11,5525 t - 11,9966 t^2 + 2,8592 t^3 - 0,2093 t^4^{**}$	0,911
	$I = 40,1826 - 0,1214 t + 4,7599 t^2 - 5,0958 t^3 + 1,3139 t^4 - 0,1015 t^5^*$	0,927
40	$I = 37,4203 - 2,9069 t^{**}$	0,756
	$I = 41,4226 - 7,7097 t + 0,8004 t^2^{**}$	0,928
	$I = 40,7425 - 0,3649 t - 5,7964 t^2 + 1,8058 t^3 - 0,1518 t^4^{**}$	0,962
	$I = 40,4233 + 12,4753 t - 24,2270 t^2 + 10,5557 t^3 - 1,8274 t^4 + 0,1117 t^5^{**}$	0,989

Em que: I – insolubilidade; t – tempo de armazenamento (dia); \*\* - significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* - significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

Para a predição dos dados experimentais da insolubilidade das amostras armazenadas nas temperaturas de 20 e 30 °C, recomenda-se utilizar a equação de regressão de quarto grau, pois apresentaram R<sup>2</sup> de 0,924 e 0,911, respectivamente. Para a estimativa do comportamento da insolubilidade das amostras armazenadas na temperatura de 40 °C ao longo do armazenamento, deve-se utilizar a equação de regressão quadrática, por apresentar R<sup>2</sup> de 0,928.

#### 4.7 – Isotermas de adsorção de água

Na Tabela 4.51 estão os valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) e seus respectivos teores de água de equilíbrio (% b.s.), a 20, 30 e 40 °C, do pó de atemoia selecionado como o melhor (Experimento 4 - temperatura de secagem = 80 °C e espessura da camada de espuma = 0,5 cm). Observa-se que o teor de água de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água para todas as temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Pode-se observar que

todas as amostras se apresentaram, inicialmente, com atividades de água muito baixas nas três temperaturas estudadas (0,239; 0,161; 0,153), respectivamente, demonstrando que o pó de atemoia produzido a partir do processo de secagem em camada de espuma é um excelente produto para o armazenamento prolongado de vez que sua baixa atividade de água dificulta a proliferação de microrganismos que venham a deteriorá-lo diminuindo, assim, a vida de prateleira.

BENEDETTI et al. (2011) encontraram valores de teores de água de equilíbrio variando de 45,4 a 104,5% b.s. para as isoterms de adsorção de água a 20 °C do caqui em pó secado em estufa a vácuo sem aditivos, com adição de maltodextrina e de goma arábica, ficando evidente que as amostras em pó são produtos bastante higroscópicos, ante o que, se nota que os valores iniciais do teor de água do atemoia em pó foram inferiores aos desses autores.

Constata-se que a temperatura influenciou na atividade de água das amostras assim como nos seus teores de água de equilíbrio. Segundo GOULA & ADAMOPOULOS (2008) a temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio entre o vapor e a fase adsorvida; em geral, um aumento na temperatura ocasiona diminuição no teor de água de equilíbrio; esta tendência pode ser atribuída à redução do número total de sítios ativos disponíveis para ligação com a molécula de água, em virtude das mudanças de ordem física e/ou química, ou seja, o aumento da temperatura ocasiona diminuição do teor de água de equilíbrio em uma mesma atividade de água.

**Tabela 4.51** – Valores médios do teor de água de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) em função da atividade de água ( $a_w$ ) das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, para as temperaturas estudadas

<b>Temperatura (°C)</b>					
<b>20</b>		<b>30</b>		<b>40</b>	
<b><math>a_w</math></b>	<b>Xeq (% b.s.)</b>	<b><math>a_w</math></b>	<b>Xeq (% b.s.)</b>	<b><math>a_w</math></b>	<b>Xeq (% b.s.)</b>
0,239	16,396	0,161	16,481	0,153	12,376
0,320	18,128	0,266	18,433	0,282	14,935
0,360	19,048	0,307	20,276	0,372	17,076
0,386	21,049	0,344	21,036	0,417	19,217
0,405	21,861	0,384	21,904	0,454	20,940
0,423	22,402	0,403	22,931	0,470	22,089
0,464	24,675	0,435	24,659	0,531	25,379
0,502	26,894	0,489	27,587	0,573	27,729
0,533	29,330	0,531	29,972	0,617	30,914
0,562	31,386	0,568	32,411	0,646	33,369
0,584	34,306	0,588	33,711	0,669	35,666
0,622	36,580	0,629	36,856	0,707	39,478
0,651	38,961	0,656	39,564	0,735	42,820
0,675	41,505	0,681	42,002	0,753	46,580
0,697	43,237	0,699	44,060	0,767	48,982
0,713	45,564	0,714	46,710	0,780	51,437
0,744	49,297	0,740	50,123	0,815	55,614
0,763	52,815	0,780	60,616	0,855	77,442
0,777	55,142	0,868	87,382	0,896	99,270
0,821	69,320	0,908	91,930	0,934	133,995
0,867	83,606	0,914	99,623	-	-
0,906	95,021	-	-	-	-
0,914	101,028	-	-	-	-

Na Tabela 4.52 se apresentam os parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, para o pó de atemoia.

**Tabela 4.52** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	20	17,6379	6,4264	0,9097	0,9969	2,23	
	30	17,2684	12,3817	0,9080	0,9909	3,54	
	40	12,7961	17,0299	0,9704	0,9977	2,25	
Oswin	Temperatura (°C)	a	b	$R^2$	P (%)		
Oswin	20	27,7603	0,5552	0,9946	2,75		
	30	29,1901	0,5235	0,9866	4,96		
	40	22,5018	0,6753	0,9942	6,38		
Peleg	Temperatura (°C)	$K_1$	$n_1$	$K_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
Peleg	20	44,3096	0,7724	106,1042	6,5005	0,9977	2,67
	30	29,6592	0,3370	107,5007	4,8239	0,9955	2,30
	40	183,9187	10,3429	45,7680	0,9067	0,9968	4,83

Segundo GOULA et al. (2008) a quantidade de umidade na monocamada ( $X_m$ ) é aquela que proporciona, em determinada temperatura, maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento; abaixo deste valor as taxas de reações de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas. Neste trabalho a elevação da temperatura de 20 a 40 °C resultou em decréscimo dos valores da umidade na monocamada ( $X_m$ ) do modelo de GAB, analisando, com isto, os parâmetros do modelo de GAB para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C, constata-se que as umidades na monocamada molecular ( $X_m$ ) foram em torno de 17,63; 17,26 e 12,79, respectivamente, indicando que o pó de atemoia necessita, para ter uma armazenagem segura na temperatura de 40 °C, de um teor de água menor. SYAMALADEVI et al. (2009), encontraram valores inferiores de  $X_m$  ao ajustar o modelo de GAB às isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C do mirtilo ( $X_m = 11,3\%$ ) e da framboesa ( $X_m = 10,9\%$ ) liofilizados. PEDRO et al. (2010) encontraram a 20 °C  $X_m = 6,38\%$  b.s. para o maracujá em pó secado em bandejas em estufa a vácuo a 60 °C, durante 24 horas, com adição de 55% de maltodextrina.

Analisando os valores da constante C do modelo de GAB, que representa o calor total de sorção da primeira camada, constata-se que aumentou com o aumento da temperatura. A constante de sorção C é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (ALEXANDRE et al., 2007).

O parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido. Os valores da constante K do modelo de GAB nas temperaturas de 20 e 30 °C, ficaram muito próximos e na temperatura de 40 °C um pouco superior a essas temperaturas. TIMMERMANN (2003) afirmou que a constante K do modelo de GAB aumenta com a força de interação entre adsorvato-adsorvente e valores maiores que 1 são fisicamente inadequados, indicando uma sorção infinita; neste trabalho todos os valores da constante foram inferiores a 1.

Observa-se que os modelos de GAB, Oswin e Peleg, ficaram bem ajustados aos dados experimentais nas três temperaturas (20, 30 e 40 °C) visto que apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,97 e desvios percentuais médios (P) menores que 10%. BOQUET et al. (1978) consideram que o modelo se ajusta bem aos dados experimentais, quando  $P < 10\%$ . MOREIRA et al. (2013) determinaram as isotermas de adsorção de água da polpa de manga liofilizada nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C cujos dados experimentais se ajustaram bem pelo modelo GAB, com o valor de 0,99% de erro médio relativo. VIGANÓ et al. (2012) ajustaram o modelo de GAB às isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, de amostras de abacaxi em pó desidratadas em secador vibro-fluidizado, secador por atomização, liofilizador e secador a vácuo e relataram que o modelo descreveu satisfatoriamente as isotermas com valores de  $R^2$  próximos à unidade e  $P < 10\%$ .

De acordo com a classificação de BLAHOVEC (2004), a isoterma de adsorção do pó de atemoia, é do Tipo II, em razão de apresentar ( $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ ) em todas as temperaturas, o que é típico para alimentos com alto teor de açúcares. OLIVEIRA et al. (2011) observaram que o comportamento das isotermas de adsorção do sapoti liofilizado também foi do tipo II, pois apresentou um C de 2,522 e um K de 0,9758. MOSQUERA et al. (2010) classificaram, de acordo com os valores obtidos do parâmetro C, como do tipo II, o pó liofilizado de morango, com e sem maltodextrina e goma arábica.

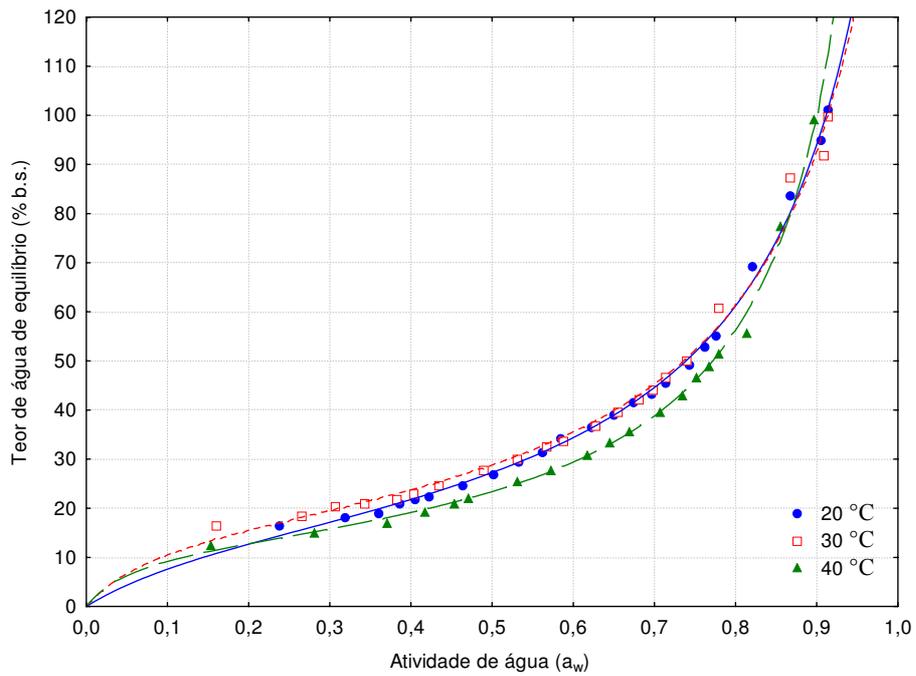
Ainda de acordo com BLAHOVEC (2004), para o modelo de Oswin o ideal é que os parâmetros se apresentem no seguinte intervalo,  $a > 0$  e  $1 \geq b > 0$ , uma vez que os parâmetros estejam dentro desses intervalos, indica que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções; logo, esses parâmetros

possuem consistência matemática e física e os parâmetros  $a$  e  $b$  do modelo de Oswin encontrados para as isotermas de adsorção do pó de atemoia nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, se encontram dentro dessa faixa. O parâmetro  $a$  para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C foi de 27,76; 29,19 e 22,50 e o parâmetro  $b$ , foi de 0,55; 0,52 e 0,67, respectivamente.

No Apêndice B se encontram as Figuras B.1 e B.2, que representam as isotermas de adsorção de água do pó de atemoia nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C com ajuste pelos modelos de Oswin e Peleg.

Na Figura 4.15 se encontram as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C do pó de atemoia com ajuste pelo modelo de GAB; observa-se que a curva apresenta o formato sigmoidal, que é uma característica das isotermas do Tipo II (ORDÓÑEZ, 2005).

Observa-se, na primeira parte das isotermas de adsorção onde a  $a_w$  varia de 0,1 a 0,4, um pequeno aumento do teor de água com grande aumento da  $a_w$ . Apesar do pó de atemoia conter um elevado teor de açúcares redutores de 62,95% mostra-se, nesta faixa de  $a_w$ , que o pó de atemoia foi menos higroscópico. É importante, também, lembrar que a adsorção da água nos alimentos desidratados é causada principalmente pela natureza química dos componentes orgânicos do produto, tais como açúcares (principalmente em frutos), a existência de forças inter-moleculares do tipo Van der Waals, da capacidade de grupos hidroxílicos para formar ligações com moléculas de água e do tipo de processo usado na desidratação (PEREIRA et al., 2006). Na parte das isotermas de adsorção em que a  $a_w$  varia de 0,4 a 0,7 observa-se um aumento relativamente importante do teor de água, em função do aumento da  $a_w$ . Segundo os mesmos autores, esta evolução é característica de produtos polares de alta energia de ligação que podem estar localizados dentro das partículas do pó de atemoia. Na última parte das isotermas de adsorção verifica-se  $a_w$  varia de 0,8 a 0,9, forte aumento do teor de água, devido, possivelmente, à presença de compostos solúveis e da porosidade presente no pó de atemoia. É importante lembrar que a alta higroscopicidade do pó de atemoia no final das isotermas de adsorção também pode estar associada à sua composição química com altos teores de açúcares totais de 72,64%.



**Figura 4.23-** Isotermas de adsorção de água em diferentes temperaturas das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, com ajustes pelo modelo de GAB

Nota-se que as curvas a 20 e 30 °C ficaram muito próximas e a curva a 40 °C um pouco afastada nas atividades de água entre 0,3 e 0,8 apresentando os menores valores de teores de água de equilíbrio.

## 5 - CONCLUSÕES

- A polpa integral de atemoia apresentou-se pouco ácida, com alta atividade de água e predominância na luminosidade;

- Entre as formulações testadas a espuma com melhor comportamento foi a composta por polpa de atemoia, 2% de Emustab e 2% de Super Liga Neutra, com tempo de batimento de 20 min;

- Os aditivos presentes na suspensão influenciaram as características da polpa integral diminuindo o ácido ascórbico e a atividade de água mas aumentando a luminosidade;

- As curvas de secagem da suspensão selecionada foram influenciadas pela temperatura e pela espessura da camada, com redução gradativa nos tempos de secagem sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem e menores espessuras da camada com o modelo de Midilli, apresentando os melhores ajustes para todas as condições;

- Entre as amostras avaliadas o pó com melhor comportamento foi o secado na temperatura de 80 °C e espessura da camada de espuma de 0,5 cm;

- Os modelos quadráticos propostos para o pó de atemoia obtidos para o teor de água, sólidos totais, ácido ascórbico, luminosidade, intensidade de vermelho e insolubilidade, foram estatisticamente significativos;

- O processo de secagem alterou significativamente as características químicas, físicas e físico-químicas dos pós de atemoia, quando comparados com a polpa integral;

- A distribuição granulométrica foi bastante disforme com deposições diferentes de material nas peneiras, em todos os experimentos testados;

- Pela microscopia eletrônica de varredura, foi possível observar que houve, em todas as amostras, uma falta de uniformidade em tamanho e forma e o material se apresentou com característica porosa;

- A velocidade de degradação do ácido ascórbico foi maior a 40 °C e foi bem descrita usando-se o modelo cinético de ordem zero, em todas as temperaturas estudadas;

- Durante o armazenamento da atemoia em pó em embalagem laminada, verificou-se que, com o tempo, ocorreu aumento do teor de água, atividade de água e insolubilidade e redução do teor de ácido ascórbico e da luminosidade;

- A isoterma de adsorção de água da atemoia em pó foi classificada como do Tipo II, para todas as temperaturas estudadas (20, 30 e 40 °C) e os modelos de GAB, Oswin e Peleg, podem ser utilizados para estimar as isotermas.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIO, F. D. B.; DOMINGUES, A. M.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, V. M. Physical properties of maltodextrin pineapple (*Ananas comosus*) juice: effect of maltodextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 3, p. 285-287, 2004.

ADHIKARI, B.; DI FALCO, S.; LOVETT, J. C. Household characteristics and forest dependency: evidence from community-based forest management in Nepal. **Ecological Economics**, v. 48, n. 2, p. 245-257, 2004.

AFZAL, T.M.; ABE, T. Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. **Computational Electronic and Agricultural**, v. 26, n. 2, p. 137–145, 2000.

AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. **Microstructural principles of food processing and engineering**. Cambridge: Elsevier Applied Science, 1990. 343 p.

AHMED, M.; AKTER, M. S.; LEE, J. C.; EUN, J. B. Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. **LWT – Food Science and Technology**, v. 43, n. 9, p. 1307-1312, 2010.

ALEXANDRE, H. V. **Secagem da polpa de pitanga e armazenamento do pó**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MELO, K. S. Cinética de secagem da polpa de pitanga formulada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. CD-ROM.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento da pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83-91, 2014.

AL-ASHEH, S.; JUMAH, R.; BANAT, F. AND HAMMAD, S. The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder. **Transaction Institute Chemical Engineering**, v. 81, Part C, p. 81-88, 2003.

AL FARSI, M. A.; LEE, C. Y. Nutritional and functional properties of dates: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 10, p.877–887, 2008.

ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇA, A. R. Caracterização física e fisico-química de frutos do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 15-20, 2009.

ALVES, R. E.; FILGUIERAS, H. A. C.; MOURA, C. F. H. Org. **Caracterização de frutas nativas da América Latina**. Jaboticabal: UNESP/SBF, 2000.

ANGEL, R. M. C.; MUÑOZ, L. C. E.; AVILES-AVILES, C.; GARCÍA, R. G.; SANTILLÁ,N. M. M.; LAGUNES, A. G.; ARCHILA, M. A. Spray-Drying of Passion Fruit Juice Using Lactose Maltodextrina Blends as the Support Material **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p. 1011-1018, 2009.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18th ed, 3th Review, Washington: AOAC, 2010. 1094p.

ARLINDO; D. M.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Armazenamento de pimentão em pó em embalagem de polietileno. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2007.

ASTOLFI-FILHO, Z., SOUZA, A. C., REIPERT, E C. D. e TELIS, V. R. N. Encapsulação de suco de maracujá por co-cristalização com sacarose: cinética de cristalização e propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 795-801, 2005.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195p.

AZZOUZ, S.; GUISAN, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 4, p. 323-330, 2002.

BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 8, p. 1450-1458, 2011.

BAGETTI, M., FACCO, E. M. P., PICCOLO, J.; HIRSCH, G. E.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.; KOBORI, C. N.; VIZZOTTO, M.; EMANUELLI, T. Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 147–154, 2011.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 39-71.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de misturas de frutas obtido por *spray drying***. 2010. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido a desidratação osmótica e secagem**. 2004. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2004.

BARRETO, I. M. A. **Caracterização de polpa de pitanga roxa (*eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317p.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNADI, M. R. Desidratação da polpa de manga "Tommy Atkins" utilizando a técnica de foam mat drying: avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 4, p. 283-290, 2005.

BATES, R. P. Factors affecting foam production and stabilization of tropical fruit products. **Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 93–96, 1964.

BEJAR, A. K.; MIHOUBI, N. B.; KECHAOU, N. Moisture sorption isotherms – Experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1728–1735, 2012.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

BENEDETTI, P. C. D.; PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Influence of encapsulating materials on water sorption isotherms of vacuum-dried persimmon pulp powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 4, p. 423–431, 2011.

BEZERRA T. S. **Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*Mangifera indica* L.)**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; CLEMENTE, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, v. 58, n.3, p. 278-283, 2011.

BEZERRA, T. S. **Caracterização física, química e morfológica de polpa de marolo liofilizada**. 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

BHANDARI, B. R.; HARTEL, R. W. Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULTAT, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 261-292.

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.

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: II. Evaluation of various two-parameter models. **Journal of Food Technology**, v. 3, n. 4, p. 319-327, 1978.

BORGES, S. V.; REIS, A. L. S. H.; JORGE, E. C.; PINTO, P. R.; OLIVEIRA, V. M. Jugo de frutas tropicales deshidratado por “*spray drying*”. **Alimentaria**, v. 12, n. 334, p. 125-130, 2002.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function**. Wisconsin: University of Wisconsin, 1973. 95p. (Technical Report, n.9).

BRAGA, G. C.; BIAGI, J. D.; SALIBE, A. B.; VALENTINI, S. R. T.; VICENTE, E. Variações de cor e atividade de água em *Agaricus blazei* desidratado e armazenado em diferentes embalagens plásticas. **Acta Scientiarum Technology**, v. 27, n. 1, p. 83-87, 2005.

BRAGA FILHO, J. R.; VELOSO, V. R. S.; NAVES, R. V.; CHAVES, L. J.; PIRES, L. L.; MAZON, L. T. Caracterização física e físico-química de frutos de araticum (*annona crassiflora* Mart.). **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 16-24, 2014.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Efeito da desidratação foam mat na retenção da vitamina C. **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 2, p. 189-193, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017 p.

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

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 539-548, 2013.

CAMARGO, P.; MORAES, C.; CANTERI, M.H.G.; FRANCISCO, A.C.; MAIA, L. Avaliação da desidratação da polpa do maracujá azedo pelo método “Foam-Mat”. **VI Semana de Tecnologia em Alimentos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, v. 2, n. 14, p. 5, 2008.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CANTERI, M. H. G.; SCHEER, A. P.; WOSIACKI, G. ; GINIES, C. ; REICH, M. ; RENARD, C. M. C. G. A Comparative Study of Pectin Extracted from Passion Fruit. **Journal Polym Environ**, v. 18, n. 4, p. 593–599, 2010.

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.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starchcontaining foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 8, p. 1501-1507, 1982.

CARNEIRO, A. P. G., **Estudo da estabilidade do pó de açaí orgânico**. 2011. 105 f. Dissertações (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

CARR, R. L. Evaluating flow properties of solids. **Chemical Engineering**, v. 18, n. 1, p. 163-168, 1965.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; MEDEIROS, S. S. A.; DUARTE, M. E. M. Microencapsulamento do umbu em pó com diferentes formulações de maltodextrina: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 1, p. 59-70, 2005.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 360–365, 2012.

CHAVES, M. C. V.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; LEITE, J. C. A.; SILVA, F. L. H. Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2004.

CHAVES, M. A.; SOARES, E. C.; PINTO, E. G.; SOARES, R. D. Efeito da concentração do Emustab nas características da espuma de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Yaugh). Congresso de Alimentos, 2008. **Anais...**, CD-ROM.

CHAVES, M. A.; BARRETO, I. M. A.; REIS, R. C.; KADAM, D. M. Physicochemical and sensory properties of purple Brazilian cherry (*Eugenia uniflora*, L.) foams. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 8, p. 1688-1697, 2013.

CHEGENI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. **Drying Technology**, v. 23, n. 3, p. 657-668, 2005.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Spray dryer parameters for fruit juice drying. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 3, n. 2, p. 230-236, 2007.

CHEN, X. D., MUJUMDAR, A. S. **Drying Technologies in Food Processing**. Blackwell Publishing Ltd, 2008. 326p.

CHONG, C. H.; LAW, C. L. **Drying of Exotic Fruits. In: Vegetables and Fruits - Volume 2**, Ed. Jangam, S.V., Law, C.L. and Mujumdar, A.S., Singapore, p. 1-42, 2011.

COELHO, W. L. V.; PORTO, A. G.; SANTOS, P.; FURTADO, G. F.; SILVA, F. S. Secagem de polpa de mamão pelo método de camada de espuma. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3ª, 2010, Cáceres/MT. **Anais...** Cáceres/MT: Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG, 2010. CD-ROM.

COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO - CEAGESP. **Atemóia**. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/produtos>. Acesso em: 22 de novembro de 2012.

CORRÊA, S. C.; CLERICI, M. T. P. S.; GARCIA, J. S.; FERREIRA, E. B.; EBERLIN, M. N.; AZEVEDO, L. Evaluation of dehydrated marolo (*Annona crassiflora*) flour and carpels by freeze-drying and convective hot-air drying. **Food Research International**. v. 44, n. 7, p. 2385–2390, 2011.

CORREIA, L. F. M.; FARAONI, A. S.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Efeitos do processamento industrial de alimentos sobre a estabilidade de vitaminas. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 83-95, 2008.

COSTA, J. M. C., FELIPE, E. M. F.; MAIA, G. A.; BRASIL, I. M.; HERNANDEZ, E. F. F. H. Comparação dos parâmetros físico-químicos e químicos de pós alimentícios obtidos de resíduos de abacaxi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 228-232, 2007.

COSTA, J. M. C.; FELIPE, E. M. F.; MAIA, G. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; BRASIL, I. M. Production and Characterization of the cashew apple (*anacardium occidentale* l.) and guava (*psidium guajava* l.) fruit powders. **Journal of Food Process. Preserv.** v. 33, n. 1, p.299–312. 2009.

COSTA, J. N. **Estudo da estabilidade de maracujá (*passiflora edulis sims f. flavicarpa degener*) em pó, proveniente de cultivo orgânico.** 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium Guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma.** 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CRUZ, L. S., LIMA, R. Z., ABREU, C. M. P., CORRÊA, A. D.; PINTO, L. M. A. Caracterização física e química das frações do fruto atemoia Gefner. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2280 - 2284, 2013.

DACANAL, G. C. **Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leite fluidizado.** 2005. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

DANTAS, H. J.; SILVA, A. S.; LIMA, E. E. de; FARIAS, P. de A.; ANDRADE, M. A. de. Obtenção da polpa de jaca em pó pelo método de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*). In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 3. Bananeiras. **Anais...** Bananeiras: JNA, 2008. CD-Rom.

DANTAS, T. N. P.; SOUZA, J. S.; SOUZA-JÚNIOR, F. E.; MEDEIROS, M. F. D. Propriedades físicas e físico- químicas de pós de misturas de polpas de frutas com diferentes fontes lipídicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 2009, Minas Gerais. **Anais...** Uberlândia: CBEQ - IC, 2009. CD-ROM.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método *foam-mat***. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DELLA LUCIA, S. M.; MINIM, V. P. R.; SILVA, C. H. O.; MINIM, L. A. Fatores da embalagem de café orgânico torrado e moído na intenção de compra do consumidor. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 485-491, 2007.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O.; QUEIROZ, V. A. V. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 701-709, 2007.

DOYMAZ, I. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 591-596, 2007.

DZAZIO, CH.; MACEDO, D. C.; FLORENCIO, F.; COSTA, J. A.; ANJOS, M. M.; SCHEMIN, M. H. C.; OLIVEIRA, M. C. S.; LEAL, E. S.; ALMEIDA, J. V. P. Batata (*Polimnia sonchifolia*) desidratada em estufa e pelo método “Foam-Mat”. **Brasil Alimentos**, São Paulo, v. 38, n. 38, p. 21-26, 2007.

EBAH. **Apostila de análise de alimentos**. Disponível em: [http://www.ebah.com.br/content/ABAAAeo\\_AAB/apostila-analise-alimentos](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAeo_AAB/apostila-analise-alimentos). Acessado em 12 de abril de 2012.

EBDA PESQUISARÁ CULTIVO DA ATEMOIA. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/ebda/nov01mat-2.htm>. Acesso em: 23 abr. 2013.

EL-BELTAGY, A.; GAMEA, G. R.; AMER ESSA, A. H. Solar drying characteristics of strawberry. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 456-464, 2007.

ENDO, E.; BORGES, V. S.; DAIUTO, R. E.; CEREDA, P. M.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edullis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2, n. 2, p. 1-10, 2007.

ERBAS, M.; ERTUGAY, M.F.; CERTEL, M. Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p. 191 - 198, 2005.

ERENTURK, S.; GULABOGLU, M. S.; GULTEKIN, S. The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 4, p. 513–518, 2005.

FALADE, K. O.; ADETUNKI, A. I.; AWORH, O. C. Adsorption isotherm and heat of sorption of fresh and osmo-oven dried plantain slices. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 3, p. 230 – 234, 2003.

FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**. v. 217, n. 6, p. 486–491, 2003.

FALADE, K. O.; OKACHA, J. O. Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*Musa spp.*). **Food Bioprocess Technology**, v. 5. n. 4. p. 1173–1180, 2012.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; PINTO, M. R. M. R. Propriedades reológicas de sucos mistos de manga, goiaba e acerola adicionados de fitoquímicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 21-28, 2013.

FARIAS, J. F. de; SILVA, L. J. B. da; ARAÚJO NETO, S. E. de; MENDONÇA, VANDER. Qualidade do maracujá-amarelo comercializado em Rio Branco, Acre. **Caatinga**, v. 20, n. 3, p. 196-202, 2007.

FEITOSA, R. M.; MELO, J. C. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GOMES, W. C.; MEDEIROS, J. Caracterização da polpa de mangaba com leite de cabra seca em camada de espuma. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. 3., 2011, Recife. **Anais**, 2011, CD-ROM.

FEITOSA, R. M. **Secagem por aspersão e em camada de espuma da polpa de murta**. 2014. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

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

FERNANDES, T. K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá**. 2011, 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V., LIMA, C. F.; SOUZA, V. R. Secagem de polpa de tomate pelo método de camada de espuma. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 816-825, 2013.

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.

FORMOSO, V. C.; DAMY, P. C.; TELIS, V. R. N. Secagem por ar quente e degradação de ácido ascórbico em fatias de caqui. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2009, São José do Rio Preto. **Anais....**São José do Rio Preto: UNESP, 2009. CD-ROM.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 66-70, 2003.

GALDINO, P. O.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; SILVA, R. N. G. Avaliação da estabilidade da polpa de umbu em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 5, n. 1, p. 73-80, 2003.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. GEA Niro analytical methods. Disponível em: <http://www.niro.com/methods>. Acesso em: 12 de dezembro de 2014.

//GENOVESE, M.I.; PINTO, M.D.S.; GONCALVES, A.E.D.S. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v. 14, n. 3, p. 207-214, 2008.

GIRALDO-ZUNIGA, A. D.; ARÉVALO-PINEDO, A.; SILVA, A. F.; SILVA, P. F.; VALDES-SERRA, J. C.; PAVLAK, M. C. M. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 179 – 182, 2010.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II - The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n.1, p.35-42, 2005.

GOUVEIA, D. S.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; QUEIROZ, A. J. de M.; UGULINO, S. M. P. Avaliação físico-química e aceitação sensorial do suco de pinha e do blend pinha-leite. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 29-36, 2007.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. **Drying Technology**, v. 26, n. 6, p. 726-737, 2008.

GRATÃO, A. C. A. **Termofluidodinâmica de sucos de frutas pseudoplásticos em dutos cilíndricos e ânnulos concêntricos**. 2006. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

GUIMARÃES, A. G.; OLIVEIRA, C. M.; VIEIRA, G.; PINTO, N. A. V. D. Qualidade físicas e químicas de morango passa em diferentes embalagens. **Engenharia na agricultura**, v. 22, n. 4, p. 306-316, 2014.

GURJÃO, K. C. de O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**. 2006. 165p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

GURJÃO, K. C. de O.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. de A. C.; BRUNO, R. de L. A.; PEREIRA, W. E. Cinética de secagem da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma (“foam-mat drying”). 2008. In: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura. 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture. 2008, Vitória. **Anais...**, Vitória: CBF, 2008. CD-Rom.

HENDERSON, S.M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 2, p. 1167–1172, 1974.

HIEN, P.H., TAM, N.H., XUAN, N.V. Study on the reversal timing for the sra reversible dryer In: **Seminar on “Agricultural Engineering and Agro-products Processing towards Mechanization and Modernization in Rural Areas”**, Nong-Lam University, HoChiMinh City, China, 2003.

HOFSETZ, K. **Propriedades físicas e transições de fase da banana nanica submetida à secagem com pulso HTST (inicial)**. 2007. 237f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

HOJO, E.T.D.; CARDOSO, A.D.; HOJO, R.H.; BOAS, E.V.B.V.; ALVARENGA, M.A.R. Uso de películas de fécula de mandioca e PVC na conservação pós-colheita de pimentão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 184-190, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 de março de 2012.

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

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, S. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 8, p. 1626–1632, 2010.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservations**, v. 35, n. 4, p. 488-495, 2011.

KADAM, D.M., WILSON, R.A.; MANISHA, S. K. Influence of foam mat drying on quality of tomato powder. **International Journal of Food Properties**, v. 15, n. 1, p. 211–220, 2012.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, V.; CHADHA, S.; KAUSHIK, P.; KAUR, S.; PATIL, R. T.; RAI, D. R. Physicochemical and microbial quality evaluation of foam-mat-dried pineapple powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 8, p. 1654–1659, 2012.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MALADHI, D. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2526-2534, 2012.

KAMPF, N.; GONZALEZ, M. C.; CORRADINI, M. G.; PELEG, M. Effect of two gums on the development, rheological properties and stability of egg albumen foams. **Rheologica Acta**, v. 42, n. 3, p. 259–268, 2003.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KHA, T.C.; NGYEN, M. H.; ROACH, P.D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 3, p. 385-392, 2010.

KHRAISHEH, M. A. M.; McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. **Food Research International**, v. 37, n. 5, p. 497-503, 2004.

KINGSLEY, R. P.; GOYAL, R. K.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, n. 1, p. 65-69, 2007.

KOROISHI, E. T.; BOSS, E. A.; MACIEL, R. M. W.; MACIEL FILHO, R. Process development and optimization for freeze-drying of natural orange juice. **Journal of Food Process Engineering**, v. 32, n. 3, p. 425–441, 2009.

KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of Yogurt Powder Using Foam-Mat Drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, p. 166-171, 2012.

KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. **Canadian biosystems engineering**, v. 48, p. 327-332, 2006.

KULKARNI, S.G.; VIJAYANAND P. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L.). **LWT - Food Science Technology**. v. 43 n. 7, p. 1026-1031, 2010.

KUROZAWA, L. E. **Efeito das condições de processo na cinética de secagem de cogumelo (*Agaricus blazei*)**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 115-123, 2003.

LAVELLI, V. Combined effect of storage temperature and water activity on the antiglycoxidative properties and color of dehydrated apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 24, p. 11491–11497, 2009.

LEE, S. H.; LABUZA, T. P. Destruction of ascorbic acid as a function of water activity. **Journal of Food Science**, v. 40, n. 2, p. 370-373, 1975.

LEMOS, E. E. P. A produção de anonáceas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. especial, p. 77 – 85, 2014.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUSA, P. H. M. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 107-109, 2004.

LIMA, E. M. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. DE M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216-221, 2012.

LOUREIRO, M. N. **Desidratação da polpa de buriti e armazenamento do produto seco**. 2006, 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

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

MAEDA, R. N.; ANDRADE, J. S. Aproveitamento do camu-camu (*Myrciaria dubia*) para produção de bebida alcoólica fermentada. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 3, p. 489-498, 2003.

MAEDA, R. N.; PANTOJA, L.; YUYAMA, L. K. O.; CHAAR, J. M. Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 313-316, 2007.

MAIA, A. B. R.; GOLGHER, M. Parâmetros para Avaliação da Qualidade de Reconstituição do Leite em pó Desidratado em Secador de Aspersão ("*Spray-Drier*"). **Boletim SBCTA**, v. 17, n. 3, p. 235-254, 1983.

MARCELLINI, P. S.; CORDEIRO, C. E.; FARAONI, A. S.; BATISTA, R. A.; RAMOS, A. L. D.; LIMA, A. S. Comparação físico-química e sensorial da atemóia com a pinha e a graviola produzidas e Comercializadas no estado de Sergipe. **Alimentos e Nutrição**, v. 14, n. 2, p. 187-189, 2003.

MARTINS, P. C. **Estudo da influência de uma fase lipídica na aglomeração de pós alimentícios**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MASKAN, M. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 337-341, 2002.

MASSOLI, M. R.; BRANCO, I. G.; ALCÂNTARA, L. M. Cinética de secagem da polpa de (*syzygium cumini*) pelo método de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD.

MANICA, I. Taxonomia, morfologia e anatomia. In: SÃO JOSÉ, A. R.; SOUZA, I. V. B.; MORAIS, O. M.; REBOUÇAS, T. N. H. **Anonáceas, produção e mercado** (pinha, graviola, atemóia e cherimóia). Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1997. p. 20-35.

MANICA, I.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, K. P.; OLIVEIRA, M. A. S.; CUNHA, M. M.; OLIVEIRA JUNIOR, M. E.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ALVES, R. T.; MANICA, I. (Ed.). **Frutas Anonáceas: ata ou pinha, atemólia, cherimólia e graviola. tecnologia de produção, pós-colheita, mercado.** Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003. 596 p.

MEDEIROS, J. **Secagem e armazenamento de polpa de mangaba.** 2007. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007.

MEDEIROS, P. V. Q.; MENDONÇA, V.; MARACAJÁ, P. B.; AROUCHA, E. M. M.; PEREIRA, R. G. Physical-chemical characterization of atemóia fruit in different maturation stages. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 87-90, 2009.

MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 243-253, 2010.

MELO, K. S.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Colour of melon pulp during the drying process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2008, Foz do Iguaçu, **Anais....**, Foz do Iguaçu – PR, 2008. CD-Rom.

MELO, K. S. **Secagem por aspersão da polpa de atemoia.** 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

MENEZES, A. R. V.; SILVA JÚNIOR, A.; CRUZ, H. L. L.; ARAÚJO, D. R.; SAMPAIO, D. D. Estudo comparativo do pó da acerola verde (*malphigia emarginata* d.c) obtido em estufa por circulação de ar e por liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2009.

MONZELLE, G. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto.** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; VAZQUEZ, M. J.; CAMEAM, P. Sorption isotherms of turnip top leaves and stems in the temperature range from 298 to 328K. **Journal de Food Engineering**, v. 71, n. 2, p. 193-199, 2005.

MOREIRA, G.E.G. **Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MOREIRA, J. S. A.; SOUZA, M. L.; NETO, S. E. A.; SILVA, R. F. Estudo da estabilidade microbiológica e físico-química de polpa de cupuaçu desidratada em estufa. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 26-32, 2011.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isothermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093–1098, 2013.

MOSCA, J. L.; CAVALCANTE, C. E. B.; DANTAS, T. M. **Características botânicas das principais anonáceas e aspectos fisiológicos de maturação**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 28 p. (Documentos, 106).

MOSCA, J. L.; LIMA, G. P. P. **Desenvolvimento de Frutos de Atemóia (*Annona cherimola* L. x *Annona squamosa* L.) cv. Gefner**. Disponível em: [http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo\\_1577.pdf](http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_1577.pdf). Acesso em: 29 Março 2012.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 1, p. 72–78, 2010.

MOURA, S. C.; BERBARI, S.A.; GERBER, S. P. M.; ALMEIDA, M. E. M.; FEFIM, D.A. Determinação de vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de alimentos**, v. 27, n. 1, p. 141-148, 2007.

MOURA, S. M. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

NEVES, C. S. V. J.; YUHARA, E. N. Caracterização dos frutos de cultivares de atemoia produzidos no norte do Paraná. **Semina**, v. 24, n. 2, p. 311-314, 2003.

NIJDAM, J.J.; LANGRISH, T.A.G.; The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 919- 952, 2006.

O'HAGAN, P.; HASAPIDIS, K.; CODER, A.; HELSING, H.; POKRAJAC, G. Particle size analysis of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton, Taylor & Francis, 2005, p. 215-245.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, V. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MOURA NETO, L. G. Isotermas de adsorção de sapoti liofizado: determinação Experimental e avaliação de modelos matemáticos. In: V CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. Maceió. **Anais...** Maceió: CONNEPI, 2010. CD-Rom.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 342-348, 2011.

OLIVEIRA, G. S. **Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos alimentos e processos.** Porto Alegre: Artmed. 2005, 294p. vol.1.

OSÓRIO, C.; CARRIAZO, J. G.; BARBOSA, H. Thermal and structural study of guava (*Psidium guajava* L) powders obtained by two dehydration methods. **Química Nova**, v. 34, n. 4, p. 636-640, 2011.

OZKAN, M.; KIRCA, A.; CEMEROGLU, B. Effects of hydrogen peroxide on the stability of ascorbic acid during storage in various fruit juices. **Food Chemistry**, v. 88, n. 4, p. 591-597, 2004.

PAGANI, M. M. **Obtenção de suco de acerola (*malpighia emarginata* d.c.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização.** 2010. 183 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PANCHARIYA, P.C., POPOVIC, D. & SHARMA, A.L. Thinlayer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349–357, 2000.

PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 993-1000, 2010.

PEÑA, L. M. R. **Estudo da instantaneização de misturas contendo cacau em pó por aglomeração com jato de vapor.** 2003, 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M. Q.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2006.

PEREIRA, L.M. **Influência da Desidratação Osmótica com Aditivos na Estrutura Celular e na Manutenção da Qualidade de Goiabas**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersãoimpregnação. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

PICON, C.A.; ALMEIDA, E.F.; OLIVEIRA, N.T.C.; GUASTALDI, A.C. Caracterização de superfícies de titânio irradiadas com laser Nd: YAG e depositadas com hidroxiapatita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Brasil, 2006. CD.

PILON, L.; OETTERER, M.; GALLO, C.R.; SPOTO, M.H.F. Shelh life of minimally processed carrot and green pepper. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 150-158, 2006.

PINA, M. G. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; MONTEIRO, J. C. S. Processamento e conservação de manga por métodos combinados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 63-66, 2003.

PINTO A. C. CORDEIRO, M. C. R.; ANDRADE, S. R. M. **Annona species**. 2005. 268 f. Monograph (International Centre for Underutilized Crops) University of Southampton. Southampton, UK, 2005.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana L.*) com diferentes aditivos visando à secagem em leite de espuma**. 2009, 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

POLICARPO, V. M. N.; BORGES, S. V.; ENDO É.; DE CASTRO, F. T.; DAMICO A. A.; CAVALCANTI, N. B. Estabilidade da cor de doces em massa de polpa de umbu (*Spondias tuberosa arr. cam.*) no estágio de maturação verde. **Ciência Agrotécnica**. v. 31 n. 4, p. 1102-1107, 2007.

PRADO, M. E. T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera* L.) para a obtenção de tâmara passa**. 1998. 149f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spraydried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386–392, 2007.

RAHARITSIFA, N.; GENOVES, D. B.; RATTI, C. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 3, p. 142-151, 2006.

RAHARITSIFA, N.; RATTI, C. Foam-mat freeze-drying of apple juice part 1: experimental data and ann simulations. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, n.1, p. 268–283, 2010.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G.S.V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1452–1459, 2007.

RAMOS, A.M.; QUINTERO, A.C.F.; FARAONI, A.S.; SOARES, N.F.F.; PEREIRA, J.A.M. Effect of packing type and storage time on the physical-chemical and microbiological quality of dehydrated pineapple. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 259-269, 2008.

RANGANA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetable products**. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company, 1979. 634p.

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. **Drying Technology**, v. 24, n. 9, p. 1101–1108, 2006.

RIGHETO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização.** 2003. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2003.

ROCHA, C. T. **Obtenção de suco misto de açaí, morango e acerola em pó por diferentes processos de secagem.** 2003. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ROCHA, C. T.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARTORI, M. A.; MACIEL, K. S.; SARAIVA S. H.; SILVA, P. I. Preparo de polpa de frutas para secagem em leite de espuma. **Nutrire: revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição.** v. 38, n. suplemento, p. 453, 2013.

RODRIGUES, A.C.C. **Estudo da desidratação osmótica com aditivos e do acondicionamento sob atmosfera modificada de pedaços de mamão formosa.** 2005. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RODRIGUEZ-HERNANDEZ, G. R.; GONZÁLEZ-GARCÍA, R.; GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M. A. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology**, v. 23, n. 4, p. 955-973, 2005.

ROESLER, R. Atividade antioxidante de frutos do savanna. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 109-118, 2007.

RONCHETI, E. F. S.; JUNQUEIRA, M. S.; SARAIVA, S. H.; PIZZANI, L. A.; RUSCIOLELLI, L. B. Cinética e modelagem da secagem de cenoura (*Daucuscarota*) em leite espuma em secador de bandejas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD-ROM.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leite de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; SILVEIRA, M.R.S.; MOURA, C.F.H. Quality for fresh consumption and processing of some non-traditional tropical fruits from Brazil. **Fruits**, v. 64, n. 6, p. 361-370, 2009.

SAHIN-NADEEM, H.; DINÇER, C.; TORUN, M.; TOPUZ, A.; ÖZDEMİR, F. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

SÁNCHEZ, H. M. G.; PALOMARES, S. G.; REYES, T. R. Caracterización de compuestos volátiles durante el secado por aspersión de jugo de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.). **Investigación y Ciencia**, v. 19, n. 51, p. 10-15, 2011.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 37, n. 1, p. 217-525, 2004.

SANTANA, M. F. S.; GASPARETTO, C. A. Microestrutura da fibra alimentar do albedo de laranja: um estudo por técnicas físicas e análise de imagens. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 124-134, 2009.

SANTIAGO, V. M. S.; MOURA, R. L.; SOUSA, S. F.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação da qualidade do mix de polpa de mamão com cenoura em pó. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. 3., 2013, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CBPFH. CD.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum Technology**. v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

SANTOS, B. S.; BARRETTO, L. C. O.; SANTOS, J. A. B.; SILVA, G. F. Obtenção, liofilização e caracterização de extrato de capim-limão (*cymbopogon citratus* d.c.) e hibisco (*hibiscus sabdariffa* l.). **Revista Geintec**. v. 3, n. 5, p.9 0-99, 2013.

SARABANDI, K.; PEIGHAMBARDoust, S. H.; SHIRMOHAMMADI, M. Physical properties of spray dried grape syrup as affected by drying temperature and drying aids. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**. v. 7, n. 12, p. 928-934, 2014.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVESI, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001, 215p.

SARON, E. S.; DANTAS, S. T.; MENEZES, H.C.; SOARES, B. M. C; NUNES, M. F.; Estabilidade sensorial de suco de maracujá pronto para beber acondicionado em latas de aço. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 772-778, 2007.

SCHRAND, A. M. Polymer sample preparation for electron microscopy. **Microscopy and Microanalysis**, v. 11, n. 2, p. 702-703, 2005.

SCHUBERT, H. Food particle technology. Part I: properties of particles and particles food systems. **Journal of food engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-30, 1993.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA - SEAGRI. Disponível em: <http://www.seagri.sefin.ro.gov.br>. Acesso em: 29 de março de 2011.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de caramolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p.536-545, 2005.

SIERRA, D. M.; ROSA, N. N.; GABAS, A. L. Influencia de Maltodextrina na atomização da poupa de manga em spray dryer. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 15., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2007. 1 CD ROM

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1179-1184, 2005.

SILVA, T. G. F. **Zoneamento agroclimático do estado da Bahia para a cultura da atemoia (*Annona cherimola* Millx *Annona squamosa* L.)**. 2006. 113f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SILVA, F. A. S. & AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.

SILVA, Y. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. C. A.; GUEDES, M. A. Análise sensorial da polpa e do suco de cajá obtidos pela reidratação de cajá em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2007.

SILVA, J. C. G.; CHAVES, M. A.; SÃO JOSÉ, A. R.; REBOUÇAS, T. N. H.; ALVES, J. F. T. A influência da cobertura morta sobre características físicas e químicas de frutos da pinha (*annona squamosa* l.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 287-291, 2007.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Dehydration of tamarind pulp through the foam–mat drying method. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SILVA, A. V. C.; ANDRADE, D. G.; YAGUIU, P.; CARNELOSSI, M., A. G.; MUNIZ, E. N.; NARAIN, N. Uso de embalagem e refrigeração na conservação de atemóia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 300-304, 2009.

SILVA, V. K. L.; PINHEIRO, É. S.; DOMINGUES, M. A. F.; AQUINO, A. C.; FIGUEIREDO, E. A.; COSTA, J. M. C.; CONSTANT, P. B. L. Efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 55-66, 2010.

SILVA, A. V. C.; MUNIZ, E. N. Qualidade de atemóia colhida em dois estádios de maturação. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 9-13, 2011.

SILVA, G. M. C. **Preservação da qualidade pós-colheita de atemoia com uso do 1-mcp**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

SILVA FILHO, E. D. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa da manga cv. haden em pó, pelo método de secagem em camada de espuma** 2012. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

SINGH, R. K.; LUND, D. B. Kinetics of ascorbic acid degradation in stored intermediate moisture apples. In: MACKENNA, B. M. **Engineering Sciences in the Food Industry**. Amsterdam: Elsevier, 1984. v. 1, p. 389- 404.

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

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*eugenia stipitata* mc vaugh) em leite de espuma**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SOBRINHO, R. B. Potencial de exploração de Anonáceas no nordeste do Brasil, 13 a 16 de setembro de 2010. In: 17ª SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 2010, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: FRUTAL, 2010. CD-Rom.

SOLVAL K. M., SUNDARARAJAN, S., ALFARO, L., SATHIVEL S. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. **Food Science technology**, v. 46, n. 1, p. 287-293, 2012.

SOUZA NETO, M. A. DE; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W. DE; SOUZA FILHO, M. DE S. M. DE; LIMA, A. DA S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processo. **Ciência agrotécnica**, v. 29, n. 5, p. 1021-1028, 2005.

SOUZA, J. S.; ARAÚJO, V. P. U.; PEDRINI, M. R. S.; ROCHA, S. C. S.; MEDEIROS, M. F. D.; SOUZA JR, F. E. Estudo comparativo das propriedades físicas e físico químicas de um mix de polpa in natura e a polpa reconstituída. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUIMICA, 47., 2007, Natal. **Anais...** Natal: CBEA, 2007. CD-ROM..

SOUZA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V.; AZEVEDO, A. D. Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 807-814, 2008.

SOUZA, J. S. **Secagem de misturas da polpa de frutas tropicais em leite de jorro**. 2009. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*theobroma grandiflorum*)**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; CRUZ, C. S. A.; GOMES, J. P.; ALMEIDA, F. A. C. Parâmetros físicos e físico-químicos da atemóia 'gefner' em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 15, n. 4, p. 329-334, 2013.

STADLER, Zecliz. **Determinação do Teor de Vitamina C em Alimentos**. Curitiba, 2008. 27 f. Monografia (Curso de Especialização em Ensino de Química Experimental), Universidade Federal do Paraná, 2008.

SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubus idaeus*). **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 460-467, 2009.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. revisada e ampliada. - Campinas: **Nepa- Unicamp**, 2011. 161 p.

TANAKA, D. L. **Influência da desidratação por spray drying sobre o teor ácido ascórbico no suco de acerola (*Malpighia* spp)**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2007.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 573–583, 2008.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. **Food Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 348-357, 2012.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? **Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 220, n. 1, p. 235-260, 2003.

TODISCO, K. M. **Polpa de siriguela (*spondias purpurea* L.) em pó atomizada: caracterizações físicas, físico-químicas, compostos bioativos e avaliação do comportamento higroscópico**. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

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

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; DEL PINO, F. A. B.; ANTUNES, P. L. Determinação das constantes cinéticas de degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 18-23, 2008.

UCHOA , A. M.A. ; COSTA J. M. C., MAIA, G. A., SILVA, E. M. C., CARVALHO, A.F. F. U., MEIRA, T. R Parâmetros Físico-Químicos, Teor de Fibra Bruta e Alimentar de Pós Alimentícios Obtidos de Resíduos de Frutas Tropicais. **Segurança Alimentar e Nutrição**, v. 15, n. 2, p. 58-65, 2008.

UDDIN, M. S.; HAWLADER, M. N.; ZHU, H. J. Microencapsulation of ascorbic acid: effect of process variables on product characteristics. **Journal of Microencapsulation**, v. 18, n. 2, p. 199-209, 2001.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN, A. I. **Food dehydration**. 2. ed. Westport: The Avi Publishing, 1964. v. 2, 721 p.

VIANA JÚNIOR, N. M. **Farinha de banana madura - processo de produção e aplicações**. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2010.

VIDAL, J. R. M. B.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I; MASSON, M. L. Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. **Ciências e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 955-960, 2006.

VIGANÓ, J.; AZUARA, E.; TELIS, V. R. N.; BERISTAIN, C. I.; JIMÉNEZ, M.; TELISROMERO, J. Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. **Thermochimica Acta**, v. 528, n. 20, p. 63–71, 2012.

VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E.; CONDEZO-HOYOS, L. A.; ASQUIERI, E. R. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 151-160, 2010.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n.3, p. 666-671, 2006.

VITALI, A. A.; QUAST, D. G. **Vida de prateleira de alimentos**. In: Reações de Vida-de-prateleira de Alimentos Processados. ITAL, 3ª ed., Campinas, 49-58p, 2004.

YAMASHITA, F.; MIGLIORANZA, L. H. S.; MIRANDA, L. A.; SOUZA, C. M. A. Effects of packaging and temperature on postharvest of atemoya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 658-660, 2002.

YU, L. Amorphous pharmaceutical solids: preparation, characterization and stabilization. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 48, n. 1, p. 27-42, 2001.

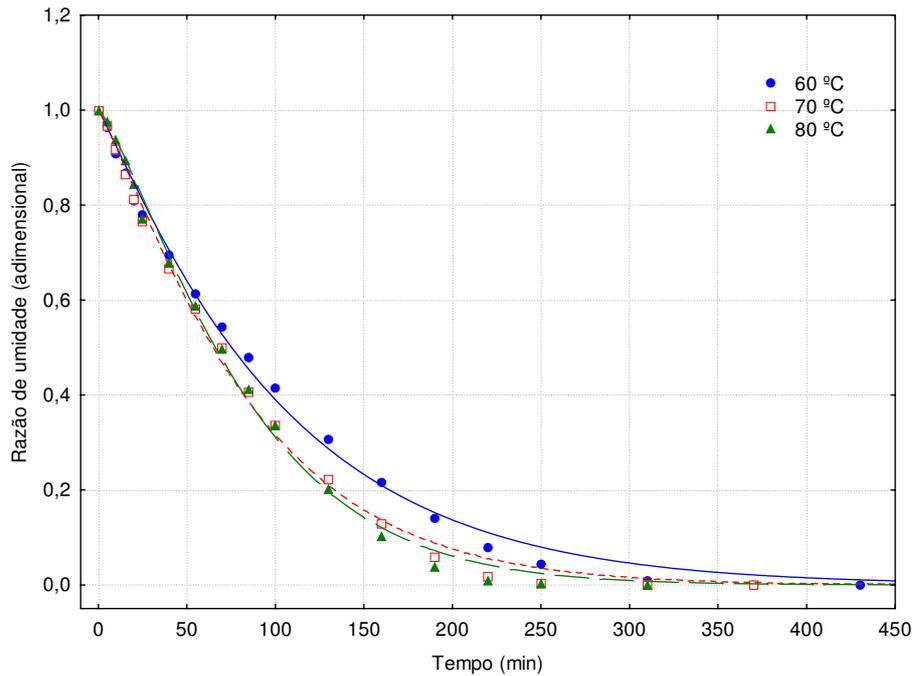
WANG, S.Y.; ZHENG, W. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 51, n. 2, p.873-878, 2003.

WALTON, D.E. The morphology of spray-dried particles a qualitative view. **Drying Technology**, v. 18, n. 9, p. 1943-1986, 2000.

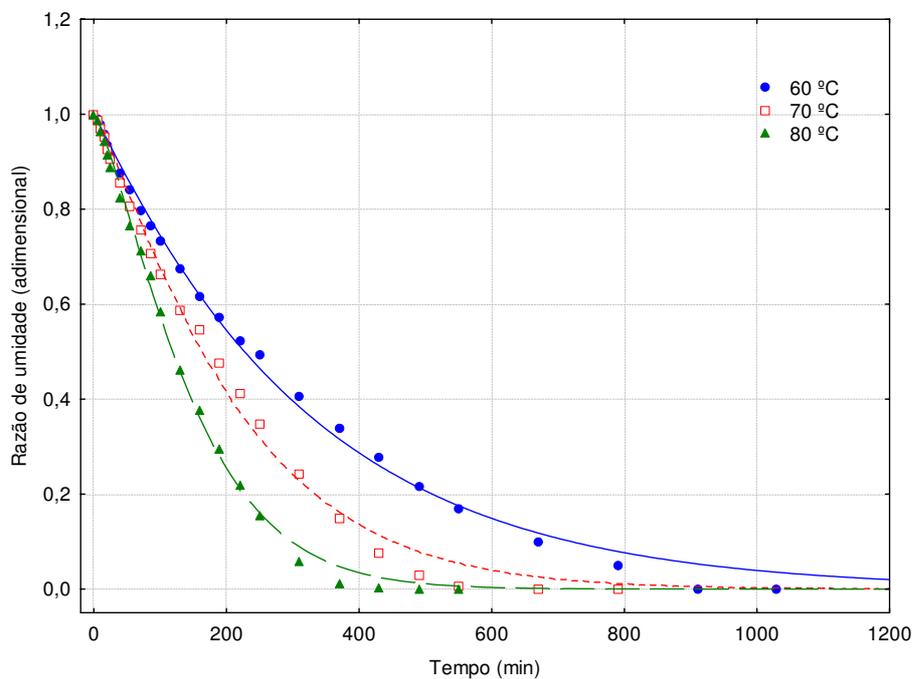
WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G. B.; MINEKUS, M. From Food Structure to Texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, n. 12, p. 442-450, 2000.

**ZURITZ, C. A. Estudos sobre a desidratação de suco de uva pelo processo de secagem em camada de espuma (Foam mat drying).** 1976. 118 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1976.

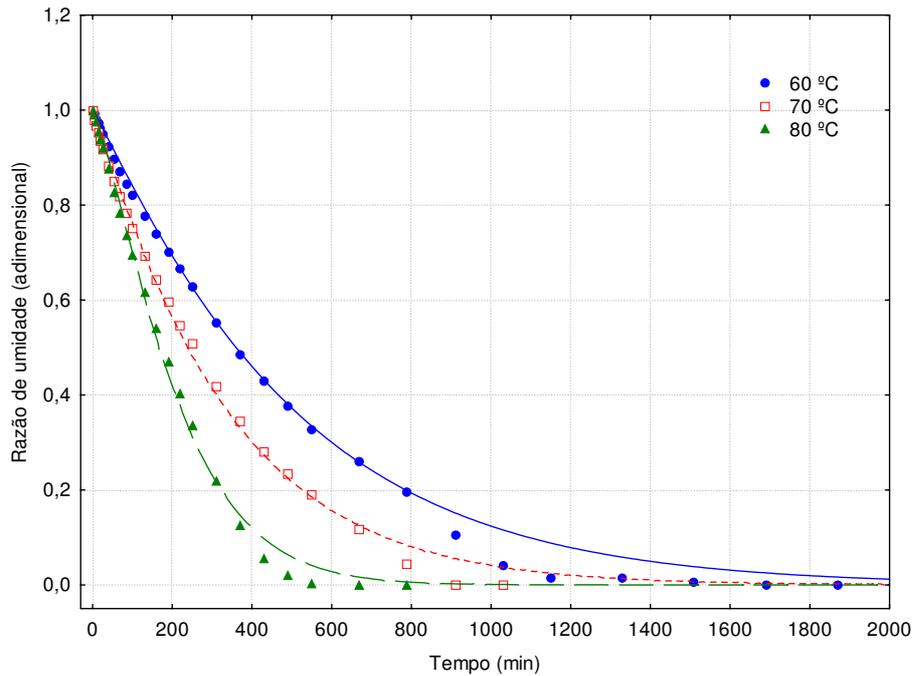
## **APÊNDICE A**



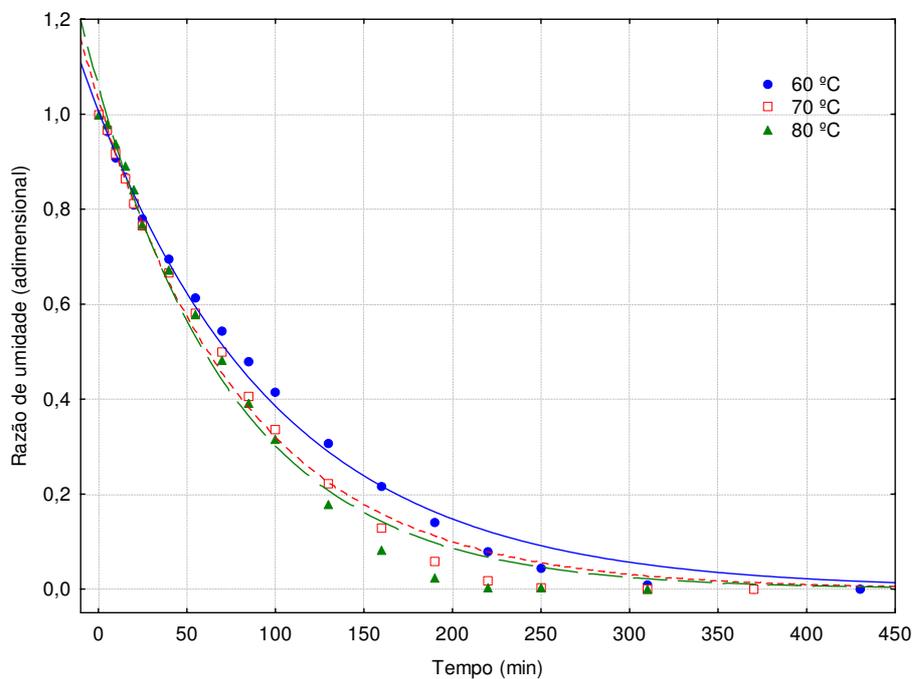
**Figura A.1** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 0,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Page



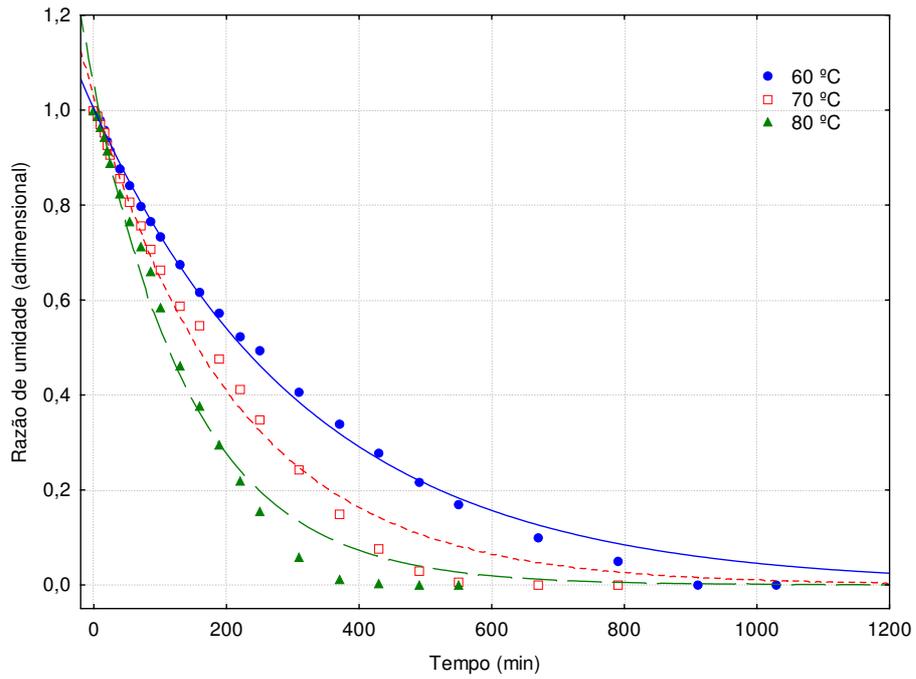
**Figura A.2** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,0 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Page



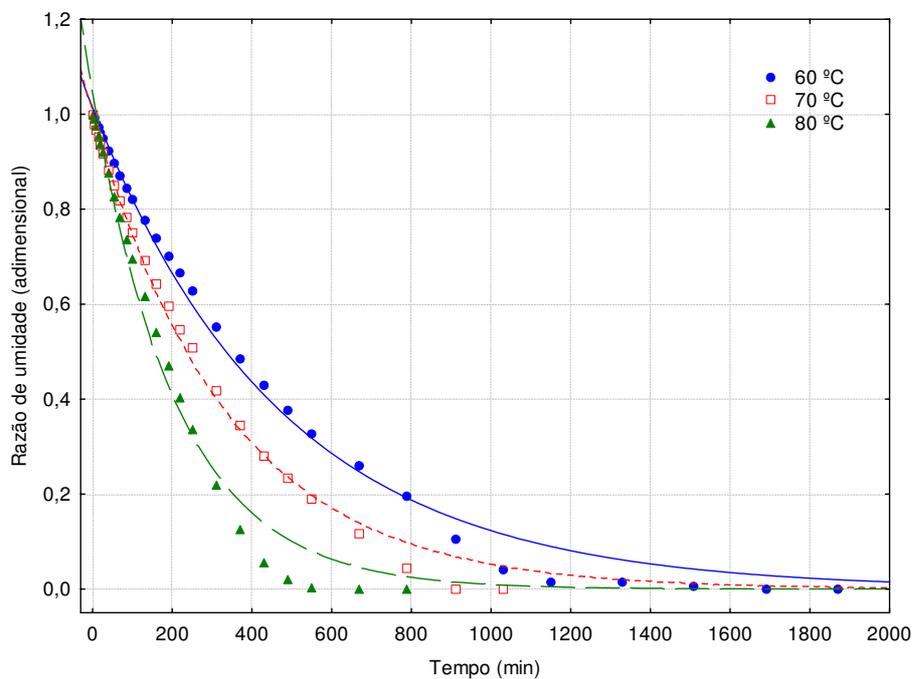
**Figura A.3** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Page



**Figura A.4** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 0,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

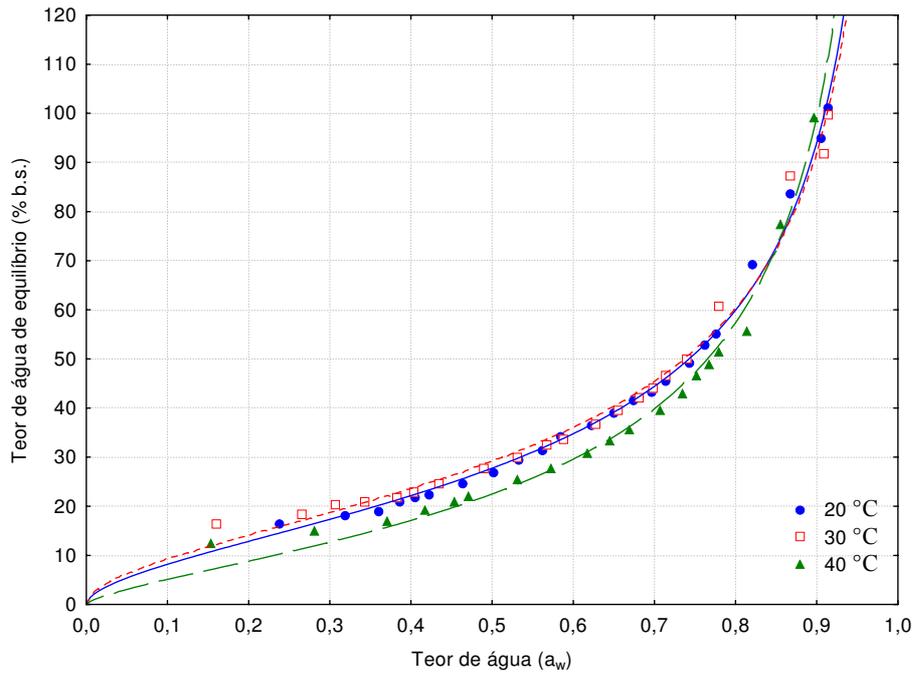


**Figura A.5** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,0 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

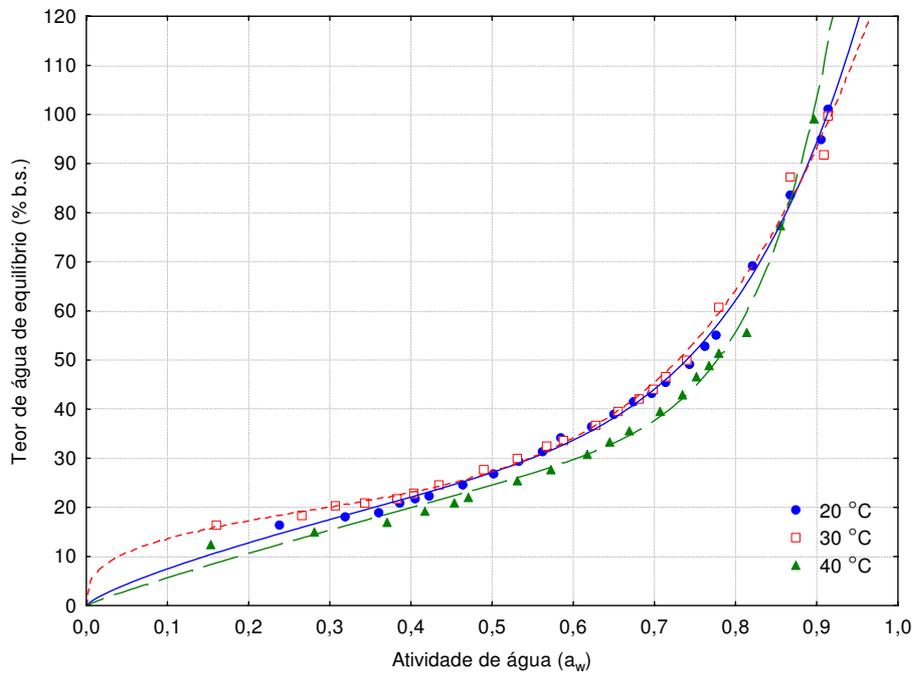


**Figura A.6** – Curvas de secagem em camada de espuma da emulsão com 2% de Emustab, 2% de liga neutra e tempo de batimento de 20 min, na espessura da camada de 1,5 cm para três diferentes temperaturas de secagem com ajustes pelo modelo de Henderson & Pabis

## **APÊNDICE B**



**Figura B.1** - Isotermas de adsorção de água em diferentes temperaturas das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, com ajustes pelo modelo de Oswin



**Figura B.2** - Isotermas de adsorção de água em diferentes temperaturas das amostras em pó produzidas a partir do Experimento 4, com ajustes pelo modelo de Peleg