



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



## **DISSERTAÇÃO**

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

**SECAGEM DE POLPA DO FRUTO DO MANDACARU**

**KARLA DOS SANTOS MELO**

**Campina Grande - Paraíba  
NOVEMBRO - 2008**

# **SECAGEM DA POLPA DO FRUTO DO MANDACARU**

**KARLA DOS SANTOS MELO**

**Dissertação 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 Mestre 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 - Paraíba**

**NOVEMBRO - 2008**

DIGITALIZAÇÃO:  
SISTEMOTECA - UFCG

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M528s

2008 Melo, Karla dos Santos.

Secagem da polpa do fruto do mandacaru / Karla dos Santos Melo.  
— Campina Grande, 2008.  
132 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

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

*Mandacaru*  
1. *Cereus jamacaru*. 2. Secagem em camada de espuma. 3. Suco em pó. 4. Reologia. 5. Isotermas. I. Título.

CDU- 634.775(043)



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



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

KARLA DOS SANTOS MELO

SECAGEM DE POLPA DO FRUTO DO MANDACARU

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo  
Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo – Orientadora

Aprovada com distinção

Alexandre José de Melo Queiroz  
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz – Orientador

Aprovada com distinção

Patricia Moreira Azoubel  
Dra. Patricia Moreira Azoubel – Examinadora

Aprovada com distinção

Josivanda B. Gomes  
Dra. Josivanda Palmeira Gomes – Examinadora

Aprovada com distinção

NOVEMBRO - 2008

## *AGRADECIMENTOS*

A Deus, por me acompanhar e me dar forças quando muitas vezes quis fraquejar.

A meus pais, por terem participado de perto de tudo que vivi, por terem me ouvido, ajudado, dando- força e carinho, por me amarem.

A minhas irmãs Débora, Kalina e Karen, por dividirem comigo os bons e maus momentos desta caminhada.

A meus sobrinhos Amanda, Gustavo e Ana Carolina, que são meus pequenos amores.

A Sebastião, pelo companheirismo, compreensão, carinho e dedicação, e pela felicidade de tê-lo perto de mim neste momento.

A todos da minha família que sempre me acompanham e torcem por mim, em especial a Tia Antonina, Tia Socorro e Marcelo, por contribuírem diretamente para a realização deste trabalho.

A todos os meus mestres com os quais tive a oportunidade de conviver e aprender, em especial a esse três grandes professores que me ensinaram muito e tiveram paciência de me encaminhar nesta profissão, que amo tanto: Prof<sup>ª</sup>. Rossana, Prof<sup>ª</sup>. Josívanda e Prof. Alexandre.

A todos os amigos que se dispuseram a ensinar e, com sua presença, sempre me fortalecera, sobretudo a Tânila e Conceição, fundamentais nesta jornada.

A Capes, pela bolsa concedida.

À Universidade Federal de Campina Grande, por me permitir momentos tão importantes e de grande satisfação.

*A todos vocês, meu*

*Muito Obrigada!!!*

*E ainda se vier noite traiçoeira  
Se a cruz pesada for,  
Cristo estará contigo  
O mundo pode até fazer você chorar  
Mas Deus te quer sorrindo...  
(Padre Marcelo Rossi)*

## **DEDICÁTORIA**

A meus pais, *Manuel Batista e Estefânia*, por serem minha vida, meu alicerce, meu exemplo de vida e caráter.

Por serem os maiores guerreiros desta vitória!!

**AMO MUITO VOCÊS!!**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>I</b>
1.1 - Objetivos .....	3
1.1.1 – Objetivo geral .....	3
1.1.2 - Objetivos específicos .....	3
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1 – Mandacaru .....	4
2.2 – Secagem .....	8
2.2.1 - Secagem em camada de espuma ( <i>foam-mat drying</i> ) .....	9
2.2.1.1 - Estado da arte .....	10
2.2.2 - Cinética de secagem .....	14
2.3 – Propriedades físicas que influenciam na secagem em camada de espuma ..	15
2.3.1 – Densidade .....	15
2.3.2 – Viscosidade .....	16
2.4 - Isotermas de adsorção de umidade .....	19
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1 - Matéria-prima .....	22
3.1.1 - Obtenção da polpa do mandacaru .....	22
3.2 – Caracterização da polpa integral do fruto de mandacaru .....	25
3.2.1 - Caracterização química e físico-química .....	25
3.2.1.1 – pH .....	25
3.2.1.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix) .....	25
3.2.1.3 – Umidade e sólidos totais .....	25
3.2.1.4 – Acidez total titulável .....	26
3.2.1.5 – Açúcares redutores .....	26
3.2.1.6 – Cinzas .....	26
3.2.1.7 – Pectina .....	26
3.2.1.8 – Sólidos insolúveis em água .....	26

3.2.1.9 – Ácido ascórbico .....	26
3.2.1.10 – Proteína .....	27
3.2.2 – Caracterização física .....	27
3.2.2.1 – Cor .....	27
3.2.2.2 – Densidade .....	27
3.2.2.3 – Comportamento reológico .....	27
3.3 – Seleção da formulação .....	29
3.3.1 – Densidade da espuma .....	30
3.3.2 – Expansão volumétrica .....	30
3.3.3 – Estabilidade da espuma .....	31
3.3.4 – Análise estatística .....	31
3.4 – Características químicas e físico-químicas da formulação selecionada .....	32
3.5 - Secagem em camada de espuma .....	32
3.5.1 – Cinética de secagem .....	33
3.6 - Caracterização físico-química das amostras em pó .....	34
3.6.1 – Análise estatística .....	35
3.6.2 - Isotermas de adsorção de umidade .....	35
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
4.1 – Caracterização da polpa do fruto do mandacaru .....	38
4.1.2 – Comportamento reológico .....	40
4.2 – Seleção da formulação .....	44
4.2.1 – Densidade da espuma .....	44
4.2.2 – Expansão volumétrica .....	46
4.2.3 – Estabilidade da espuma .....	48
4.3 – Caracterização físico-química da espuma selecionada .....	50
4.4 – Secagem em camada de espuma .....	52
4.4.1 - Influência da espessura da camada .....	52
4.4.2 - Influência da temperatura .....	54
4.4.3 – Modelos matemáticos .....	56
4.5 – Caracterização físico-química e física da polpa do fruto do mandacaru em pó .....	62
4.5.1 – pH .....	62
4.5.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix) .....	64

4.5.3 – Umidade .....	65
4.5.4 – Acidez total titulável .....	68
4.5.5 – Ácido ascórbico .....	69
4.5.6 – Cinzas .....	71
4.5.7 - Açúcares redutores .....	72
4.5.8 – Proteína .....	74
4.5.9 – Luminosidade .....	75
4.5.10 - Intensidade de vermelho .....	77
4.5.11 - Intensidade de amarelo .....	78
4.6 – Isotermas de adsorção de umidade .....	80
<b>5 – CONCLUSÕES .....</b>	<b>92</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE E .....</b>	<b>129</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1 -</b>	Mandacaru (Fonte: MUNIZ, 2005) .....	4
<b>Figura 2.2 -</b>	Fruto do mandacaru (A), e fruto do mandacaru partido ao meio (B) (Fonte: A -FRUTAS EXÓTICAS DO BRASIL, 2007; B - AUTOR) .....	5
<b>Figura 2.3 -</b>	<i>Cereus peruvianus</i> (A), fruto do <i>Cereus peruvianus</i> (B) e caixa de para exportação (C) prontas para serem distribuídas na Europa (Fonte: A - KIRBY, 2002; B e C - MIZRAHI et al., 2002) .....	7
<b>Figura 2.4 -</b>	Pitaya vermelha (Fonte: MIZRAHI et al., 2002) .....	7
<b>Figura 3.1 -</b>	Fluxograma das etapas realizadas do processamento para obtenção da polpa do fruto do mandacaru .....	23
<b>Figura 3.2 -</b>	Fruto do mandacaru .....	23
<b>Figura 3.3 -</b>	Processo de despulpamento do fruto do mandacaru .....	24
<b>Figura 3.4 -</b>	Prensa hidráulica .....	24
<b>Figura 3.5 -</b>	Polpa integral do fruto do mandacaru, sem semente, congelada .....	25
<b>Figura 3.6 -</b>	Sistema de medição da estabilidade da espuma .....	31
<b>Figura 4.1 -</b>	Viscosidade aparente (mPa s) da polpa integral do fruto do mandacaru em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C .....	41
<b>Figura 4.2 -</b>	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk .....	44
<b>Figura 4.3 -</b>	Volume da espuma (cm <sup>3</sup> ) em função do tempo de batimento (min) para as formulações contendo diferentes concentrações de extrato de soja .....	47
<b>Figura 4.4 -</b>	Volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%) com ajuste pela equação quadrática .....	50
<b>Figura 4.5 -</b>	Cinética de secagem da Formulação n° 1 a 70 °C para as diferentes espessuras da camada de espuma .....	53
<b>Figura 4.6 -</b>	Cinética de secagem da Formulação n° 1 a 80 °C para as diferentes espessuras da camada de espuma .....	53

<b>Figura 4.7 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 a 90 °C para as diferentes espessuras da camada de espuma .....	54
<b>Figura 4.8 –</b>	Cinéticas de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm nas diferentes temperaturas .....	55
<b>Figura 4.9 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm nas diferentes temperaturas .....	55
<b>Figura 4.10 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm nas diferentes temperaturas .....	56
<b>Figura 4.11 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata .....	58
<b>Figura 4.12 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata .....	60
<b>Figura 4.13 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata .....	62
<b>Figura 4.14 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	84
<b>Figura 4.15 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 80 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	87
<b>Figura 4.16 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 90 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de GAB .....	90
<b>Figura A.1 -</b>	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo de Casson .....	115

<b>Figura A.2 -</b>	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo da Lei da Potência .....	116
<b>Figura A.3 -</b>	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley .....	116
<b>Figura B.1 –</b>	Volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de batimento (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%) com ajuste pela equação linear .....	118
<b>Figura C.1 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Page .....	120
<b>Figura C.2 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Page .....	120
<b>Figura C.3 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Page .....	121
<b>Figura C.4 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Henderson & Pabis .....	121
<b>Figura C.5 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Henderson & Pabis .....	122
<b>Figura C.6 –</b>	Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Henderson & Pabis .....	122
<b>Figura E.1 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 70 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de GAB .....	130
<b>Figura E.2 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 70 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Oswin .....	130

<b>Figura E.3 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 80 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de GAB .....	131
<b>Figura E.4 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 80 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Oswin .....	131
<b>Figura E.5 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 90 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Oswin .....	132
<b>Figura E.6 -</b>	Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 90 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	132

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1 -</b>	Caracterização físico-química da polpa e da casca do fruto do mandacaru .....	5
<b>Tabela 2.2 -</b>	Composição centesimal aproximada (g/100 g) e valor calórico total (kcal/100 g) das sementes do fruto do mandacaru .....	6
<b>Tabela 3.1-</b>	Concentrações dos aditivos utilizados nas formulações testadas elaboradas com a polpa integral do fruto do mandacaru .....	30
<b>Tabela 3.2-</b>	Atividade de água das soluções saturadas de sais a 20 °C .....	36
<b>Tabela 4.1 -</b>	Caracterização físico-química da polpa do fruto do mandacaru ...	38
<b>Tabela 4.2 -</b>	Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) da polpa integral do fruto do mandacaru .....	43
<b>Tabela 4.3 –</b>	Valores médios da densidade da espuma ( $g/cm^3$ ) das diferentes formulações em função da concentração de extrato de soja e do tempo de batimento .....	45
<b>Tabela 4.4 -</b>	Equações de regressão propostas para o cálculo do volume coletado do líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%) .....	48
<b>Tabela 4.5 -</b>	Caracterização físico-química e física da espuma selecionada (Formulação nº1) .....	52
<b>Tabela 4.6 –</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas .....	57
<b>Tabela 4.7 –</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas .....	59
<b>Tabela 4.8 –</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas .....	61

<b>Tabela 4.9</b> –	Valores médios do pH da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	64
<b>Tabela 4.10</b> –	Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	65
<b>Tabela 4.11</b> –	Valores médios da umidade (% b.u.) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	66
<b>Tabela 4.12</b> –	Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	69
<b>Tabela 4.13</b> –	Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	70
<b>Tabela 4.14</b> –	Valores médios das cinzas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	72
<b>Tabela 4.15</b> –	Valores médios dos açúcares redutores (% glicose) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	73
<b>Tabela 4.16</b> –	Valores médios da proteína (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	74
<b>Tabela 4.17</b> –	Valores médios da luminosidade (L*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	76
<b>Tabela 4.18</b> –	Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	78

<b>Tabela 4.19 –</b>	Valores médios da intensidade de amarelo (+b*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma .....	79
<b>Tabela 4.20 –</b>	Valores médios da umidade de equilíbrio da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm) .....	81
<b>Tabela 4.21 –</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma .....	82
<b>Tabela 4.22 –</b>	Valores médios da umidade de equilíbrio da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 80 °C com diferentes espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm) ...	85
<b>Tabela 4.23 –</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) desidratada a 80 °C com diferentes espessuras da camada de espuma .....	86
<b>Tabela 4.24 –</b>	Valores médios da umidade de equilíbrio da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) desidratada a 90 °C, com diferentes espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm) ...	88
<b>Tabela 4.25 –</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) desidratada a 90 °C, com diferentes espessuras da camada de espuma .....	89
<b>Tabela A.1 -</b>	Valores médios da viscosidade aparente, tensão de cisalhamento (mPa) e taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa integral do fruto do mandacaru na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm) .....	115

<b>Tabela B.1 -</b>	Análise de variância dos valores médios da densidade das espumas das diferentes formulações em função da concentração de extrato de soja e diferentes tempos de batimento .....	118
<b>Tabela D.1 -</b>	Análise de variância dos valores médios do pH da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	124
<b>Tabela D.2 -</b>	Análise de variância dos valores médios da umidade (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	124
<b>Tabela D.3 -</b>	Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	125
<b>Tabela D.4 -</b>	Análise de variância dos valores médios ácido ascórbico (mg/100g) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	125
<b>Tabela D.5 -</b>	Análise de variância dos valores médios das cinzas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	126
<b>Tabela D.6 -</b>	Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores (% glicose) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	126
<b>Tabela D.7 -</b>	Análise de variância dos valores médios das proteínas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	127
<b>Tabela D.8 -</b>	Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	127

<b>Tabela D.9 -</b>	Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo ( $b^*$ ) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação n° 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	128
<b>Tabela D.10 -</b>	Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho ( $a^*$ ) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação n° 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma .....	128



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



Dissertação de Mestrado: **Secagem da polpa do fruto do mandacaru**

Autora: **Karla dos Santos Melo**

Orientadores: **Prof. Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

**Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

### RESUMO

Realizou-se este trabalho com o objetivo de desidratar a polpa do fruto do mandacaru pelo processo de secagem em camada de espuma e avaliar o produto em pó obtido. Inicialmente, foram testadas várias formulações para produção de espuma estável compostas de polpa do fruto do mandacaru, e diferentes tipos de concentrações de aditivos. Com base na análise dos parâmetros expansão volumétrica, densidade da espuma e estabilidade da espuma selecionou-se, como a melhor formulação, a composta de polpa do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra, com um tempo de batimento de 5 min. A polpa do fruto do mandacaru e a espuma selecionada foram caracterizadas quanto aos parâmetros físico-químicos e físicos. A espuma selecionada foi desidratada em estufa com circulação de ar forçada, a 70, 80 e 90 °C, com três diferentes espessuras da camada da espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm). Com os dados obtidos durante o processo de secagem foram traçadas as curvas de secagem e ajustados os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata. O material em pó obtido ao final do processo foi caracterizado físico-quimicamente e fisicamente, com a finalidade de se avaliar a influência dos parâmetros: temperatura de secagem e espessura da camada de espuma. Determinaram-se as isotermas de adsorção de umidade das amostras em pó na temperatura de 20 °C e ajustaram-se os modelos de GAB, Oswin e Peleg aos dados experimentais das isotermas. A partir dos resultados obtidos neste trabalho verificou-se que a polpa do fruto do mandacaru integral é ácida, rica em pectina e é um fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico sendo seu reograma melhor estimado pelo modelo de Mizrahi-Berk. A formulação selecionada apresentou densidade da espuma igual a 0,1566 g/cm<sup>3</sup> e os aditivos presentes na espuma influenciaram as características da polpa integral. A secagem da formulação foi influenciada pela espessura da camada da espuma e pela temperatura de secagem, sendo o processo mais rápido para as menores espessuras e temperaturas mais elevadas. O modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor se ajustou às curvas de cinética de secagem das espumas. O modelo que se ajustou melhor, de maneira geral, aos dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade da polpa do fruto do mandacaru em pó, desidratada a 70 e 80 °C foi o de Peleg e, para as amostras desidratadas a 90 °C, o de GAB. As isotermas de adsorção das amostras em pó produzidas a 70, 80 e 90 °C, foram classificadas como sendo do Tipo II, exceto para as amostras secas com 0,5 cm de espessura da camada de espuma a 80 °C que é do Tipo III.

**Palavras-chave:** *Cereus jamacaru*, secagem em camada de espuma, suco em pó, reologia, isotermas



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



Dissertação de Mestrado: **Secagem da polpa do fruto do mandacaru**

Autora: **Karla dos Santos Melo**

Orientadores: **Profª. Drª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

**Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

### ABSTRACT

This work was carried out in order to dehydrate the *mandacaru* pulp and to evaluate the obtained powder product. Initially, several formulations were tested for the production of stable foam composed by *mandacaru* pulp as well as several types and concentrations of additive. Based on the analysis of the volumetric expansion, foam density and stability, the composed of *mandacaru* pulp with albumin (2%) and *Super Liga Neutra* (2%), with a 5-minute whipping time, was selected as the best formulation. The *mandacaru* pulp and the selected foam were characterized according to their physiochemical and physical parameters. The selected foam was dried in oven with air circulation at 70, 80 and 90 °C, with three different foam layer thickness (0.5; 1.0 and 1.5 cm). The drying curves followed Page's, Henderson & Pabis's and Cavalcanti Mata's models. The sample powder was analyzed physical-chemically and physically, in order to evaluate the influence of the drying temperature and foam layer thickness parameters. The moisture adsorption isotherms of the sample powder were determined at 20 °C. The GAB, Oswin and Peleg models were the ones that best fit the isotherms. It was verified that the whole *mandacaru* pulp is acid, rich in pectin and a pseudoplastic non-newtonian fluid. The Mizrahi-Berk model was the one that best fit the rheograms. The selected formulation presented a foam density of 0.1566 g/cm<sup>3</sup> and the additive present in the foam influenced the characteristics of the whole pulp. The foam drying was influenced by the foam thickness and temperature of drying. The fastest process occurred in the lowest thickness in a higher temperature. The kinetics drying curves fit best with Cavalcanti Mata's model. The model that fit best with the *mandacaru* powder moisture adsorption isotherms dried at 70 and 80 °C was the Peleg and, for the samples dried at 90 °C, the GAB model fit best. The moisture adsorption isotherms of the powder samples dried at 70, 80 and 90 °C were classified as Type II, except for the samples dried with a 0.5 cm foam-layer thickness dried at 70 and 80 °C, which were classified as Type III.

---

**Key words:** *Cereus jamacaru*, foam mat drying, powder juice, rheology, isotherms

## 1 - INTRODUÇÃO

A família Cactaceae tem aproximadamente 125 gêneros e 1.900 espécies, ocorrendo nas regiões tropicais e temperadas do continente americano, distribuídas em uma ampla variedade de habitats, desde regiões áridas até florestas úmidas (HUNT & TAYLOR, 1990; ARECES, 2004). No Brasil estão registradas 160 espécies pertencentes a 32 gêneros, dentre as quais 80 espécies subordinadas a 18 desses gêneros, ocorrem na região Nordeste (BARROSO et al., 1978; BARBOSA et al., 1996).

No Brasil se destacam os programas de incentivo ao estudo da flora com vistas à agricultura e pecuária, especialmente com o objetivo de promover o desenvolvimento da região Nordeste que frequentemente, sofre com períodos de seca e fome. Esta região tem como um dos símbolos o mandacaru, um cacto colunar cujos frutos são muito apreciados na alimentação humana e cujas hastes são utilizadas para a alimentação do gado (ARAGÃO et al., 2000).

O mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) é abundante na região Nordeste do Brasil, sendo encontrado na Bahia, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas e Sergipe, desde o nível do mar até 900 m de altitude. É invasor de áreas úmidas e já foi encontrado em Santa Catarina e em São Paulo. Os frutos são elipsóides, com 5 a 12 cm de comprimento e 7 a 12 cm de diâmetro, alaranjado ou vermelho-claro, polpa branca, aroma suave, comestível e doce (SCHEINVAR, 1985). Apesar do potencial do mandacaru para ser utilizado como forragem e dos frutos como alimento, poucos estudos foram feitos para ajudar a explorar seus potenciais (COSTA et al., 2001).

O fruto do mandacaru é um produto perecível, com curta vida útil, recomendando-se que seja submetido a um processamento para que possa atingir mercados consumidores mais distantes. Uma das possíveis alternativas para o aproveitamento dos frutos do mandacaru é a secagem ou desidratação. Este tipo de processo é muito utilizado para a preservação de alimentos pois diminui a disponibilidade da água para reações de deterioração dos produtos, aumenta a estabilidade dos mesmos e reduz seu volume, facilitando o transporte e armazenamento (SHIGEMATSU et al., 2005).

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se tem: a facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos a temperatura ambiente por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; economia de energia, por não necessitar de refrigeração, e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001).

Além disso, há contribuição da secagem no setor agroindustrial quanto à minimização de perdas pós-colheita, assim como a função de agregar valor ao produto final deve ser ressaltada (PARK et al., 2006).

A desidratação, além de ser utilizada como método de conservação, objetiva também o refinamento do alimento, tendo-se como consequência a inserção de um novo produto no mercado o que, usualmente, vem motivando os investimentos de produção e beneficiamento agrícola, face aos benefícios econômicos que derivam da transformação do produto (UNIFEM, 1989).

Uma das opções para a secagem de polpa de frutas é a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) que é um processo simples que consiste, basicamente no preparo do purê concentrado na forma de espuma estável que, distribuída em uma camada fina, é submetida a uma corrente de ar quente até a desidratação final (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

As principais vantagens da técnica de secagem em camada de espuma quando comparada com outros métodos de secagem, como a secagem por aspersão (*spray drying*) ou a secagem em tambor rotativo (*drum-drying*) são: a utilização de temperaturas menores e um tempo menor de secagem. Essas vantagens podem ser atribuídas à maior área de superfície exposta ao ar de secagem, o que acelera o processo de remoção da umidade (BRYGIDYR et al., 1977).

## 1.1 - Objetivos

### 1.1.1 – Objetivo geral

Este trabalho foi realizado com o objetivo principal de se estudar a transformação da polpa do fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) em um produto em pó, utilizando o processo de secagem em camada de espuma.

### 1.1.2 - Objetivos específicos

- Caracterizar, física e fisico-quimicamente, a polpa do fruto do mandacaru;
- Elaborar e selecionar uma formulação composta da polpa do fruto do mandacaru e de diferentes concentrações dos aditivos comerciais extrato de soja, albumina e super liga neutra;
- Caracterizar, física e fisico-quimicamente, a formulação selecionada;
- Desidratar a formulação selecionada através do método de secagem em camada em espuma, com diferentes temperaturas de secagem (70, 80 e 90 °C) e espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm), avaliando as cinéticas de secagem;
- Caracterizar, física e fisico-quimicamente, as amostras em pó;
- Determinar as isotermas de adsorção de umidade das amostras em pó na temperatura de 20 °C.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

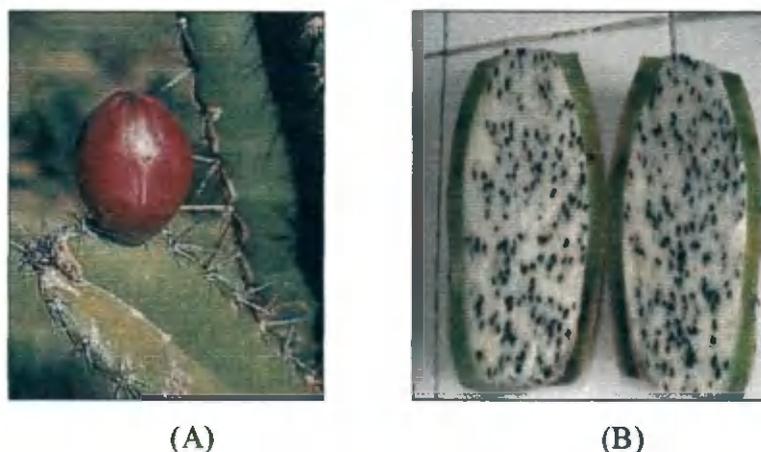
### 2.1 - Mandacaru

O Nordeste do Brasil tem a maior parte de seu território ocupada por uma vegetação xerófila, de fisionomia e florística variada, denominada “caatinga”. Fitogeograficamente, a caatinga ocupa cerca de 11% do território nacional, abrangendo os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Minas Gerais. Na cobertura vegetal das áreas da região Nordeste, a caatinga representa cerca de 800.000 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 70% da região (DRUMOND et al., 2000).

O mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) é uma cactácea (Figura 2.1), com mais de 3 metros de altura, caule espinhoso, rico em água, com flores grandes e brancas. Pouco exigente quanto ao tipo de solo e resistente à falta de chuva por períodos prolongados, tem o caule servido como alimento para o gado. Os frutos do mandacaru (Figura 2.2) podem atingir cerca de 12 centímetros de diâmetro, com uma baga elipsoidal que, quando maduro, apresenta casca na cor vermelho vivo, lembrando a cor do jambo de variedades mais escuras. Tem polpa branca com inúmeras sementes, as quais se assemelham em tamanho às sementes de kiwi e são igualmente crocantes. A polpa se desprende inteira da casca após o corte, tem aroma e sabor delicados e peculiares e embora se constitua em uma riqueza potencial para regiões secas não tem exploração comercial sendo, quando muito, utilizada para elaboração de doces e geléias (OLIVEIRA et al., 2004; RIZZINI & MORS, 1995).



Figura 2.1 - Mandacaru (Fonte: MUNIZ, 2005)



**Figura 2.2** - Fruto do mandacaru (A), e fruto do mandacaru partido ao meio (B) (Fonte: A – MEIO AMBIENTE, 2007; B - AUTOR)

Na Tabela 2.1 se apresentam as características físico-químicas da polpa e da casca do mandacaru.

**Tabela 2.1** - Caracterização físico-química da polpa e da casca do fruto do mandacaru

Parâmetro	Casca	Polpa
pH	4,33	4,52
Sólidos solúveis totais (°Brix)	6,23	12,17
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,46	0,21
Umidade (%)	87,54	93,77
Ácido ascórbico (mg/100g)	-	1,48
Açúcares redutores (% glicose)	2,79	9,54
Cinzas (%)	0,49	0,27

Fonte: OLIVEIRA et al. (2004)

De acordo com COELHO et al. (2004), as sementes do fruto do mandacaru constituem uma significativa fonte de carboidratos e proteínas, com teores nutricionalmente interessantes para alimentação humana e animal.

Tem-se, na Tabela 2.2 é apresentada a composição centesimal aproximada (g/100g) e o valor calórico total (kcal/100 g) das sementes do fruto do mandacaru.

**Tabela 2.2** - Composição centesimal aproximada (g/100 g) e valor calórico total (kcal/100 g) das sementes do fruto do mandacaru

Parâmetro	Valores médios
Umidade (%)	9,35
Resíduo mineral fixo (%)	2,35
Proteínas (N x 6,25) (%)	17,29
Lipídios (%)	5,39
Carboidratos totais (%)	65,61
Cinzas (%)	0,49
Valor calórico total (kcal/100g)	380,16

Fonte: COELHO et al. (2004)

Uma espécie muito similar ao *Cereus jamacaru* P. DC. é a *Cereus peruvianus* (L.) Miller (Figura 2.3), atualmente explorada em desertos de Israel. Esta espécie é conhecida como “apple cactus”, também denominada Koubo; é originária da costa subtropical do sudoeste da África do Sul e bastante utilizada como planta ornamental (MIZRAHI & NERD, 1999). Está sendo introduzida para cultivo em Israel dentro da estrutura de programas para desenvolvimento de novas culturas apropriadas para o deserto de Negev (MIZRAHI et al., 2002; NERD et al., 1993). Esta planta também é colunar com muitos ramos; suas hastes podem carregar espinhos de vários tamanhos e comprimentos; as frutas são lisas, totalmente sem espinhos, de tamanho médio, cuja cor da casca varia do amarelo ao vermelho com vários tons, com polpa branca, aroma delicado e gosto agridoce; as sementes são pretas e envolvidas na polpa porém são macias e comestíveis e lembram as do kiwi (Figura 2.4). Israel foi o primeiro país a vender este fruto no mercado interno e na Europa (Figura 2.5), empregando esforços para introduzi-lo nos mercados dos Estados Unidos e Austrália. Esta planta pode ter outras utilidades industriais em virtude dos polissacarídeos que podem ser extraídos de suas hastes (ALVAREZ et al., 1992).

## 2.2 – Secagem

Como a comercialização de frutas está restrita à sua época de safra e geralmente a perecibilidade é alta, necessita-se de unidades de processamento que possam abastecer o mercado consumidor na entressafra. Uma das técnicas que podem ser utilizadas é a secagem, com a finalidade de transformar a polpa de fruta em pó. Neste caso, tem-se um armazenamento prolongado com maior estabilidade e longevidade do produto, podendo o consumidor ter acesso ao mesmo durante o ano todo e não apenas no período de safra da fruta (RODRIGUES et al., 2005).

A vida útil pós-colheita de alguns frutos é muito curta, quando em temperatura ambiente e colhida madura. Na polpa de fruta seca se elimina este inconveniente, com a vantagem de se poder manter o material em temperatura ambiente sem os gastos necessários para a conservação a frio. A polpa seca, processada na forma de pó, apresenta, em geral, fácil reconstituição em água, possibilidade de formulação com outros produtos e baixa relação volume/massa, com conseqüente economia em custos de embalagem e espaço de armazenamento (ALEXANDRE et al., 2007).

A secagem, além de ser utilizada como método de conservação impedindo a deterioração e perdas do valor comercial, resulta ainda em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado. Este método permite que o produto obtido tenha maior vida de prateleira devido à redução da atividade de água, o que é associado à redução no custo do transporte e armazenamento em razão da leveza e compactação, combinadas com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química dos alimentos (FELLOWS, 2006).

A secagem de produtos agrícolas pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção da umidade excessiva contida no interior do produto por meio da evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento por longos períodos de tempo (AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999).

Segundo PARK (1987), a evolução dessas transferências simultâneas de calor e de massa no curso da operação está esquematicamente dividida em três períodos: (1) período de indução ou período, até entrar em regime operacional; (2) período de secagem a taxa constante e (3) período de secagem a taxa decrescente.

Uma vez que o produto é colocado em contato com o ar quente, ocorre transferência de calor do ar ao produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor entre o ar e a superfície do produto, determina uma transferência de massa para o ar. Esta última se faz na forma de vapor de água e uma parte do calor que chega ao produto é utilizada para vaporizar a água (ALMEIDA et al., 2002). Conforme SHIGEMATSU et al. (2005), se a temperatura de secagem não for bem controlada pode provocar alterações indesejáveis na aparência, cor, textura e no conteúdo de nutrientes do produto final.

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se tem: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente durante longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do peso; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001). Além de ajudar a prolongar a vida-de-prateleira, diminui o peso do produto para o transporte e o espaço necessário para o armazenamento (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

A secagem é apontada como um dos procedimentos mais importantes para a diminuição da atividade de água ( $a_w$ ) (GABAS, 1998). A diminuição da quantidade de água disponível no material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o período de pós-colheita. A conservação pela secagem se baseia no fato de que, tanto os micro-organismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem, serão reduzidos a atividade de água, a velocidade das reações químicas no produto e o desenvolvimento de micro-organismos (CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974).

O tipo de secagem a ser utilizado depende, dentre outros fatores, do produto a ser desidratado, da sua constituição química e das características físicas do produto final desejado (CUNNINGHAN, 1982).

### **2.2.1 - Secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*)**

Tem-se, dentre as técnicas empregadas para transformação de polpa de frutas em pó, tem-se o processo de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) que consiste, basicamente, de três etapas: (1) produção do suco ou polpa em forma de uma espuma

estável, utilizando-se aditivos; (2) secagem do material em camada fina até desidratação final; (3) e desintegração da massa seca em escamas obtendo-se o pó (UBOLBI, 1971; TRAVAGLINI et al., 2001).

A secagem em camada de espuma consiste em um processo de conservação através do qual o material líquido ou semilíquido é transformado em uma espuma estável por meio de batidura e incorporação de ar ou outro gás, que é submetida à secagem com ar aquecido, até o ponto em que impeça o crescimento de micro-organismos, reações químicas e/ou enzimáticas. É um método relativamente simples e barato que se vale da utilização de agentes cuja finalidade é manter a espuma estável durante o processo. Dentre as vantagens deste método, se destacam as menores temperaturas de desidratação e o menor tempo de secagem, devido à maior área de superfície exposta ao ar e à velocidade de secagem, acelerando o processo de remoção de água e a obtenção de um produto poroso e de fácil reidratação. Esta técnica é aplicada em muitos alimentos sensíveis ao calor, como os sucos de fruta (KARIM & CHEE-WAI, 1999).

As espumas são sistemas termodinamicamente instáveis, que apresentam uma estrutura tridimensional constituída de células gasosas envolvidas por um filme líquido contínuo. Essa estrutura se origina do agrupamento de bolhas geradas, ao se dispersar um gás em um líquido que contenha agentes espumantes, como emulsificantes solúveis ou impurezas (FIGUERÊDO et al., 1999). Durante a secagem a espuma deve permanecer estável, visto que, de acordo com LABELLE (1966), a contração da espuma é um fenômeno indesejável pois, acumula líquido na superfície dificultando a remoção do produto seco da bandeja.

O pó produzido pela secagem resulta em um material com características peculiares, diferentes daquelas próprias da polpa líquida e, em tal apresentação, precisa ser analisado, visando estabelecer suas propriedades, que têm influência no valor nutricional, na qualidade, nas variadas etapas de processamento e embalagem e no armazenamento. Fazem parte dessas características o conteúdo de ácido ascórbico, umidade, pH, densidade, tempo de escoamento, ângulo de repouso e molhabilidade (CHITARRA & CHITARRA, 2005; CIABOTTI et al., 2000; MEDEIROS, 2001).

### **2.2.1.1 - Estado da arte**

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

características químicas e físico-químicas das frutas, este método tem suas particularidades para cada produto.

Vários tipos de aditivo são utilizados no processo de secagem em camada de espuma para estabilizar a espuma. SILVA et al. (2005a), ao trabalharem com a polpa de umbu-cajá desidratada em estufa com circulação de ar a 70 °C utilizaram para a formação da espuma, uma mistura de emulsificantes, estabilizantes e espessantes, obtendo uma umidade no pó entre 16 e 17%. Esses pesquisadores também avaliaram a estabilidade do pó acondicionado em embalagens de polietileno de baixa densidade e em embalagem laminada, durante 60 dias de armazenamento em temperatura ambiente, e constataram, após este período, um teor de ácido ascórbico de 90,6 mg/100 g e 91,6 mg/100 g, respectivamente, superior ao da laranja.

SOARES et al. (2001) também secaram a polpa de acerola em estufa com circulação de ar a 70 °C utilizando para obtenção da espuma, os aditivos 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), com tempo de batimento de 20 min resultando em uma espuma com densidade de 0,51 g/cm<sup>3</sup> e um pó com umidade de 7,2%, após um tempo de secagem de 90 min.

DZAZIO et al. (2006) desidrataram batata yacon (*Polyommia sonchifolia*) em estufa com circulação de ar a 60 °C durante 16 h, e obtiveram um pó com 6,21% de umidade utilizando os aditivos Emustab (1%), carragena (1%) e Liga Neutra (1%), em um tempo de batimento de 20 min.

BASTOS et al. (2005) estudaram a desidratação da polpa de manga cv Tommy Atkins em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 70 e 85 °C misturando, à polpa, 0,02% de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,5% de Tween 60 (estabilizante de espuma), batendo os ingredientes durante 10 min e utilizando, na secagem, uma espessura da camada da espuma de 0,5 cm; esses autores verificaram que a temperatura afetou consideravelmente a taxa de secagem da polpa de manga e a umidade dos produtos secos; a secagem foi mais rápida a 85 °C (150 min), o que permitiu obter um produto seco com umidade menor (0,72%) quando comparado com a amostra seca a 70 °C, que resultou em um tempo de secagem de 240 min e umidade de 5,26%. Conforme relatado, testes prévios à secagem da polpa de manga também foram feitos com a adição de carboximetilcelulose, goma xantana e clara de ovo; entretanto, a melhor estabilidade da espuma foi obtida com o Tween 60. Os resultados das análises físico-químicas indicaram que houve alterações na composição das amostras com

o processo de secagem, embora as características das amostras secas nas duas temperaturas tenham sido semelhantes. Em relação à análise sensorial (testes de diferença e preferência) os refrescos produzidos com as polpas desidratadas foram diferentes dos obtidos com a polpa *in natura* e este último foi preferido pelos provadores. O refresco produzido com a polpa desidratada a 70 °C obteve maior índice de aceitabilidade do que com a polpa desidratada a 85 °C indicando que a temperatura mais elevada indicou efeito adverso maior sobre os componentes da polpa de manga.

ALEXANDRE (2005), ao avaliar a desidratação da polpa de pitanga pelo processo de secagem em camada de espuma, elaborou uma formulação do produto a ser desidratado utilizando emulsificante e estabilizante à base de monoglicerídeos destilados, monoesterato de sorbina e polisorbato 60, e de espessante à base de carboximetil-celulose e goma guar; referida essa formulação foi homogeneizada em batedeira doméstica até formar uma espuma com densidade média de 0,5 g/cm<sup>3</sup>. O material foi desidratado em estufa com circulação de ar forçado, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com tempos de secagem aproximados de 8, 5 e 4 horas, respectivamente. Este autor observou que, após a secagem a umidade da amostra em pó seca a 70 °C foi de 20,40%, e o teor de ácido ascórbico de 32,91 mg/100 g.

GURJÃO (2006) ao testar a desidratação em camada de espuma da polpa de tamarindo observou que o extrato em pó do tamarindo é, em média, cinco vezes mais concentrado que a polpa e que os melhores atributos de qualidade (vitamina C, cor e pH) foram obtidos com a secagem da polpa a 60 e 70 °C. Utilizou-se como dispersante e promotor de espuma um composto protéico à base de albumina (Advanced Nutrition) na concentração de 5%. A densidade média da espuma se manteve entre 0,45 e 0,50 g/cm<sup>3</sup>. As amostras foram colocadas em placas de Petri (diâmetro = 10 cm) com uma altura da camada da espuma, de aproximadamente 0,5 cm, sendo submetidas a desidratação em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. Os tempos de secagem da polpa de tamarindo formulada foram de aproximadamente de 2,5, 3,0, 3,4 e 4,5 horas quando submetida às temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente.

RAHARITSIFA et al. (2006) submetem o suco clarificado de maçã a secagem com a adição de várias concentrações de 2 tipos de emulsificante, uma proteína (albumina de ovo em pó - 0,5; 1; 2 e 3%) e um polissacarídeo (metilcelulose - 0,1; 0,2; 0,5; 1 e 2%), e diferentes tempos de batimento (3, 5 e 7 minutos) 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.

RAJKUMAR et al. (2007) realizaram experimentos com a desidratação da polpa de manga nas temperaturas de 60, 65, 70 e 75 °C, utilizando misturas dos aditivos albumina do ovo (5, 10 e 15%) com metilcelulose (0,5%) e três espessuras da camada da espuma 1, 2 e 3 mm, em esteira de Teflon. Com base em análises estatísticas os autores observaram que a maior retenção dos componentes bioquímicos foi obtida para a temperatura de secagem de 60 °C, com a formulação com 10% de albumina de ovo e 0,5% de metilcelulose, para uma espessura da espuma de 1 mm e constataram 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 75 minutos, respectivamente.

A desidratação da polpa de tamarindo pelo processo de secagem em camada de espuma foi avaliada por VERNON-CARTER et al. (2001) utilizando três tipos de agentes espumantes: ovalbumina em pó (1%), goma mesquita (3%) e uma mistura de ingredientes (0,5%) de baixo peso molecular (Span 60 - monoesterato sorbitan; Tween 80 - polixialquileno derivado do mono-oleato sorbitan) em diferentes combinações totalizando 7 tipos de amostras. As formulações foram batidas a 25 °C a uma rotação de 4600 rpm. As secagens das formulações foram feitas a 50 °C durante 2 h, com espessura da camada da espuma entre 1,5 e 2,0 mm. As curvas de secagem sofreram influência das diferentes combinações dos agentes espumantes (formulações), notando-se que o início do tempo crítico de secagem ocorreu de maneira diferente para cada tratamento. Esses autores também verificaram que a viscosidade aparente da espuma foi influenciada pela combinação dos aditivos. O material em pó foi avaliado sensorialmente e se verificou que, em termos gerais, as combinações binárias resultaram em tamarindo em pó com melhor sabor.

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, então, que a formulação com a concentração de 0,4% da solução de Methocel foi a emulsão mais estável; a partir daí, referidos estes 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. Esta alteração da cor foi atribuída ao escurecimento não-enzimático e/ou à caramelização dos açúcares que ocorre no processo de secagem.

### 2.2.2 - Cinética de secagem

O conhecimento do conteúdo inicial e final (equilíbrio) de umidade do material da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície, possibilita fundamentar o fenômeno da secagem (BROD et al., 1999).

A curva típica de secagem, também denominada cinética de secagem, representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem. Esta curva é obtida pesando-se o produto durante a secagem em determinada condição. O conteúdo de umidade do produto é expresso em base seca em relação à evolução do tempo de secagem (PARK et al., 2001).

Os métodos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de diferentes modos dependendo do período de secagem considerado. No período de secagem a taxa constante, as transferências de calor e de massa na interface ar-produto governam a secagem e fixam sua velocidade, enquanto no período taxa decrescente, as transferências internas é que são limitantes. O período de taxa decrescente de secagem é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nesta fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (PARK et al., 2004).

Existem, na literatura, vários modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem de produtos alimentícios, dentre os quais se tem: Cavalcanti Mata, Henderson & Pabis e Page.

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.

GURJÃO (2006) ajustou os modelos de Page e de Henderson & Pabis às curvas de secagem em camada de espuma da polpa de tamarindo obtidas nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, encontrando valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,96.

As curvas de cinética de secagem do figo (*Ficus carica*), determinadas nas temperaturas de 55, 65, 75 e 85 °C e velocidades do ar de secagem de 0,5, 1 e 2 m/s, também foram ajustadas com o modelo de Henderson & Pabis, tendo-se encontrado coeficientes de determinação acima de 0,99 (BABALIS et al., 2006).

CARVALHO et al. (2007) ajustaram os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata às curvas de secagem, determinadas a 70 °C, da polpa de umbu-cajá com adição de 15% de amido modificado (Snow-flake®) e espessura da camada de 0,6 cm, encontrando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,99, 0,97 e 0,95, respectivamente.

## 2.3 – Propriedades físicas que influenciam na secagem em camada de espuma

### 2.3.1 - Densidade

Para a secagem em camada de espuma, a densidade da espuma é um dos principais parâmetros que devem ser avaliados em razão desta propriedade estar relacionada com formação de uma espuma estável.

A densidade de líquidos e sólidos não varia significativamente com a pressão em condições comuns, mas mudam com a temperatura e composição do produto (HIMMELBLAU, 1998). Dados de densidade e sua variação com a concentração e a temperatura são muito importantes para a indústria de alimentos em geral, visto que são necessários para projetos e otimização de várias operações de processos (bombeamento, evaporação, filtração, mistura, em cálculos de transferência de calor, etc), e servem ainda como índice de qualidade (MOHSENIN, 1980; ALVARADO & ROMERO, 1989; RAMOS & IBARZ, 1998). Além disso, os conhecimentos a respeito desta propriedade também são significativos na caracterização, identificação e utilização de substâncias ou de materiais. Muitos processos químicos, tais como a fermentação, são controlados através da medida de densidade (SILVA et al., 1990).

Em geral, a secagem em camada de espuma de polpa de frutas é executada quando a densidade da espuma fica em torno de 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Segundo BATES (1964) espumas são consideradas mecânica e termicamente estáveis quando nem a drenagem nem o colapso das estruturas são observados, e isto ocorre em valores de densidades abaixo de 0,5 g/cm<sup>3</sup>.

SOARES et al. (2001) afirmam que a faixa de valores considerada ideal para densidade da espuma se encontra entre 0,1 a 0,6 g/cm<sup>3</sup>.

KARIM & CHEE-WAI (1999) ao trabalharem com a desidratação da polpa carambola com adição de solução de Methocel em diferentes concentrações (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5%), verificaram que a densidade da espuma diminuiu com o aumento da concentração de Methocel. COOKE et al. (1976) também relataram para a polpa de manga da variedade *Alphonso*, que o aumento da concentração de aditivos resultou na redução da densidade da espuma e em uma menor massa de espuma por área superficial da bandeja.

SANKAT & CASTAIGNE (2004) ao desidratarem pelo método de secagem em camada de espuma polpa de banana, baixaram a densidade da polpa de banana de 0,93 g/cm<sup>3</sup> para 0,5 g/cm<sup>3</sup> incorporando 10 g proteína de soja para cada 100 g da polpa e batendo a mistura, durante 12 minutos, para formação da espuma.

### 2.3.2 - Viscosidade

De acordo com DURIAN (1995), a resposta mecânica da espuma aquosa a forças externas é complexa já que estas se comportam como sólidos elásticos para pequenas tensões de cisalhamento aplicadas e como líquidos viscosos para grandes tensões de cisalhamento aplicadas, haja vista que as espumas são essencialmente dispersões heterogêneas que consistem de uma distribuição aleatória de bolhas de gás em uma pequena fração de quantidade de líquido e suas características estruturais influenciam o comportamento mecânico, mas é preciso se ter bastante cuidado com a medição das propriedades reológicas pois, quando se usa a técnica de reometria rotacional, pode ocorrer um colapso ou rearranjo da rede de bolhas da espuma que estão em contato com a geometria rotativa causando uma descontinuidade parcial na transmissão do movimento angular, de modo que o torque medido não é totalmente verdadeiro (HELLER & KUMTAMUKKULA, 1987).

Segundo VERNON-CARTER et al. (2001) uma grande diferença da densidade entre a fase contínua e as bolhas de ar, levam a um eventual colapso da espuma. O único meio para evitar este processo é o aumento da viscosidade efetiva da fase contínua, e para a espuma exibir uma estabilidade razoável, a fase contínua deve ter tensão inicial (AUBERT et al., 1989; GERMAN, 1990).

Para a fabricação de produtos que utilizam polpa de frutas e para definição dos processos, é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas.

Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de destaque (VIDAL et al., 2000). No Brasil há escassez de dados sobre propriedades reológicas dos sucos, polpas e outros concentrados de frutas produzidas aqui. A matéria-prima brasileira apresenta características diferentes daquelas produzidas em outras partes do mundo, principalmente no que diz respeito aos teores de polpa e de açúcares, que influenciam diretamente no teor de sólidos solúveis e insolúveis (VIDAL, 1997). É através desses dados que a indústria nacional apresenta a possibilidade de, respeitando as características individuais de cada fruta, desenvolver tecnologias e aumentar o padrão de qualidade dos seus produtos.

As propriedades reológicas estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura dos alimentos, tendo em vista que a viscosidade de cada produto está diretamente relacionada com a qualidade de alimentos que se apresentam na forma de fluidos, influenciando diretamente na textura e, portanto, na sua qualidade sensorial. Por outro lado, é de grande interesse industrial o conhecimento do comportamento reológico dos alimentos durante o processo de elaboração, como concentração, mistura, pasteurização e outras operações unitárias (DURAN, 1991).

Os derivados de produtos agrícolas são em geral, são materiais estruturais reologicamente complexos. Em vários casos se constituem em uma mistura de sólidos e fluidos, como material sólido de paredes celulares, água e colóides líquidos e gases intercelulares. Vários desses produtos alimentícios não são homogêneos nem isotrópicos, apresentando propriedades que variam de um ponto a outro na sua própria massa. Todos esses fatores fazem com que o estudo da reologia em processados de origem agrícola se torne mais difícil que em qualquer outro campo de estudo. Entretanto, pesquisadores relatam que vários alimentos se comportam de maneira preditiva e que os conceitos das teorias da elasticidade, viscosidade e viscoelasticidade, podem ser usados para interpretar as respostas desses materiais à aplicação de deformações ou forças (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1996).

A viscosidade dos fluidos pode ser afetada por fatores como: concentração, temperatura, tempo, pressão e gradiente de velocidade. O conhecimento da influência desses fatores no comportamento reológico dos alimentos é de fundamental importância para o controle de qualidade.

Os dados de viscosidade aparente em função da temperatura e concentração são imprescindíveis não só no dimensionamento de novas instalações industriais, mas, também, na avaliação do desempenho de unidades já instaladas (SILVA, 1999).

RAJKUMAR et al. (2007) verificaram que a viscosidade da polpa de manga fresca ( $7,50 \pm 0,09$  Pa s) foi maior que a da espuma ( $5,70 \pm 0,06$  Pa s) elaborada com polpa de manga, albume de ovo (10%) e metilcelulose (0,5%). Os autores também constataram que houve um decréscimo na viscosidade durante a formação da espuma e isto facilita o movimento da água através da espuma diminuindo o tempo de secagem.

O comportamento reológico de produtos alimentícios pode ser estimado por meio de modelos reológicos, em que sua principal função é representar matematicamente a relação entre os valores experimentais da tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, para determinado fluido e, assim, permitir o tratamento analítico do escoamento desses materiais. São úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas como: concentração, temperatura, etc. Este conhecimento é indispensável no controle de qualidade, controle de processos e no projeto e dimensionamento de equipamentos e processos (VIEIRA, 1995).

Tem-se, na literatura, vários modelos que podem ser utilizados para prever o comportamento reológico de polpa de frutas e de outros produtos alimentícios. Dentre os modelos mais conhecidos se tem o de Ostwald-de-Waelle ou Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk.

VERNON-CARTER et al. (2001) avaliaram o comportamento reológico de espumas elaboradas com polpa de tamarindo e diferentes tipos e concentrações de aditivos, e notaram que todas as espumas (formulações) apresentaram comportamento pseudoplástico, com tensão de cisalhamento inicial e com a forma das curvas de escoamento dependendo do tipo de agente espumante (aditivo) usado. Esses pesquisadores ajustaram os modelos de Herschel-Bulkley e Casson às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, resultando em coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9, em todos os tratamentos.

CABRAL et al. (2002) ao ajustarem o modelo de Ostwald-de-Waelle aos reogramas da polpa de cupuaçu peneirada, determinados nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C, encontraram coeficientes de determinação superiores a 0,92, PEREIRA et al. (2003) obtiveram coeficientes de determinação superiores a 0,98 quando ajustaram o modelo de Ostwald-de-Waelle às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de açaí com diferentes concentrações de sólidos totais (9,7; 12,5 e 15,2%), na temperatura de 30 °C.

O modelo de Mizrahi–Berk foi ajustado às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de manga integral, nas temperaturas de 10 a 60 °C, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,99 (BEZERRA et al., 2001).

#### 2.4 - Isotermas de adsorção de umidade

Os produtos alimentícios são materiais capazes de absorver, reter ou eliminar água, os quais sempre estabelecem um equilíbrio de umidade com o ar ao seu redor. A água sempre causa aumento da pressão de vapor sobre a superfície das amostras e, quando esta pressão e a pressão de vapor de água da atmosfera são iguais, ocorre o equilíbrio da umidade (ARAÚJO et al., 2005).

A água é um dos mais importantes componentes dos alimentos, capaz de afetar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos alimentos é complicada devido à interação entre a água e o meio, o que envolve a estrutura física e a composição química dos diversos solutos incluindo polímeros e colóides ou partículas dispersas. É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação. O teor de água livre é expresso pela atividade de água ( $a_w$ ) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura, a mesma temperatura, ou seja, a umidade relativa em equilíbrio com o produto na temperatura considerada (PARK et al., 2006).

O valor máximo da atividade de água é 1, para a água pura. Nos alimentos ricos em água, a  $a_w$  acima de 0,90 forma soluções diluídas, com os alimentos servindo de substrato para reações químicas e o desenvolvimento microbiano. Entre 0,40 e 0,80 há uma aceleração das reações químicas pelo aumento da concentração dos substratos. Próximo a 0,60, cessa a atividade microbiana e, para  $a_w$  inferior a 0,30, atinge-se a zona de adsorção primária (PARK et al., 2006).

Isotermas de sorção de umidade são a representação gráfica da umidade de equilíbrio da amostra em função da atividade de água, a temperatura constante. As isotermas de sorção são imprescindíveis na análise e controle de vários processos na indústria de alimentos, tais como preservação, secagem, definição de embalagem e misturas. Essas curvas podem ser usadas para prever as mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar o material de embalagem e os ingredientes apropriados para a formulação de um produto alimentício (ZHANG et al., 1996).

A isoterma é denominada adsorção, quando a amostra ganha umidade do ambiente e é denominada dessorção, quando a amostra perde umidade para o ambiente.

A isoterma de sorção tem importância particular no projeto de processos de desidratação de alimentos, especialmente na determinação de secagem e em um ponto que assegure a viabilidade econômica e a segurança microbiológica (MCLAUGHLIN & MAGEE, 1998). Além disso, a determinação das isotermas de adsorção/dessorção de umidade se faz oportuna pela sua aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira em determinada embalagem e dos requisitos básicos necessários para que se possa embalar um produto e, ainda, na caracterização de um produto quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (PENA et al., 2000).

A medida de propriedades físicas dos pós é importante porque estas afetam intrinsecamente seu comportamento durante o armazenamento, manuseio e processamento. A isoterma de adsorção de umidade ilustra a capacidade de um pó para absorver água quando colocado em determinadas condições atmosféricas e de temperatura. A presença da água em um pó pode afetar significativamente suas propriedades de fluidez e consistência. Para muitos alimentos em pó existe um valor da umidade relativa (umidade relativa crítica) em uma temperatura acima da qual o pó endurecerá e esta é, geralmente, muito prejudicial à sua fluidez (TEUNOW et al., 1999).

Nas amostras em pó a qualidade e a vida útil têm forte dependência com o seu teor de água, que exerce influência sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e manuseio. Praticamente, todos os processos deteriorativos que ocorrem com os alimentos também são influenciados pela concentração e mobilidade da água presente (ALEXANDRE et al., 2007).

Existem, na literatura, diversos modelos para a representação das isotermas de sorção, em geral empíricos e úteis na caracterização dos produtos, nos modelos de GAB, Peleg e Oswin.

ALEXANDRE et al. (2007) determinaram as isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, produzida pelo processo de secagem em camada de espuma, usando o método gravimétrico estático nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, verificando que a pitanga em pó apresentou alta higroscopicidade, com a umidade de equilíbrio aumentando com o aumento da atividade de água a temperatura constante. Os equilíbrios higroscópicos foram atingidos entre tempos mínimos e máximos de 2 e 30 dias. O modelo de Peleg resultou nos melhores ajustes aos dados experimentais seguido do modelo de GAB, ambos com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,97; já para o modelo de Oswin os

valores de  $R^2$  foram acima de 0,89 e os desvios percentuais médios (P) superiores a 11%. As isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó foram classificadas como sendo do Tipo II.

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, e verificou que para as diferentes atividades de água ( $a_w$ ), a mesma temperatura, os valores da umidade de equilíbrio ( $U_{eq}$ ) aumentam e estas 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 comportamento típico de isotermas do tipo III.

GOMES et al. (2002) determinaram as isotermas de adsorção de umidade nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C, da polpa de acerola em pó, que foi desidratada em secador do tipo leito de jorro com adição de 10% maltodextrina e temperatura do ar de secagem de 70 °C. Esses pesquisadores verificaram que o modelo de GAB resultou nos melhores ajustes aos dados experimentais e que as isotermas da polpa de acerola em pó foram classificadas como do Tipo III. O modelo de Oswin também foi testado apresentando parâmetros de ajuste ( $R^2 > 0,75$ ).

Isotermas de equilíbrio higroscópico de polpas de cajá em pó produzidas em secador por atomização, com adição de 20% de maltodextrina nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, foram determinadas por CAVALCANTI MATA et al. (2006), apresentando forma sigmoideal, e classificadas como do tipo II. Por meio dos parâmetros obtidos esses pesquisadores concluíram que os modelos que melhor representam as curvas experimentais foram os de Henderson, modificados por Cavalcanti Mata, GAB, Oswin e Peleg, com coeficientes de determinação 0,96.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

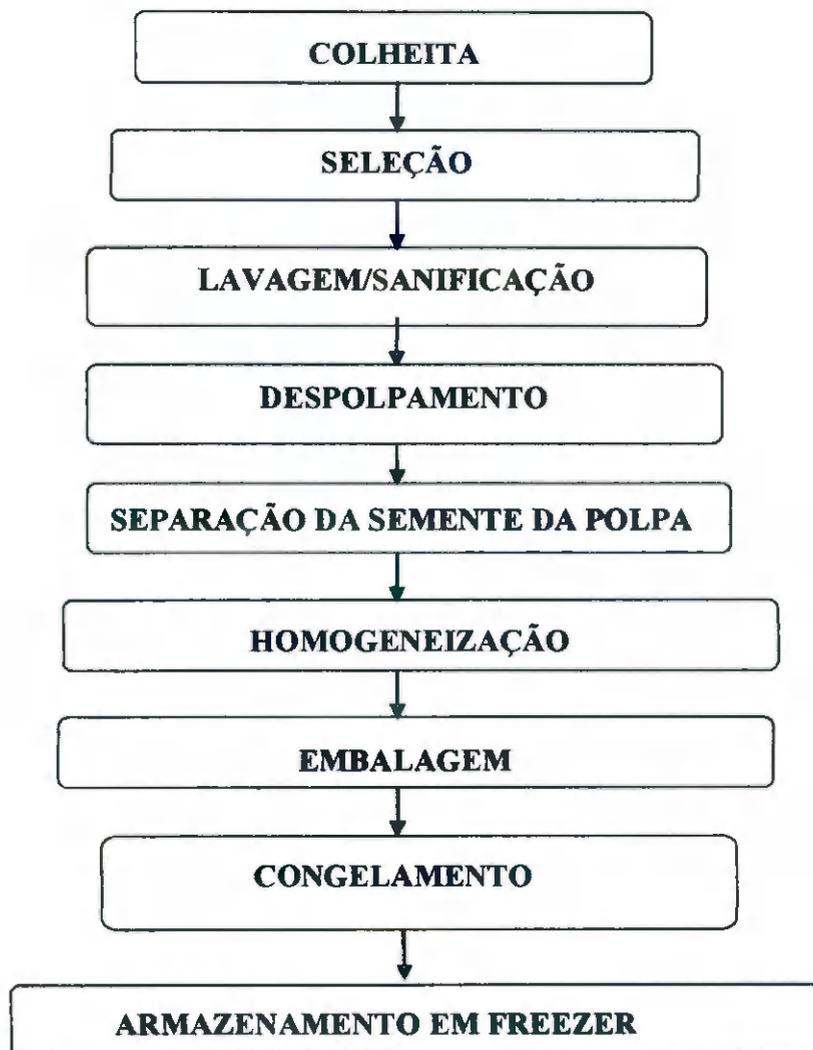
#### 3.1 - Matérias-primas

Utilizaram-se, como matérias-primas, o fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), proveniente da região circunvizinha de Campina Grande, localizada no Estado da Paraíba, e os aditivos: extrato de soja Mais Vita, albumina Neu Nutri (clara de ovo em pó) e Super Liga Neutra® Selecta (compostos à base de açúcar e dos espessantes goma guar e carboximetilcelulose). Todos os aditivos foram adquiridos no comércio de Campina Grande, PB.

##### 3.1.1 - Obtenção da polpa do mandacaru

Apresentaram-se, na Figura 3.1 as etapas do processamento para obtenção da polpa do fruto do mandacaru.

Os frutos do mandacaru (Figura 3.2) foram colhidos da planta quando estavam maduros apresentando cor de casca vermelha, sendo colocados em caixas de isopor e levados ao laboratório, onde foram selecionados manualmente, de forma a eliminar os exemplares que apresentavam danos físicos ou aspecto de podridão. Procedeu-se a lavagem com esponja e detergente e, a seguir, uma imersão dos frutos em recipiente contendo solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 15 minutos; posteriormente, foram enxaguados em água corrente a fim de se retirar o excesso da solução de hipoclorito.



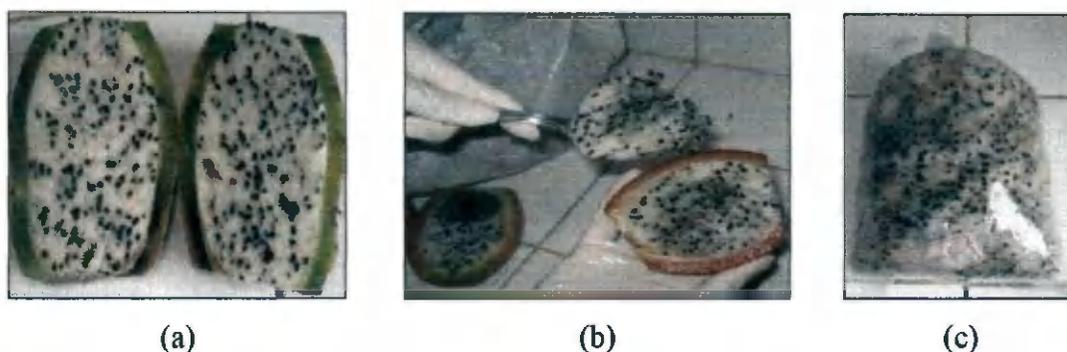
**Figura 3.1** - Fluxograma das etapas realizadas do processamento para obtenção da polpa do fruto do mandacaru



**Figura 3.2** - Fruto do mandacaru

Para o despulpamento, os frutos foram cortados ao meio com o auxílio de uma faca (Figura 3.3a), e com uma colher (Figura 3.3b); a polpa com sementes foi retirada e

imediatamente transferida para o acondicionamento em sacos de polietileno de baixa densidade (Figura 3.3c) e armazenadas em freezer a  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 3.3** - Processo de despulpamento do fruto do mandacaru

As polpas com sementes embaladas foram, posteriormente, descongeladas e passadas em prensa hidráulica (Figura. 3.4) para a separação da polpa das sementes (Figura. 3.5). Após esta etapa as polpas sem semente (integral) foram homogeneizadas, reembaladas, recongeladas rapidamente por imersão dos sacos em nitrogênio líquido e em seguida armazenadas em freezer a  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  até o momento da realização dos experimentos.



**Figura 3.4** – Prensa hidráulica



**Figura 3.5** – Polpa integral do fruto do mandacaru sem semente congelada

### **3.2 – Caracterização da polpa integral do fruto de mandacaru**

A polpa integral do fruto de mandacaru foi caracterizada química, física e físico-quimicamente.

#### **3.2.1 - Caracterização química e físico-química**

##### **3.2.1.1 – pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; os resultados foram expressos em unidades de pH.

##### **3.2.1.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix)**

Os sólidos solúveis totais, expressos em °Brix, foram determinados pelo método refratométrico, com refratômetro do tipo Abbe, de acordo com as normas do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

##### **3.2.1.3 – Umidade e sólidos totais**

Determinaram-se a umidade e os sólidos totais, expressos em percentagem (%), através do método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### **3.2.1.4 – Acidez total titulável**

Determinou-se a acidez total titulável através do método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), em que as amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 N (os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico).

#### **3.2.1.5 – Açúcares redutores**

Os açúcares redutores foram determinados utilizando-se a metodologia descrita pela AOAC (1997), e os resultados expressos em percentagem de glicose.

#### **3.2.1.6 – Cinzas**

Determinadas através da metodologia descrita pela AOAC (1997) e expressas em percentagem (%).

#### **3.2.1.7 – Pectina**

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

#### **3.2.1.8 – 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 (%).

#### **3.2.1.9 – Ácido ascórbico**

Determinou-se o ácido ascórbico segundo o método da AOAC (1997), modificado por BENASSI & ANTUNES (1988). Nesta metodologia, o ácido oxálico é usado como solução extratora e se baseia na titulação da amostra com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio, que apresenta cor rosa em solução ácida e cor azul em solução alcalina. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g da amostra.

### 3.2.1.10 – Proteína

Determinou-se o teor de proteína, expresso em percentagem, através do método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

## 3.2.2 – Caracterização física

### 3.2.2.1 – Cor

A determinação da cor das amostras foi realizada em colorímetro construído por MOTTA (2005), cujas leituras foram convertidas para o sistema de cor CieLab ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ).  $L^*$  é a luminosidade,  $a^*$  a transição da cor verde ( $-a^*$ ) para o vermelho ( $+a^*$ ) e  $b^*$  a transição da cor azul ( $-b^*$ ) para a cor amarela ( $+b^*$ ).

### 3.2.2.2 – Densidade

As densidades da polpa integral do fruto do mandacaru e das polpas formuladas 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 densidade foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras (Equação 3.1).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

em que:

$\rho$  - densidade ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  - massa (kg)

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

### 3.2.2.3 – Comportamento reológico

As medidas das viscosidades aparentes da polpa integral do fruto do mandacaru e polpas formuladas foram realizadas na temperatura de 25 °C, a pressão atmosférica

ambiente utilizando-se um viscosímetro Brookfield, modelo RV, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, E.U.A.

Com os valores de torque e das viscosidades aparentes obtidos no viscosímetro, se calcularam, de acordo com a metodologia de MITSCHKA (1982), as tensões de cisalhamento e as taxas de deformação.

Os modelos de Ostwald-de-Waele ou Lei da potência (Equação 3.2), Mizrahi–Berk (Equação 3.3), Herschel–Bulkley (Equação 3.4) e Casson (Equação 3.5) foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para descrever o comportamento reológico da polpa do fruto do mandacaru e de suas formulações, utilizando-se o programa computacional Statistica versão 5.0.

### Ostwald-de-Waele ou Lei da potência

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3.2)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

K - índice de consistência ( $Pa s^n$ )

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

### Mizrahi–Berk

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.3)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento ( $Pa$ )<sup>0,5</sup>

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$K_{OM}$  - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)

$K_M$  - índice de consistência ( $Pa s^n$ )

$n_M$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

### Herschel–Bulkley

$$\tau = \tau_{OH} + \kappa_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.4)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$\tau_{0H}$  - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

$K_H$  - índice de consistência ( $Pa\ s^n$ )

$n_M$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

### Casson

$$\tau^{0.5} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{0.5} \quad (3.5)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento ( $Pa$ )<sup>0.5</sup>

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )<sup>0.5</sup>

$K_{oc}^2 = \tau_{oc}$  - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

$K_c$  - viscosidade plástica de Casson (Pa.s)

Utilizaram-se, como critérios para a determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 3.6.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{exp} - x_{teor}|}{x_{exp}} \quad (3.6)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

$x_{exp}$  - valores obtidos experimentalmente

$x_{teor}$  - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

### 3.3 – Seleção da formulação

Para se fazer uma secagem em camada de espuma é necessário definir antes do processo qual a composição da formulação a ser desidratada. Neste processo se incorporam, à polpa de fruta, aditivos, como emulsificantes e estabilizantes, homogenizam-

se todos os ingredientes e os submeteram a um batimento com a finalidade de formar uma espuma estável para ser seca em camada fina resultando, no final do processo, amostras em pó.

Testes prévios indicaram que os aditivos albumina e Super Liga Neutra ambos nas concentrações de 2% em relação à massa da polpa integral do fruto do mandacaru, induziram à formação de espuma com características de densidade, expansão volumétrica e estabilidade da espuma adequadas à secagem, porém, com o objetivo de se obter uma espuma com densidade de  $0,5 \text{ g/cm}^3$ , valor recomendado como ideal por BATES (1964), testaram-se formulações e se incorporaram, além da polpa integral do fruto do mandacaru, albumina (2%) e da Super Liga Neutra (2%) adições de diferentes concentrações de extrato de soja (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%) (Tabela 3.1).

Utilizaram-se, como critérios para a seleção dos aditivos das suas concentrações e do tempo de batimento da formulação: a expansão volumétrica da espuma, a densidade da espuma e a estabilidade da espuma.

**Tabela 3.1** – Concentrações dos aditivos utilizados nas formulações testadas elaboradas com a polpa integral do fruto do mandacaru

Formulação (n°)	Concentração de aditivos (%)		
	Albumina	Super Liga Neutra	Extrato de soja
1	2	2	0,0
2	2	2	0,5
3	2	2	1,0
4	2	2	1,5
5	2	2	2,0

### 3.3.1 – Densidade da espuma

O tempo máximo de batimento das formulações testadas foi de 30 mim, sendo as densidades das espumas verificadas a cada 5 minutos. As densidades das espumas em cada tempo foram determinadas através da relação entre a massa e o volume da amostra, colocada em um béquer.

### 3.3.2 – Expansão volumétrica

Determinaram-se, com os dados das densidades das espumas do item 3.3.1 os volumes da espumas para os diferentes tempos de batimento através da relação entre a massa e a densidade da amostra. A partir dos dados coletados se definiu o melhor tempo de batimento.

### 3.3.3 – Estabilidade da espuma

Com o tempo de batimento selecionado (5 min) a partir dos experimentos realizados nos itens 3.3.1 e 3.3.2, se determinou a estabilidade das espumas das formulações testadas (Tabela 3.1) com diferentes concentrações de extrato de soja (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%). A estabilidade das espumas, determinante no desempenho das secagens, para cada formulação foi determinada segundo a técnica descrita por KARIN & CHEE-WAI (1999). Para este fim foi montado um sistema (Figura 3.6) constituído de uma proveta de 25 mL, com um funil de vidro acoplado e um filtro de nylon. Colocaram-se no funil com o filtro, 15 g da espuma, e o sistema foi levado à estufa com circulação de ar a 70 °C, durante 90 minutos; após 5 minutos na estufa o volume do líquido drenado para a proveta foi medido, enquanto a espuma era desfeita; posteriormente, verificou-se o volume do líquido em intervalo de tempo de 10 minutos. A seleção da formulação se basea no fato de que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado para a proveta.



**Figura 3.6** – Sistema de medição da estabilidade da espuma

### 3.3.4 – Análise estatística

Empregou-se- visando à avaliação estatística dos dados de densidade das espumas, o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com 6 tempo de batimentos

(5, 10, 15, 20, 25 e 30 min) e 5 concentrações de extrato de soja (0, 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%) e 3 repetições, com a comparação entre médias pelo teste de Tukey. Utilizou-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2006).

Ajustes com equações lineares e quadráticas também foram realizados a fim de se obter, equações de regressão para a estimativa do volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%), com o auxílio do programa computacional STATISTICA versão 5.0.

### **3.4 – Características químicas e físico-químicas da formulação selecionada**

Selecionou-se, após realizados os testes do item 3.3, a Formulação nº 1, composta de polpa integral do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra e 0% de extrato de soja. A partir desta formulação se produziu a espuma batendo-se os ingredientes em batedeira doméstica, durante 5 min. Nesta espuma foram analisados: o pH, determinado mediante o método potenciométrico; os sólidos solúveis totais (°Brix), por leitura direta nas amostras em refratômetro do tipo Abbe; a acidez total titulável, as cinzas e os açúcares redutores, segundo a metodologia da AOAC (1997); os teores de ácido ascórbico, de acordo com o método da AOAC (1997) modificado por BENASSI & ANTUNES (1998); a umidade, os sólidos totais e as proteínas, conforme as normas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005); a cor, determinada em colorímetro construído segundo MOTTA (2005); e a densidade, por meio da relação entre a massa e o volume da amostra, utilizando-se um béquer.

### **3.5 - Secagem em camada de espuma**

Com a Formulação nº 1 (polpa integral do fruto do mandacaru + 2% de albumina + 2% de Super Liga Neutra) selecionada de acordo com o item 3.3, os ingredientes foram homogeneizados e batidos em batedeira doméstica durante 5 min para formar uma espuma com características adequadas à secagem. Esta espuma foi espalhada sobre bandejas de aço inoxidável com camadas de espuma em diferentes espessuras (0,5; 1,0 e 1,5 cm) medidas com o auxílio de um paquímetro digital e levadas para desidratação em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C.

Os produtos desidratados foram retirados das bandejas com uma espátula de aço inoxidável, e como já apresentavam características de produto pulverizado (amostra em pó), foi desnecessária a utilização de triturador.

### 3.5.1 – Cinética de secagem

Durante a secagem da espuma nas diferentes temperaturas e espessuras da camada de espuma, determinaram-se as cinéticas de secagem. Os dados da cinética de secagem foram obtidos pesando-se as bandejas com as amostras, durante as secagens até peso constante, em intervalos regulares. Com os dados experimentais das secagens foram então calculados os valores da razão de umidade (Equação 3.7).

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \quad (3.7)$$

em que:

RU – razão de umidade (adimensional)

U - umidade “absoluta” (base seca)

$U_e$  - umidade de equilíbrio (base seca)

$U_0$  - umidade inicial (base seca)

Os modelos semiteóricos de Cavalcanti Mata (Equação 3.8), Henderson & Pabis (Equação 3.9) e Page (Equação 3.10) foram ajustados às curvas de secagem.

#### Cavalcanti Mata

$$Ru = a_1[\exp(-bt^{a_2}) + a_3 \cdot \exp(-bt^{a_4}) + a_5] \quad (3.8)$$

em que:

Ru – razão de umidade (adimensional)

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  e  $b$  – parâmetros do modelo

$t$  – tempo (min)

#### Henderson & Pabis

$$Ru = a \exp(-kt) \quad (3.9)$$

em que:

Ru – razão de umidade (adimensional)  
 a – constante do modelo (adimensional)  
 k – constante do modelo (1/h)  
 t – tempo (min)

**Page**

$$Ru = \exp(-kt^n) \quad (3.10)$$

em que:

Ru – razão de umidade (adimensional)  
 k – constante do modelo (1/h)  
 n – constante do modelo  
 t – tempo (min)

Para avaliar qual modelo produziu o melhor ajuste foram utilizados, como parâmetros o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (Equação 3.11).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RU_{pred} - RU_{exp})^2}{n}} \quad (3.11)$$

em que:

DQM – desvio quadrático médio  
 $RU_{pred}$  – razão de umidade predito pelo modelo  
 $RU_{exp}$  – razão de umidade experimental  
 n – número de observações

**3.6 - Caracterização físico-química das amostras em pó**

As amostras em pó obtidas a partir da secagem em camada de espuma, foram caracterizadas físico-quimicamente quanto ao teor de umidade e proteína, conforme as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005); acidez total titulável, cinzas e açúcares redutores, segundo a AOAC (1997); os teores de ácido ascórbico, de acordo com o método da AOAC (1997) modificado por BENASSI & ANTUNES (1988); a cor foi determinada em colorímetro construído segundo MOTTA (2005); o teor de sólidos

solúveis totais (°Brix) e o pH foram realizados através de diluição (1:100) em água destilada.

### 3.6.1 – Análise estatística

Utilizou-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2006) para analisar estatisticamente os dados físico-químicos das amostras em pó. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com 3 temperaturas (70, 80 e 90 °C) e 3 espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm) e 3 repetições. Para a comparação entre médias utilizou-se o teste de Tukey.

### 3.6.2 - Isotermas de adsorção de umidade

Determinaram-se as isotermas de adsorção de umidade das amostras da polpa de mandacaru em pó utilizando-se o método gravimétrico estático com soluções saturadas de sais (Tabela 3.2) na temperatura 20 °C. O método consiste na utilização de recipientes de vidro herméticos, contendo soluções saturadas de sais, criando um ambiente de umidade relativa controlada, em que são inseridas as amostras. Nos recipientes eram colocados três cadinhos com aproximadamente 1 g de amostra cada um e levados para câmaras do tipo B.O.D. até que as amostras atingissem peso constante, verificado através de pesagens periódicas em balança analítica. A seguir, as amostras eram colocadas em estufa a 105 °C até peso constante para determinação da umidade de equilíbrio. A umidade de equilíbrio, em base seca, foi determinada pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras (Equação 3.12).

**Tabela 3.2** - Atividade de água das soluções saturadas de sais a 20 °C

Sal	Atividade de água ( $a_w$ )
Hidróxido de sódio (NaOH)	0,0891
Acetato de potássio (CH <sub>3</sub> COOK)	0,2311
Cloreto de magnésio (MgCl <sub>2</sub> )	0,3307
Carbonato de potássio (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0,4316
Nitrato de magnésio (Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	0,5438
Brometo de sódio (NaBr)	0,5914
Iodeto de potássio (KI)	0,6990
Cloreto de sódio (NaCl)	0,7547
Sulfato de amônia ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,8134
Cloreto de potássio (KCl)	0,8511
Cromato de potássio (K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> )	0,8800

Fonte: GREENSPAN (1977); ROCKLAND (1960)

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} 100 \quad (3.12)$$

em que:

$X_e$  - umidade de equilíbrio (% base seca)

$m_e$  - massa da amostra no equilíbrio

$m_s$  - massa seca da amostra

Os modelos de GAB (Equação 3.13), Peleg (Equação 3.14) e Oswin (Equação 3.15), foram ajustados às isotermas de adsorção de umidade das amostras em pó utilizando-se o programa Statistica versão 5.0, através de regressão não linear pelo método de estimativa Quase-Newton.

### GAB

$$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (3.13)$$

em que:

$X_e$  - umidade de equilíbrio

$a_w$  - atividade de água

$X_m$  - umidade na monocamada molecular

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

### Peleg

$$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (3.14)$$

em que:

$X_e$  - umidade de equilíbrio

$a_w$  - atividade de água

$K_1, K_2, n_1$  e  $n_2$  - constantes do modelo

### Oswin

$$X_e = a \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (3.15)$$

em que:

$X_e$  - umidade de equilíbrio

$a_w$  - atividade de água

a e b - parâmetros de ajuste do modelo

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos das isotermas aos dados experimentais foram os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P) calculado conforme a Equação 3.16.

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

em que:

P - desvio percentual médio (%)

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

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

n - número de dados experimentais

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Caracterização da polpa do fruto do mandacaru

Apresentam-se na Tabela 4.1, os valores médios e os desvios padrões da caracterização físico-química e física da polpa integral do fruto do mandacaru. Observa-se que o valor encontrado para o pH da polpa integral do fruto do mandacaru foi inferior ao valor indicado por OLIVEIRA et al. (2004), ou seja, de 4,52 para polpa de mandacaru e por SILVEIRA et al. (2008) para o fruto da cactácea coroa de frade que foi de 4,53. Tem-se, diante deste valor tem-se que a polpa integral do fruto do mandacaru é classificada, de acordo com BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998), como alimento ácido (pH entre 3,7 e 4,5).

**Tabela 4.1** - Caracterização físico-química da polpa do fruto do mandacaru

Parâmetro	Média ± desvio padrão
pH	4,36±0,01
Sólidos solúveis totais (°Brix)	10,69±0,14
Umidade (% b.u.)	90,71±0,06
Sólidos totais (%)	9,29±0,06
Ácido ascórbico (mg/100 g)	4,2804±0,0671
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,2236±0,0016
Cinzas (%)	0,3305±0,0172
Açúcares redutores (% glicose)	10,88±0,36
Pectina (% de pectato de cálcio)	0,28±0,01
Sólidos insolúveis em água (%)	0,1063±0,0040
Proteína (%)	0,21±0,0034
Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) (25 °C)	1.034,14±0,30
Luminosidade (L*)	33,06±0,05
Intensidade de vermelho (+a*)	0,54±0,07
Intensidade de amarelo (+b*)	1,77±0,07

Os sólidos solúveis totais (°Brix) são usados como índice de maturidade para alguns frutos e indicam a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidas no suco,

constituído, na sua maioria, de açúcares (CHAVES et al., 2004). Observa-se que os sólidos solúveis totais determinados para a polpa integral do fruto do mandacaru foram inferiores ao obtido por OLIVEIRA et al. (2004) e por ALMEIDA (2007), para o mesmo tipo de fruto, isto é de 12,17 e 11,00°Brix, respectivamente. Essas variações no teor de sólidos solúveis totais podem ocorrer em razão das diferentes espécies, cultivar, estágio de maturação e clima, dentre outros fatores (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

A umidade da polpa integral do fruto do mandacaru foi inferior ao valor encontrado por OLIVEIRA et al. (2004), para o mesmo fruto que foi de 93,77%, superior ao valor encontrado por CANUTO et al. (2007), para o fruto da palma que foi de 87,8%, e próximo ao determinado por GRIZOTTO et al. (2005) para a polpa de mamão, que foi de 90,2%.

A polpa integral do fruto do mandacaru apresentou teor de sólidos totais inferior ao valor encontrado por QUEIROZ et al. (2004a), para a polpa do figo-da-india (cactácea), de 11,82%, e por BUENO et al. (2002), para as polpas de goiaba e mamão, de 10,8 e 10,5%, respectivamente.

Nota-se que o teor de ácido ascórbico foi quase o triplo do encontrado por OLIVEIRA et al. (2004) que foi de 1,48 mg/100 g também para a polpa do fruto do mandacaru, porém, quando se compara este valor com os determinados por YAMASHITA et al. (2003), para a polpa de acerola, e por LIMA et al. (2002), para a polpa de goiaba cv. Paluma, que foram de  $1.511 \pm 56$  mg/100 g e 89,78 mg/100 mL, respectivamente, frutas consideradas excelentes fontes de vitamina C, verifica-se que a polpa integral do fruto do mandacaru não contém grandes quantidades de vitamina C, além de que, no Brasil, a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para adultos é de 60 mg (BRASIL, 1998).

A acidez total titulável da polpa integral do fruto do mandacaru foi um pouco superior a avaliada por OLIVEIRA et al. (2004) para este mesmo tipo de produto que foi de 0,2110% ácido cítrico, e ao valor obtido por GURRIERI et al. (2000) que foi de  $0,11 \pm 0,01\%$  para a polpa do figo-da-india vermelho da cultivar "Sicilian"; no entanto, é inferior ao valor encontrado por CONCEIÇÃO et al. (2008) para o limão galego que foi de 1,45% ácido cítrico.

Observa-se que o valor obtido experimentalmente para as cinzas foi superior ao encontrado por OLIVEIRA et al. (2004) que foi de 0,2651% e inferior ao do tamarindo (1,9%) referenciado como fruto com maior teor de cinzas na TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (2006).

Nota-se que o conteúdo dos açúcares redutores da polpa integral do fruto do mandacaru foi superior ao avaliado por OLIVEIRA et al. (2004), para o mesmo fruto de 9,54% glicose, e inferior ao determinado por CANUTO et al. (2007), para o fruto da palma, e por TSEN & KING (2002), para a polpa de banana, de 11,43 e 12,1% glicose, respectivamente.

Verifica-se que o teor encontrado para a pectina foi superior ao determinado por BARBOSA et al. (2007a) para o mesmo fruto que foi de 0,07%, mas, quando comparado com o de frutas ricas em pectina como a manga, através do valor obtido por GRIZOTTO et al. (2005) que foi de  $0,84 \pm 0,1\%$ , nota-se que a polpa do fruto do mandacaru contém um conteúdo de pectina considerável, visto que os mesmos autores encontraram para a polpa de abacaxi um valor experimental de pectina de 0,08%.

Os sólidos insolúveis em água da polpa integral do fruto do mandacaru foram pequenos quando comparados com a polpa de açaí, cujo teor foi de  $10,41 \pm 0,10\%$  (PEREIRA et al., 2002).

A polpa integral do fruto do mandacaru apresentou teor de proteína inferior ao avaliado por BARBOSA et al. (2007a), para o mesmo fruto, e por BARBOSA et al. (2007b), para a polpa do fruto do xique-xique, que foram de 4,81 e 5,47%, respectivamente.

A densidade na temperatura de 25 °C da polpa integral do fruto do mandacaru foi superior a determinada por DUARTE et al. (2003), para a polpa de mangaba, na temperatura de 26 °C, que foi de  $1.030 \text{ kg/m}^3$ , e próxima à encontrada por MUNIZ et al. (2006) para a polpa de bacuri (10 °Brix), na temperatura de 25 °C, que foi de  $1.034,10 \text{ kg/m}^3$ .

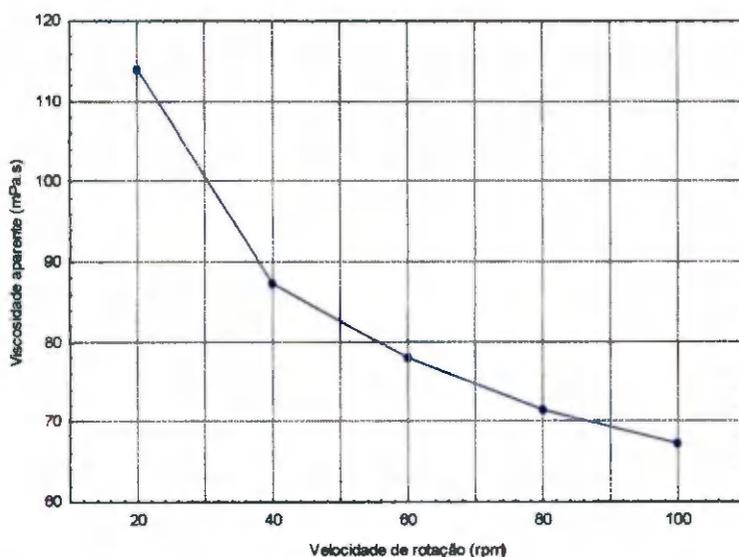
Um dos atributos de qualidade e preferência do consumidor é a coloração. Através da análise de cor da polpa integral do fruto do mandacaru, foram obtidos os parâmetros luminosidade ( $L^*$  - 0 = preto e 100 = branco), intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) e intensidade de amarelo ( $+b^*$ ). Analisando a Tabela 4.1 verifica-se que a polpa integral do fruto do mandacaru apresentou valores médios da luminosidade, intensidade de amarelo e intensidade de vermelho inferiores ao da polpa de melão (MELO et al., 2008a).

#### 4.1.2 – Comportamento reológico

Na Tabela A.1 (Apêndice A) se encontram os dados experimentais das viscosidades aparentes, tensão de cisalhamento e taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru na temperatura de 25 °C.

Tem-se, na Figura 4.1 têm-se os dados experimentais da viscosidade aparente (mPa s) da polpa integral do fruto do mandacaru na temperatura de 25 °C, em função das velocidades de rotação. Verifica-se que, com o aumento da velocidade de rotação, houve um decréscimo na viscosidade aparente, comportamento este semelhante ao obtido por TORRES et al. (2003), ao avaliarem a reologia da polpa de umbu-cajá concentrada e por EVANGELISTA et al. (2003) em polpa de umbu.

Em termos percentuais, a diminuição da viscosidade aparente da velocidade de rotação de 20 rpm para 100 rpm foi de 41,05%. Baseando-se neste percentual fica evidenciado que o aumento da velocidade de rotação influencia na redução da viscosidade aparente.



**Figura 4.1** – Viscosidade aparente (mPa s) da polpa integral do fruto do mandacaru em função da velocidade de rotação (rpm) a 25 °C

A Tabela 4.2 mostra os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk, para a polpa integral do fruto do mandacaru na temperatura de 25 °C bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P).

Verifica-se, para todos os modelos que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram superiores a 0,99 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 1,2%, podendo-se utilizar

qualquer um dos modelos para representar o comportamento reológico da polpa integral do fruto do mandacaru com ótima precisão experimental, entretanto, dentre os modelos avaliados o que se ajustou melhor aos dados experimentais foi o de Mizrahi-Berk, em razão de ter apresentado o menor desvio percentual médio (P) e o maior  $R^2$ . PEREIRA et al. (2003) ao avaliarem o comportamento reológico na temperatura de 30 °C, da polpa de açaí com diferentes teores de sólidos totais (15,2; 12,5 e 9,7%) obtiveram, para o modelo de Ostwald-de-Walle (Lei da potência) coeficientes de determinação superiores a 0,98. SILVA et al. (2005b) ao ajustarem o modelo de Casson aos reogramas do suco de acerola (13 °Brix), nas temperaturas de 5, 20, 35, 50, 65 e 85 °C, também encontraram,  $R^2 > 0,99$ . CABRAL et al. (2002) obtiveram coeficientes de determinação superiores a 0,98 para o modelo de Herschel-Bulkley ao avaliarem o comportamento reológico da polpa de cupuaçu peneirada, nas temperaturas de 15, 20 e 25 °C. De forma semelhante, VIDAL et al. (2000) encontraram para o modelo de Mizrahi-Berk  $R^2 = 0,99$  ao trabalharem com polpa de manga integral nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.

Segundo LEWIS (1990) para valores de  $n < 1$ , a viscosidade aparente decresce com o aumento do gradiente de velocidade, caracterizando o fluido como pseudoplástico, para  $n > 1$ , é caracterizado como fluido dilatante e para  $n = 1$  o fluido é classificado como newtoniano. Daí se observaram os valores encontrados para o índice de comportamento do fluido ( $n$ ,  $n_H$  e  $n_M$ ), o qual é uma grandeza adimensional, verifica-se que foram todos inferiores a 1, sendo assim a polpa integral do fruto do mandacaru foi classificada como um fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico. Este comportamento se assemelha ao encontrado por QUEIROZ et al. (2004b) para o suco de cupuaçu nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C, e por VIDAL et al. (2004) para a polpa de manga centrifugada na faixa de temperatura de 10 a 60 °C.

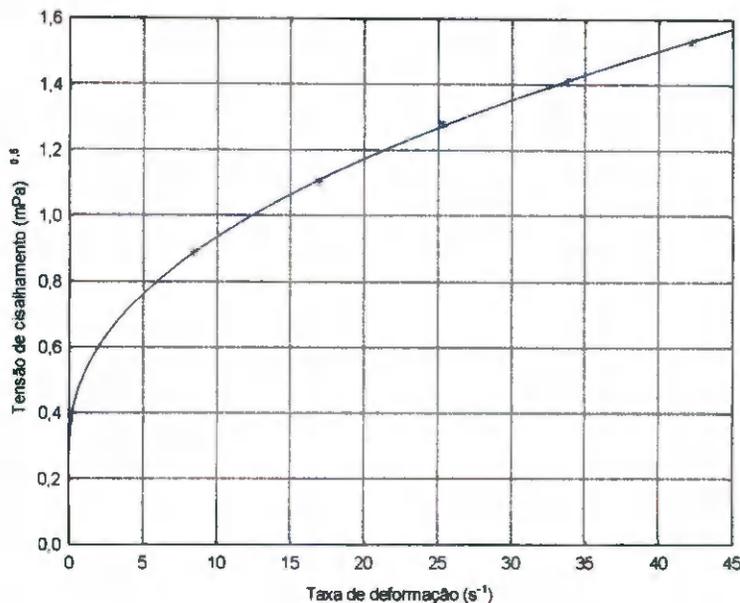
**Tabela 4.2** - Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) da polpa integral do fruto do mandacaru

Modelo	Parâmetro			$R^2$	P (%)
	K		n		
Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência)	0,1751		0,6930	0,9993	1,11
Casson	$K_{oc}$		$K_c$	$R^2$	P (%)
	0,3674		0,1801		
Herschel-Bulkley	$\tau_{0II}$	$K_{II}$	$n_{II}$	$R^2$	P (%)
	0,1869	0,1099	0,7969		
Mizrahi-Berk	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	$R^2$	P (%)
	0,3010	0,2195	0,4614		

O índice de consistência (K) do modelo da Lei da Potência, que indica o grau de resistência do fluido ao escoamento (MACHADO, 2002), apresentou um valor para a polpa integral do fruto do mandacaru pequeno, significando que se trata de um fluido pouco consistente. O valor do índice de consistência (K) obtido é inferior ao encontrado por PEREIRA et al. (2003) e HAMINIUK et al. (2006), que foram de 0,4 e 0,69 Pa s<sup>n</sup>, na temperatura de 30 °C, para a polpa de açaí com 9,7% de sólidos totais e para a polpa de amora preta, respectivamente.

Nas Figuras A.1 a A.3 (Apêndice A) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru com ajuste pelos modelos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência, Herschel-Bulkley e Casson.

Na Figura 4.2, pode ser visto o comportamento reológico da polpa do fruto do mandacaru, onde estão graficados os valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustados pelo modelo de Mizrahi-Berk, o qual foi considerado o melhor modelo. Observa-se que a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é constante, confirmando que se trata de um fluido não-newtoniano. VIDAL & GASPARETTO (2000) ao estudarem o comportamento reológico do suco integral de manga, na temperatura de 30 °C, também obtiveram o melhor ajuste com o modelo de Mizrahi-Berk ( $R^2 = 0,999$ ).



**Figura 4.2** – Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

## 4.2 – Seleção da formulação

Com a finalidade de selecionar a melhor Formulação (n<sup>o</sup> 1 a 5) para ser posteriormente desidratada pelo método de secagem em camada de espuma, determinaram-se os seguintes parâmetros: densidade da espuma, expansão volumétrica da espuma e estabilidade da espuma.

### 4.2.1 – Densidade da espuma

Na Tabela B.1 (Apêndice B) é apresentada a análise de variância dos valores médios da densidade das espumas das diferentes formulações em função da concentração de extrato de soja e diferentes tempos de batimento. Verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação tempo de batimento e concentração de extrato de soja e para a sua interação sobre os valores da densidade da espumas.

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores médios da densidade das espumas (g/cm<sup>3</sup>) das diferentes formulações em função das diferentes concentrações de extrato de soja (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%) e tempos de batimento (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min). Os valores da densidade da espuma do tempo zero não puderam ser determinados em razão de, neste

tempo, não existir espuma, apresentando as formulações duas fases distintas: sólido e líquido.

**Tabela 4.3** – Valores médios da densidade da espuma ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) das diferentes formulações em função da concentração de extrato de soja e do tempo de batimento

Tempo (min)	Concentração de extrato de soja (%)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
5	0,1566 aE	0,2386 eD	0,3122 dC	0,3882 eB	0,4666 dA
10	0,1531 abE	0,2344 eD	0,3183 dC	0,4216 dB	0,4889 cA
15	0,1367 cE	0,2528 dD	0,3625 cC	0,4505 cB	0,4945 cA
20	0,1325 cE	0,2894 cD	0,3877 bC	0,4584 cB	0,5087 bA
25	0,1348 cE	0,3138 bD	0,4053 aC	0,4698 bB	0,5142 abA
30	0,1482 bE	0,3288 aD	0,4115 aC	0,4862 aB	0,5219 aA

DMS colunas = 0,0081; DMS para linhas = 0,0077; CV = 0,971; MG = 0,3463  $\text{g}/\text{cm}^3$

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

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

Verifica-se individualmente, para cada tempo de batimento, que com o aumento da concentração de extrato de soja ocorre o aumento significativo da densidade da espuma das formulações de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Estes aumentos entre a amostra com 0% extrato de soja e a amostra com 2,0%, foram de 197,96; 219,33; 261,74; 283,92; 281,45 e 252,15%, para os tempos de batimento de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min, respectivamente. Contrariamente, KARIN & CHEE-WAI (1999) observaram para a polpa de carambola que com o aumento da concentração de metilcelulose (Methocel) houve redução da densidade da espuma. Diante desses resultados se constata que as características da polpa de fruta e o tipo e a concentração dos aditivos utilizados influenciam na densidade da espuma.

Analisando-se a influência do tempo de batimento nota-se, que para as formulações contendo extrato de soja (0,5; 1,0, 1,5 e 2,0%) que existe uma tendência de aumento da densidade da espuma com o aumento do tempo de batimento. Verifica-se para a formulação com 0,5% de extrato de soja que as densidades entre os tempos de batimento de 5 e 10 min são estatisticamente iguais, de acordo com o teste de Tukey, conseguindo-se a maior densidade da espuma aos 30 min de batimento. Observa-se, para a formulação com

1,0% de extrato de soja que as densidades da espuma entre os tempos de 5 e 10 min e entre 25 e 30 min são estatisticamente iguais, com o maior valor da densidade obtido no tempo de 30 min. Para a formulação com 1,5% de extrato de soja as médias da densidade da espuma são estatisticamente diferentes, exceto entre os tempos de 15 e 20 min, apresentando também a maior densidade aos 30 min de batimento. Para a formulação com 2,0% de extrato de soja, constata-se que não existe diferença significativa entre as densidades entre os tempos de 10 e 15 min, entre 20 e 25 min e entre 25 e 30 minutos, com o valor máximo da densidade atingido também aos 30 min. O aumento da densidade da espuma entre o tempo de batimento de 5 e 30 min foi de 37,80; 31,81; 25,24 e 11,85% para as formulações com 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de extrato de soja, respectivamente. O aumento da densidade da espuma pode ser atribuído, de acordo com LAU & DICKINSON (2005), à diminuição do filme líquido, maior deformação mecânica e maior ruptura da parede das bolhas durante o batimento prolongado. Similarmente, SANKAT & CASTAIGNE (2004) ao avaliarem a influência do tempo de batimento e da concentração de proteína de soja na densidade da espuma formulada com polpa de banana, verificaram que com o aumento do tempo de batimento, entre 0 (zero) e 12 min, houve um aumento da densidade da espuma, mas, contrariamente, com o aumento da concentração de proteína de soja houve redução da densidade.

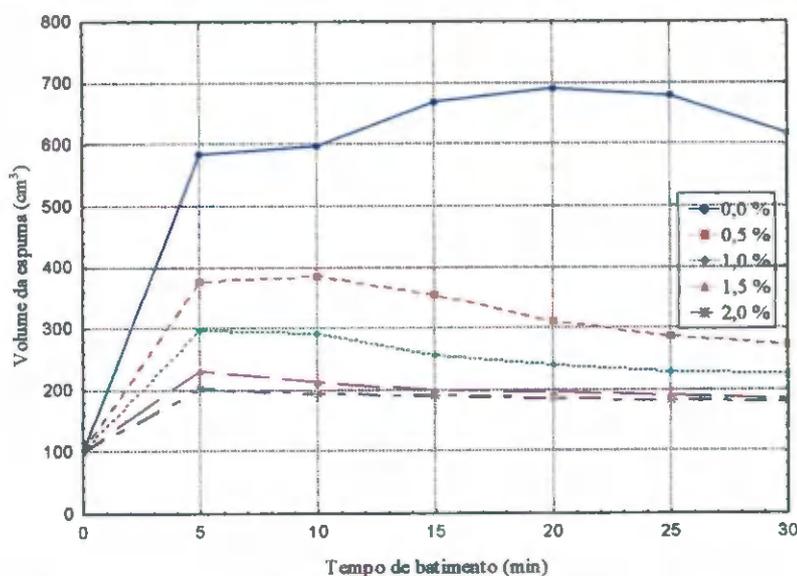
Diferentemente das formulações com adição de extrato de soja, a formulação com 0,0% não apresentou tendência de aumento da densidade com o aumento do tempo de batimento, verificam-se o maior valor da densidade da espuma aos 5 min de batimento. Comportamento inverso foi encontrado por THUWAPANICHAYANAN et al. (2008) para a polpa de banana com a adição de diferentes concentrações de albumina, em que o tempo de batimento influenciou na densidade da espuma de modo que esta foi reduzida até o tempo de 20 min e depois houve um aumento no valor da densidade. Esses mesmos pesquisadores também verificaram que quanto maior a concentração de albumina menor a densidade da espuma.

Nota-se que as médias encontradas para a densidade da espuma encontram-se numa faixa entre  $0,1531 \leq \rho \leq 0,5219 \text{ g/cm}^3$ , estando estes valores de acordo com a faixa considerada ideal por SOARES et al. (2001) que é entre 0,1 a 0,6  $\text{g/cm}^3$  e contrariando, algumas amostras, o valor recomendado por BATES (1964) de 0,5  $\text{g/cm}^3$ .

#### 4.2.2 – Expansão volumétrica

Apresentam-se na figura 4.3 estão apresentadas as curvas do volume da espuma ( $\text{cm}^3$ ) em função do tempo de batimento (min) para as diferentes formulações, com o tempo máximo avaliado de 30 min. As formulações testadas continham polpa do fruto do mandacaru adicionadas de percentuais fixo de 2% de albumina e de 2% de super liga neutra e com concentração variável de extrato de soja (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%). Verifica-se para as amostras com concentração de extrato de soja de 1,0; 1,5 e 2,0% que a maior expansão ocorreu no tempo de 5 minutos, com aumento do volume da espuma de 184,63; 119,14 e 90,89%, respectivamente, nota-se após este tempo que com o aumento do tempo de batimento há uma diminuição no volume da espuma. Para a formulação com 0,5% de extrato de soja, observa-se que há um aumento do volume com o tempo de batimento até os primeiros 10 minutos, posteriormente ocorre uma diminuição no volume da espuma. Já para a formulação contendo 0% de extrato de soja o aumento máximo do volume da espuma ocorre aos 20 min de batimento, em seguida este volume sofre um decréscimo. Constata-se ainda que as curvas das formulações com 1,5 e 2,0% de extrato de soja são muito próximas.

No processo de secagem em camada de espuma tem-se por objetivo encontrar o tempo de batimento da espuma, o que segundo RAJKUMAR et al. (2007) é obtido quando a espuma apresenta a maior expansão volumétrica e o menor valor de densidade, o que no caso deste trabalho, isso é possível ser obtido com o menor tempo de batimento.



**Figura 4.3** – Volume da espuma ( $\text{cm}^3$ ) em função do tempo de batimento (min) para as formulações contendo diferentes concentrações de extrato de soja

### 4.2.3 – Estabilidade da espuma

A partir dos resultados da expansão volumétrica e da densidade da espuma selecionou-se o tempo de batimento de 5 min para se avaliar a estabilidade das espumas.

Na Tabela 4.4 se apresentam equações de regressão (linear e quadrática), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), propostas para o cálculo do volume coletado do líquido drenado (mL), para um tempo de batimento da espuma de 5 min, em função do tempo de drenagem (min), para as formulações com diferentes concentrações de extrato de soja (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%). Sabe-se que este parâmetro é um indicativo da estabilidade da espuma durante a secagem.

Nota-se para todas as concentrações de extrato de soja (%) que a equação que melhor representou o volume coletado do líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) foi a equação quadrática, apresentando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,96.

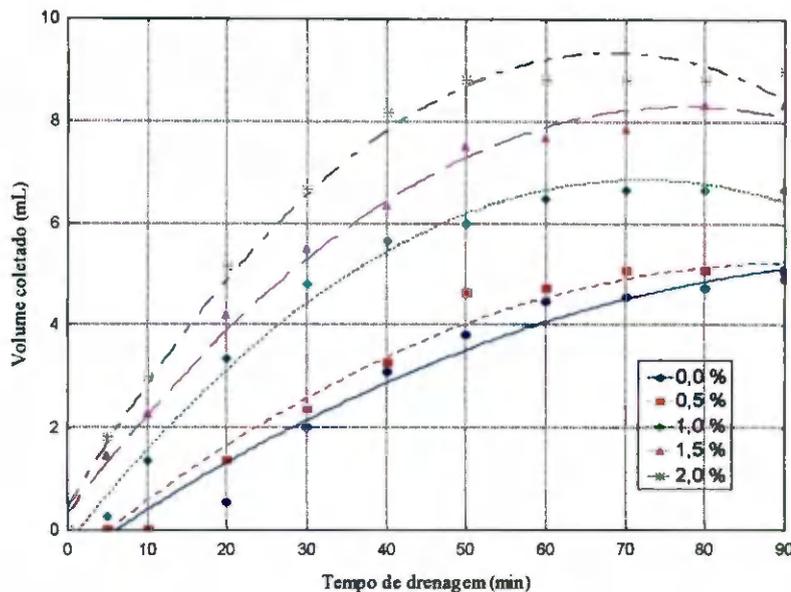
**Tabela 4.4** - Equações de regressão propostas para o cálculo do volume coletado do líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%)

Concentração de extrato de soja (%)	Equação	$R^2$
0,0	$V = -0,1270 + 0,0648t$	0,9341
	$V = -0,6164 + 0,1070t - 0,0005t^2$	0,9651
0,5	$V = 0,0749 + 0,0676t$	0,9135
	$V = -0,6380 + 0,1291t - 0,0007t^2$	0,9726
1,0	$V = 1,1282 + 0,0782t$	0,8374
	$V = -0,2568 + 0,1977t - 0,0014t^2$	0,9901
1,5	$V = 1,6711 + 0,0901t$	0,8803
	$V = 0,3275 + 0,2061t - 0,0013t^2$	0,9939
2,0	$V = 2,3851 + 0,0943t$	0,7956
	$V = 0,4571 + 0,2607t - 0,0019t^2$	0,9887

V – volume de líquido coletado (mL); t – tempo de drenagem (min).

Na Figura 4.4 têm-se a representação gráfica do volume coletado do líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%), com ajuste pela equação de quadrática. Segundo BASTOS et al. (2005) a importância deste teste reside na determinação de um nível mínimo de agente estabilizante necessário para a produção de espuma com estabilidade adequada para o processo de secagem em camada de espuma. Muitos alimentos contêm naturalmente proteína solúvel e monoglicérides e produzem espumas quando batidos, no entanto a espuma produzida é insatisfatória para a desidratação. Por isso é necessária a adição de agentes espumantes e estabilizantes, para induzir a formação da espuma e transmitir estabilidade (BATES, 1964). Os aditivos que foram adicionados à formulação com o objetivo de ter a função de agente espumante foram a albumina, de estabilizante a Super Liga Neutra, e de surfactante, a proteína de soja.

Como a estabilidade da espuma é um parâmetro importante para a secagem em camada de espuma e é inversamente proporcional ao volume de líquido coletado, observa-se na Figura 4.4 que com o aumento da concentração de extrato de soja (%) ocorre um aumento no volume coletado de líquido (mL), sendo assim, a formulação que apresentou maior estabilidade foi a com 0% de extrato de soja. Contrariamente, RAHARITSIFA et al. (2006) ao avaliarem a estabilidade de espumas de formulações elaboradas com suco de maçã e com os aditivos, proteína de ovo e metilcelulose, em diferentes concentrações, verificaram que com o aumento destes aditivos houve um decréscimo do volume coletado. BASTOS et al. (2005) também verificaram que a estabilidade de espumas com diferentes concentrações de Twen 60 adicionados à polpa de manga aumentou com o aumento da concentração do aditivo.



**Figura 4.4** – Volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de drenagem (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%) com ajuste pela equação quadrática

Tem-se na Figura B.1 (Apêndice B) a representação gráfica do volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de batimento (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%), com ajuste pela equação linear.

Com os dados apresentados, nota-se através dos parâmetros densidade da espuma, expansão volumétrica e estabilidade da espuma, que a Formulação nº 1, composta por polpa integral do fruto do mandacaru + 2% de albumina + 2% de Super Liga Neutra e sem a adição de extrato de soja, apresentou os melhores resultados. Para o tempo de batimento de 5 min a densidade da espuma produzida a partir desta formulação foi de  $0,1566 \text{ g/cm}^3$ , dentro da faixa recomendada por SOARES et al. (2001); a expansão volumétrica foi de  $584,57 \text{ cm}^3$  e a estabilidade da espuma medida através do volume coletado de líquido drenado que foi de no máximo 4,91 mL para o tempo avaliado de 90 min. Sendo assim, esta foi a formulação selecionada para a realização da segunda etapa deste trabalho que foi a secagem em camada de espuma.

### 4.3 – Caracterização físico-química da espuma selecionada

A Tabela 4.5 apresentada os valores experimentais da caracterização físico-química e física da espuma selecionada (Formulação nº 1) composta de polpa integral do fruto do

mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra, para um tempo de batimento de 5 min.

Analisando a Tabela 4.5 e comparando-a com a Tabela 4.1 (polpa integral do fruto do mandacaru), verifica-se que o pH da espuma é maior que o da polpa integral (18,12%), indicando que a incorporação dos aditivos à polpa influenciou o pH tornando a espuma com característica menos ácida.

Como previsto, ocorreu aumento no valor dos sólidos solúveis totais (26,94%), sólidos totais (55,76%) e cinzas (123,60%) e redução no valor da umidade (5,71%), visto que houve adição de material sólido à polpa. Uma das características que mais sofreu influência da adição dos aditivos foi o teor de ácido ascórbico, que teve seu valor dobrado (103,11%), em relação à polpa.

A acidez total titulável e os açúcares redutores da espuma mostraram valores cerca de 6,04 e 21,69%, respectivamente, inferiores aos da polpa integral; este fato indica que os aditivos incorporados a formulação não continham ácido cítrico e os açúcares existentes na Super Liga Neutra eram provavelmente a sacarose (açúcares não redutores).

Observa-se que para o valor das proteínas na espuma é 23,81% maior do que a da polpa integral. Este aumento foi devido à incorporação da albumina que é a principal proteína presente na clara do ovo.

A densidade da espuma quando comparada com a densidade da polpa integral do fruto do mandacaru foi reduzida em 84,86%, provocado pela incorporação dos aditivos e ar devido ao batimento. Nota-se que o valor encontrado da densidade da espuma de 0,1566 g/cm<sup>3</sup>, encontra-se na faixa considerada ideal por SOARES et al. (2001) que é de 0,1 a 0,6 g/cm<sup>3</sup>.

Para os atributos de cor, nota-se que os parâmetros, luminosidade (L\*) e intensidade de vermelho (+a\*) aumentaram, em relação à polpa integral, em cerca de 89,67 e 511,51%, enquanto que o valor de b\* passou da escala positiva (intensidade de amarelo) para a escala negativa (intensidade de azul) tendo sido reduzido em 150,61%. Com base nestes valores, constata-se que a incorporação dos aditivos à polpa resultou em um clareamento da amostra verificado principalmente pelo valor de L\* que quanto mais próximo do valor 100 (branco) mais clara é a amostra.

**Tabela 4.5** - Caracterização físico-química e física da espuma selecionada (Formulação nº1)

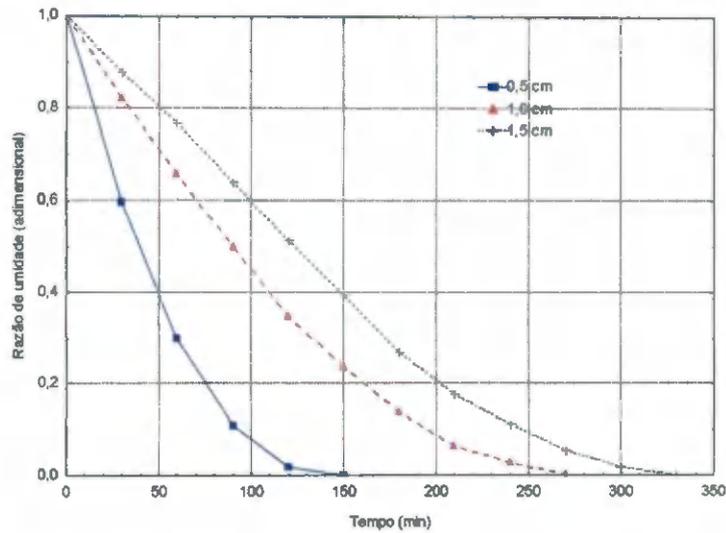
Parâmetro	Média ± desvio padrão
pH	5,15±0,01
Sólidos solúveis totais (°Brix)	13,57±0,14
Umidade (% b.u.)	85,53±0,43
Sólidos totais (%)	14,47±0,43
Ácido ascórbico (mg/100 g)	8,6938±0,0788
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,2102±0,0039
Cinzas (%)	0,7390±0,0193
Açúcares redutores (% glicose)	8,52±0,11
Proteína (%)	0,26±0,0089
Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) (25 °C)	0,1566±0,0003
Luminosidade (L*)	62,7025±0,0828
Intensidade de vermelho (+a*)	3,3248±0,1907
Intensidade de azul (-b*)	-0,8935±0,0861

#### 4.4 – Secagem em camada de espuma

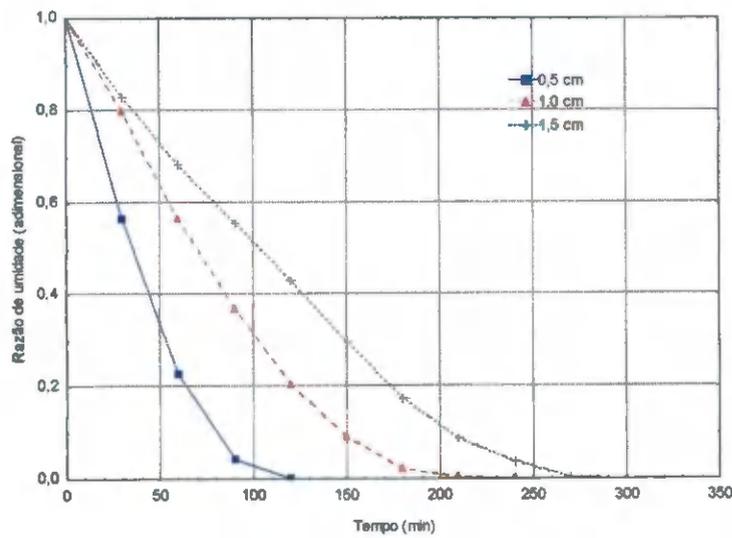
##### 4.4.1 - Influência da espessura da camada

Nas Figuras 4.5 a 4.7 estão representadas as cinéticas de secagem da formulação selecionada (Formulação nº 1 - polpa integral do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra), para um tempo de batimento de 5 min, com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm e temperaturas de secagem de 70, 80 e 90 °C. Os dados graficados estão na forma adimensional de umidade (razão de umidade) em função do tempo de secagem. O processo de secagem foi, em todas as amostras, mais rápido para as espessuras menores. Os tempos de secagem foram de 2 h e 30 min, 4 h e 30 min e 5 h e 30 min, para a temperatura de 70 °C; 2 h, 4 h e 5 h, para a temperatura de 80 °C e de 1 h e 30 min, 3 h e 30 min e 4 h e 30 min, para a temperatura de 90 °C, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente. Observa-se que todas as curvas foram influenciadas pela espessura da camada. Este comportamento também foi observado por RAJKUMAR et al. (2007) ao estudarem a cinética de secagem da polpa de manga com

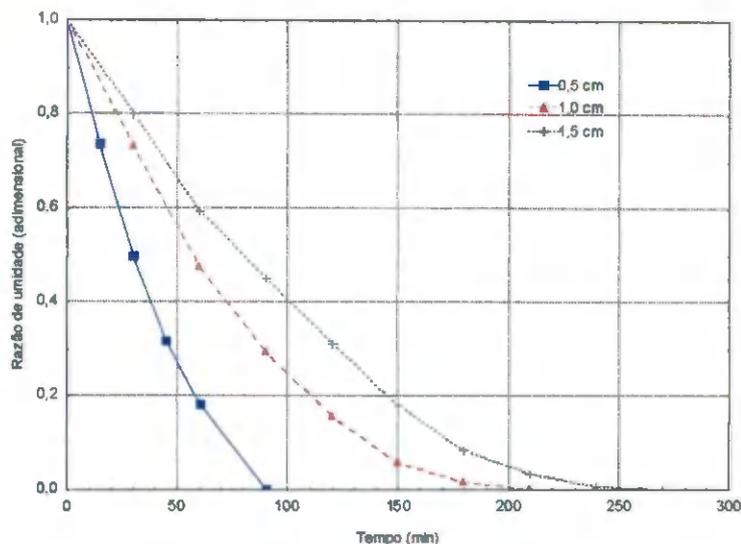
adição de albumina e metilcelulose, na temperatura de 60 °C e espessuras da camada de espuma de 1, 2 e 3 mm.



**Figura 4.5** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 a 70 °C para as diferentes espessuras da camada de espuma



**Figura 4.6** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 a 80 °C para as diferentes espessuras da camada de espuma



**Figura 4.7** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 a 90 °C para as diferentes espessuras da camada de espuma

#### 4.4.2 - Influência da temperatura

Nas Figuras 4.8 a 4.10 estão representadas as cinéticas de secagem da Formulação nº 1, para um tempo de batimento de 5 min, nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, na forma adimensional de umidade (razão de umidade) em função do tempo de secagem. Constata-se que as curvas de secagem foram influenciadas pela temperatura, com a redução gradativa nos tempos sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem, para todas as espessuras, e que a perda de umidade é mais rápida no início do processo de secagem. ALEXANDRE et al. (2006), ao estudarem a cinética de secagem em camada de espuma de pitanga, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, também verificaram influência da temperatura no processo de secagem.

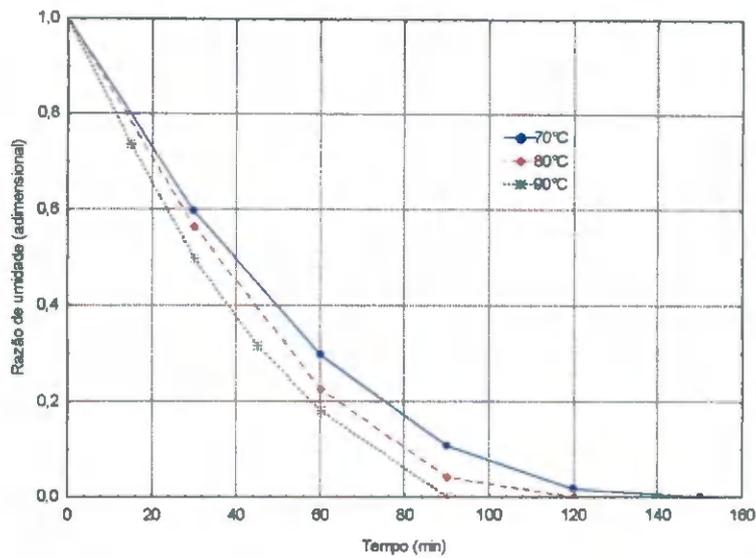


Figura 4.8 – Cinéticas de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm nas diferentes temperaturas

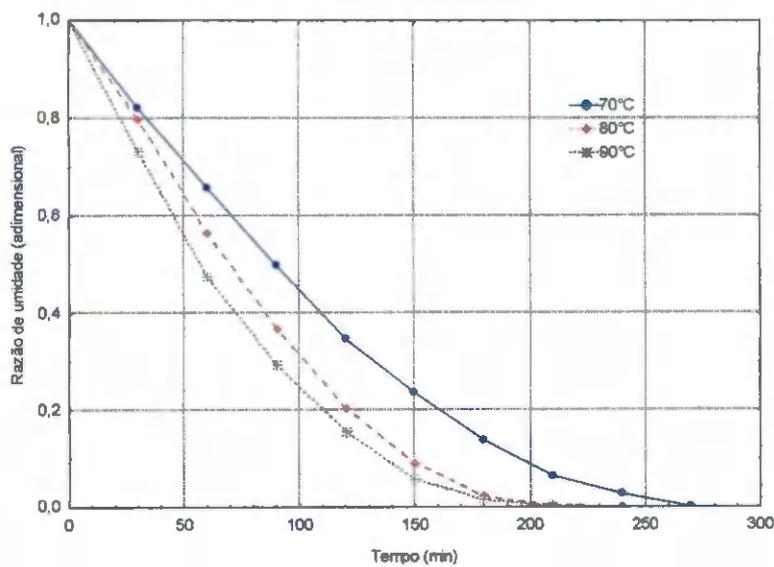
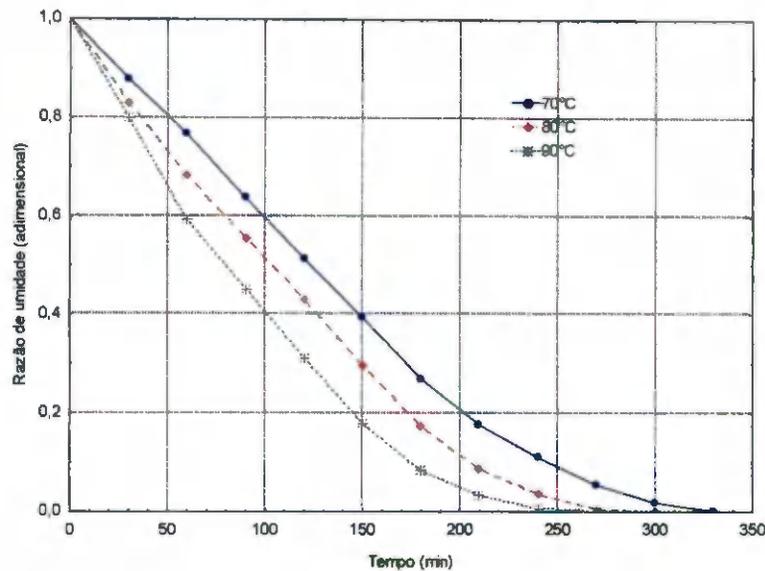


Figura 4.9 – Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm nas diferentes temperaturas



**Figura 4.10** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm nas diferentes temperaturas

#### 4.4.3 – Modelos matemáticos

Apresentam-se na Tabela 4.6 os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata, ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas, e 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 da Formulação nº 1, em razão de terem apresentado coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,98 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,01. Semelhantemente, DOYMAZ (2008), ao estudar a secagem de morango nas temperaturas de 50, 55 e 65 °C obteve para o modelo de Page  $R^2 > 0,99$ ; já BABALIS et al. (2006) ao estudarem a secagem de figo nas temperaturas de 55 a 85 °C e velocidade de ar de secagem de 1 m/s, encontraram, para o modelo de Henderson & Pabis,  $R^2 > 0,99$ . Com o modelo de Cavalcanti Mata, CARVALHO et al. (2007), obtiveram  $R^2$  igual a 0,9562, ao ajustarem este modelo à curva de secagem da polpa de umbu-cajá adicionada de amido modificado, na temperatura de 70 °C.

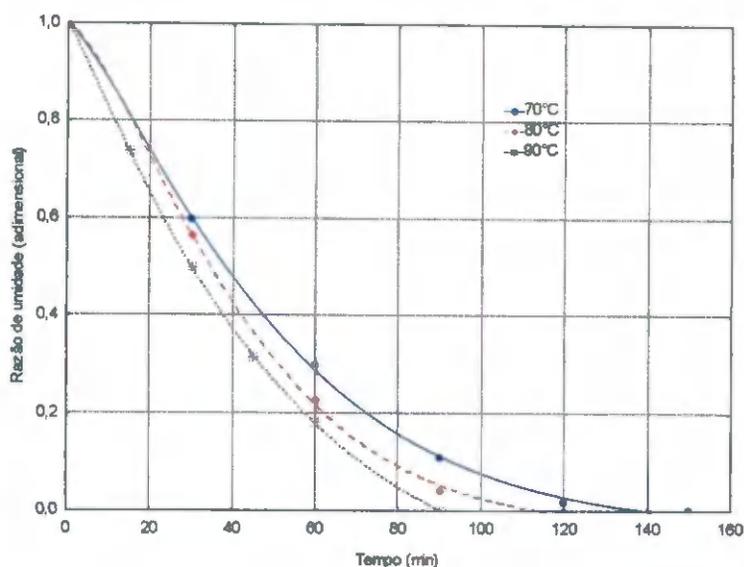
Nota-se, para o modelo de Henderson & Pabis, que o parâmetro K aumentou com o aumento da temperatura, comportamento verificado também por KAYA et al. (2007) ao estudarem a cinética de secagem de maçã nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, e umidade relativa de 40%. Dentre os modelos testados o de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os

melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,99, e menores desvios quadráticos médios, inferiores a 0,0002; tal comportamento era esperado em razão de, quanto maior o número de parâmetros de um modelo, geralmente melhor é o ajuste.

**Tabela 4.6** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro						$R^2$	DQM
		K		n					
Page	70	0,0049		1,3602				0,998	0,0001
	80	0,0036		1,4854				0,999	0,0002
	90	0,0076		1,3312				0,995	0,0005
Henderson & Pabis	Temperatura (°C)	a			K			$R^2$	DQM
Henderson & Pabis	70	1,0254			0,0216			0,985	0,0014
	80	1,0247			0,0247			0,980	0,0028
	90	1,0356			0,0268			0,980	0,0023
Cavalcanti Mata	Temperatura (°C)	$a_1$	b	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$R^2$	DQM
Cavalcanti Mata	70	0,516	0,006	1,266	0,516	1,266	-0,034	0,999	0,0000
	80	0,515	0,005	1,389	0,515	1,389	-0,031	0,999	0,0001
	90	0,592	0,012	1,112	0,592	1,112	-0,183	0,999	0,0000

A Figura 4.11 mostra as cinéticas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm nas diferentes temperaturas avaliadas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata, considerado o melhor modelo dentre os testados; comportamento semelhante também foi observado por MELO et al. (2008b) na estimativa das curvas de secagem da uva cv. Crympton, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, tendo-se encontrado  $R^2 > 0,99$ .

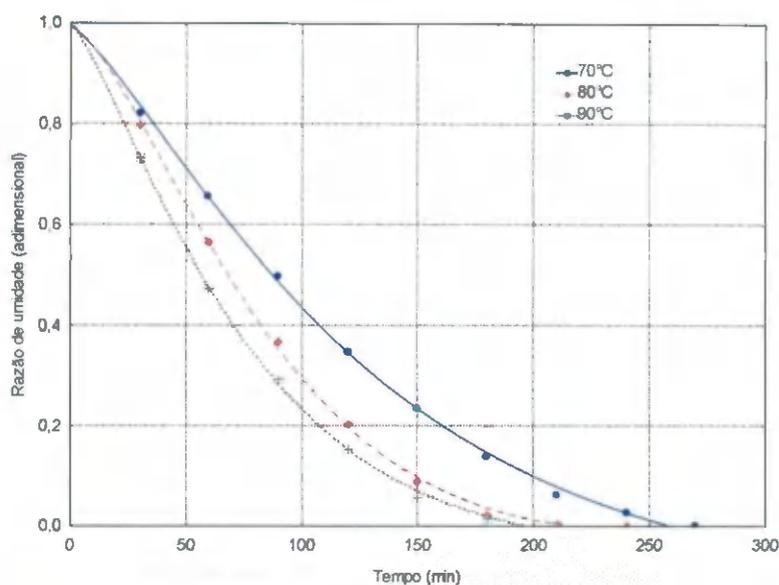


**Figura 4.11** – Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

Vê-se, na Tabela 4.7 os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata, ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios. Nota-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem da Formulação nº 1, em razão de terem apresentado coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,96 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,01. DANDAMRONGRAK et al. (2002) ao estudarem a cinética de secagem de banana na temperatura de 50 °C, encontraram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,9999 e desvio quadrático médio inferior a 0,0150 para o modelo de Page. DOYMAZ (2004a) ao estudar a cinética de secagem de amora, na temperatura de 50 °C e velocidade do ar de secagem de 1,0 m/s, encontrou  $R^2$  igual a 0,984 e desvio quadrático médio de 0,03435 para o modelo de Henderson & Pabis. AGRA (2006) ao estudar a secagem de manga, a 55 °C também encontrou para o modelo de Cavalcanti Mata  $R^2 > 0,99$ .

Dentre os modelos testados o de Cavalcanti Mata resultou nos melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,99, e os menores desvios quadráticos médios, inferiores a 0,001.

Nota-se, ainda, para o modelo de Henderson & Pabis que o parâmetro K aumentou com o aumento da temperatura; este comportamento também foi observado por



**Figura 4.12** – Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

Na Tabela 4.8 são apresentados os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata, ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM). Observa-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem da Formulação nº 1, em razão de terem apresentado coeficientes de determinação superiores a 0,95 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,01. DOYMAZ (2004b), ao trabalhar com a secagem de ameixas na temperatura de 65 °C encontrou para os modelos de Page e Henderson & Pabis valores de coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,03, enquanto GOYAL et al. (2006) ao estudarem a secagem de manga, também encontraram para os modelos de Page e Henderson & Pabis  $R^2$  superiores a 0,98.

Dentre os modelos testados o de Cavalcanti Mata apresentou os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação,  $R^2 > 0,99$ , e os menores desvios quadráticos médios,  $DQM < 0,001$ . UGULINO (2007) ao estudar a secagem de passa de jaca, desidratada osmoticamente nas concentrações de 40 e 50 °Brix, nas temperaturas de 45, 60 e 75 °C, encontrou para este modelo valores de  $R^2 > 0,99$ .

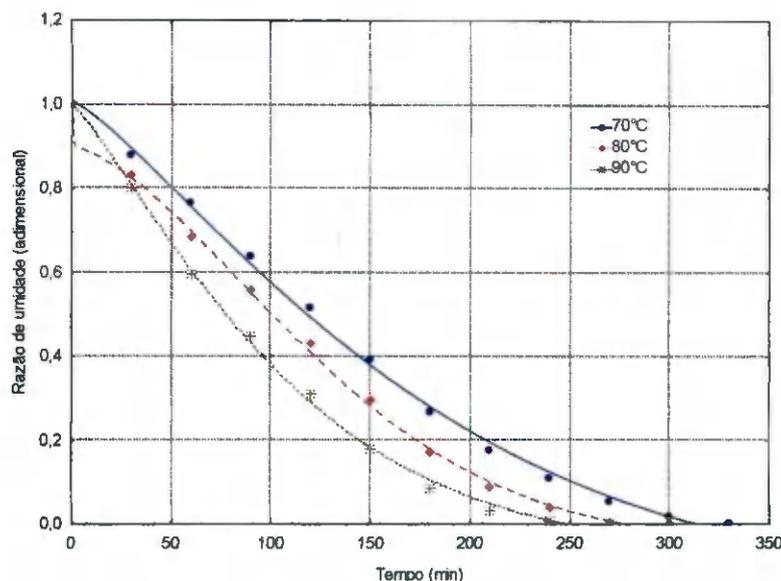
Verifica-se para o modelo de Page que o parâmetro K aumentou e o n diminuiu com o aumento da temperatura. Nota-se também para o modelo de Henderson & Pabis, que

o parâmetro K aumentou e o parâmetro a diminuiu com o aumento da temperatura; tal comportamento também foi verificado por FREITAS et al. (2007) ao estudarem a cinética de secagem de manga em fatias nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

**Tabela 4.8** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas avaliadas

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro						$R^2$	DQM
		K		n					
Page	70	0,0006		1,4765				0,994	0,0007
	80	0,0009		1,4578				0,991	0,0010
	90	0,0017		1,3888				0,995	0,0005
Henderson & Pabis	Temperatura (°C)	a						$R^2$	DQM
		K							
Henderson & Pabis	70	1,0941						0,956	0,0050
	80	1,0719						0,962	0,0043
	90	1,0590						0,975	0,0029
Cavalcanti Mata	Temperatura (°C)	$a_1$	b	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$R^2$	DQM
Cavalcanti Mata	70	0,521	0,001	1,262	0,654	1,285	-0,170	0,998	0,0002
	80	0,938	0,0002	1,656	366,7	0,035	-366,7	0,999	0,0001
	90	0,509	0,003	1,248	0,563	1,243	-0,077	0,998	0,0002

Na Figura 4.13 se apresenta as cinéticas de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata, que foi o que apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais. Este excelente ajuste com o modelo de Cavalcanti Mata também foi observado por MEDEIROS (2007) ao determinar a cinética de secagem da polpa de mangaba formulada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, tendo-se encontrado coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,1.



**Figura 4.13** – Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata

Nas Figuras C.1 a C.6 se apresentam as curvas de secagem da Formulação nº 1, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C, com ajustes pelos modelos de Page e Henderson & Pabis.

#### 4.5 – Caracterização físico-química e física da polpa do fruto do mandacaru em pó

Neste item estão relacionados os parâmetros avaliados da caracterização físico-química e física do pó produzido a partir da espuma composta de polpa do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra (Formulação nº 1), desidratada nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm.

##### 4.5.1 - pH

Na Tabela D.1 (Apêndice D) tem-se a análise de variância dos valores do pH da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e diferentes espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de

secagem e espessura da camada de espuma e a 5% de probabilidade para a interação entre esses dois fatores.

Na Tabela 4.9 são apresentados os valores médios do pH da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Verifica-se, analisando a influência da temperatura nos valores médios do pH que, de forma geral, houve tendência de aumento deste parâmetro com o aumento da temperatura de secagem. BASTOS et al. (2005) também verificaram este comportamento para a desidratação em camada de espuma da polpa de manga nas temperaturas de 70 e 85 °C. FELLOWS (2006) descreveu que à medida que o processo de desidratação avança, algumas substâncias antes solúveis no alimento alcançam à saturação e precipitam. É possível que uma desnaturação baseada neste princípio tenha acontecido durante a desidratação da polpa, e, após a reconstituição do pó em água, algumas substâncias desnaturadas podem não ter voltado a se dissolverem, o que pode ter refletido no pH das polpas reconstituídas (BASTOS et al., 2005). Além de que, conforme GAVA (1998) produtos desidratados quando reconstituídos ou reidratados sofrem a perda de certos constituintes, principalmente as vitaminas, refletindo nos valores do pH. Este aumento do pH em porcentual, entre a média da amostra em pó desidratada na temperatura de 70 °C e a média da amostra em pó desidratada a 90 °C, foi de 1,10; 1,70 e 1,37%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5%, respectivamente.

Analisando-se os dados de pH para cada espessura da camada de espuma, verifica-se, para a espessura de 0,5 cm, que as médias obtidas das amostras em pó desidratadas nas temperaturas de 70 e 80 °C são estatisticamente iguais, e estas são estatisticamente diferentes quando comparadas com o pH da amostra em pó desidratada na temperatura de 90 °C. Para as espessuras de 1,0 e 1,5 cm, constata-se que as médias do pH das amostras em pó desidratadas nas 3 (três) temperaturas são estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Sendo assim a temperatura de secagem influenciou na redução do pH das amostras com o aumento da temperatura

**Tabela 4.9** – Valores médios do pH da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	5,45±0,01 bA	5,29±0,01 cB	5,11±0,01 cC
80	5,47±0,01 bA	5,33±0,01 bB	5,13±0,01 bC
90	5,51±0,01 aA	5,38±0,01 aB	5,18±0,01 aC

DMS p/ colunas = 0,02; DMS p/ linhas = 0,02; CV = 0,18%; MG = 5,32

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Analisando-se a influência da espessura da camada de espuma sobre o pH das amostras em pó, nota-se que com o aumento da espessura houve uma menor oxidação das amostras, apresentando valores significativamente menores do pH com o aumento da espessura para todas as temperaturas de secagem. Estas diferenças em percentual, para todas as temperaturas de secagem, entre a média do pH na amostra em pó produzida com espessura da camada de espuma de 0,5 cm e a média da amostra em pó produzida com espessura da camada de espuma de 1,5 cm foram de 6,24; 6,22 e 5,99%, para as temperaturas de secagem de 70, 80 e 90 °C, respectivamente. Uma hipótese para este comportamento é que quanto maior a espessura da camada de espuma, menor a oxidação da amostra, em razão de parte da espuma, camada intermediária, ser submetida a uma exposição menor ao oxigênio e temperaturas mais amenas, os quais são os principais responsáveis pela oxidação.

O menor pH da amostra em pó foi obtido para a temperatura de secagem de 70 °C e espessura da camada de espuma 1,5 cm e o maior pH para a temperatura de 90 °C e espessura de 0,5 cm.

#### 4.5.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix)

Na Tabela 4.10 são apresentados os valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Observa-se que não houve influência da temperatura de secagem nem da espessura da camada de espuma nos

sólidos solúveis totais (°Brix) do produto final, obtendo-se os mesmos valores para todas as amostras do produto em pó. Comportamento semelhante foi encontrado por LOUREIRO (2006) ao secar polpa de buriti nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, tendo sido encontrado teores de sólidos solúveis totais igual a 10,27 °Brix. Contrariamente RAJKUMAR et al. (2007) ao desidratarem polpa de manga com a adição de 10% de albumina e 0,5% de metilcelulose, pelo método de secagem em camada de espuma, a 60, 65 e 75 °C e espessuras da camada de espuma de 1, 2 e 3 mm, verificaram redução dos sólidos solúveis totais (°Brix) para ambos os fatores avaliados (temperatura e espessura), com valores variando de 16,40 a 16,20 °Brix.

Comparando-se os sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa do fruto do mandacaru em pó com a polpa do fruto do mandacaru integral (Tabela 4.1) observa-se que houve um aumento de 53,41%; este comportamento era esperado em razão do processo de secagem eliminar parte da água contida nas amostras, concentrando os sólidos solúveis totais.

**Tabela 4.10** – Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	16,40±0,00	16,40±0,00	16,40±0,00
80	16,40±0,00	16,40±0,00	16,40±0,00
90	16,40±0,00	16,40±0,00	16,40±0,00

#### 4.5.3 – Umidade

Na Tabela D.2 (Apêndice D) tem-se a análise de variância da umidade (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e diferentes espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, e para a interação entre estes dois fatores.

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores médios da umidade (% b.u.) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) Analisando-se a influência da temperatura de secagem no teor de umidade, nota-se que houve uma tendência de redução

da umidade com o aumento da temperatura. A redução entre a umidade da amostra em pó seca na temperatura de 70 °C e a umidade da amostra seca a 90 °C, foi de 71,75; 66,04 e 69,55%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

**Tabela 4.11** – Valores médios da umidade (% b.u.) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	12,14±0,59 aC	13,22±0,25 aB	15,14±0,70 aA
80	10,06±0,54 bC	11,93±0,47 bB	14,53±0,28 aA
90	3,43±0,09 cB	4,49±0,22 cA	4,61±0,20 bA

DMS p/ colunas = 0,88; DMS p/ linhas = 0,88; CV (%) = 4,22; MG = 9,95%

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observando-se o comportamento da umidade das amostras em pó desidratadas com espessuras da camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm, constata-se que os valores médios diminuem significativamente com o aumento da temperatura de secagem, de acordo com o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para a espessura da camada de espuma de 1,5 cm, verifica-se que entre a umidade média da amostra em pó seca a 70 °C e a umidade da amostra seca a 80 °C não existe diferença significativa, havendo na amostra seca a 90 °C uma redução significativa em relação as demais temperaturas.

Avaliando-se a influência da espessura da camada de espuma nos teores de umidade das amostras em pó, nota-se uma tendência de aumento da umidade com o aumento da espessura da espuma. Para as temperaturas de 70 e 80 °C este aumento foi estatisticamente significativo entre todas as médias. Para a temperatura de 90 °C, observa-se que não existe diferença significativa entre a umidade da amostra seca com 1,0 cm e a amostra seca com 1,5 cm, porém entre estas espessuras e a umidade da amostra seca com espessura de 0,5 cm existe diferença significativa. O aumento da umidade entre a amostra seca com 0,5 cm e amostra seca com 1,5 cm foi de 24,71; 44,43 e 34,40% para as temperaturas de 70, 80 e 90 °C, respectivamente.

Avaliando-se os comportamentos dos parâmetros estudados: temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, verifica-se que ambos os resultados apresentados eram esperados, já que durante o processo de secagem ocorre a remoção da água do produto, com o objetivo principal de inibir o desenvolvimento de micro-organismos. A remoção da água ocorre por vaporização térmica, com o auxílio de ar aquecido, que flui pela superfície, essa vaporização térmica se processa numa temperatura inferior a de ebulição da água e depende, dentre vários fatores do ar de secagem e da temperatura (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002). Justifica-se, então, a redução da umidade com o aumento da temperatura, por que com o aumento da mesma, há um aumento da água evaporada. Em relação ao aumento da umidade com o aumento da espessura da camada de espuma, este resultado também era previsto, uma vez que o material desidratado com maior espessura apresenta maior dificuldade para a água ser evaporada, em razão da menor transferência de calor e massa, o que torna mais fácil a evaporação com camadas menores.

A variação da umidade das amostras em pó para as diferentes condições de secagem era provável, já que as secagens foram realizadas até peso constante e não estabelecendo apenas um teor de umidade final.

Valores superiores aos da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação n° 1), de umidade de amostras em pó obtidas através de secagem em estufa a 70 °C, foram determinados por SILVA et al. (2005a), para a polpa de umbu-cajá em pó com umidade entre 16 e 17%, e por ALEXANDRE (2005), para a polpa de pitanga em pó também desidratada pelo processo de secagem em camada de espuma com teor de 20,40%. Teor de umidade inferior ao da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação n° 1) seco a 70 °C foi determinado por SOARES et al. (2001) para a polpa de acerola em pó, com umidade de 7,2%. Teor próximo de umidade ao da amostra em pó (Formulação n° 1) seca a 70 °C com a camada de espuma de 1,5 cm foi encontrado por GALDINO et al. (2003) para a polpa de umbu em pó, produzida a 60 °C, que foi de 16,75%.

Observa-se que a média geral da umidade das amostras em pó (Formulação n° 1) foi igual a 9,95%, sendo este valor superior ao encontrado por OLIVEIRA et al. (2006) para o pó de pitanga desidratado em secador por aspersão, que foi de 7,88%.

A menor umidade da amostra em pó foi obtida para a temperatura de secagem de 90 °C e espessura da camada de espuma 0,5 cm e a maior para a temperatura de 70 °C e espessura de 1,5 cm.

#### 4.5.4 – Acidez total titulável

Na Tabela D.3 (Apêndice D) tem-se a análise de variância da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e diferentes espessuras da camada de espuma. Nota-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, porém não houve efeito significativo para a interação entre esses dois fatores.

Na Tabela 4.12 são apresentados os valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Nota-se que com o aumento da temperatura de secagem, houve uma redução significativa da acidez total titulável para todas as espessuras da camada de espuma. Este resultado era previsto, visto que os ácidos orgânicos se oxidam com a temperatura e quanto maior for a temperatura maior a oxidação dos mesmos. BASTOS et al. (2005), apesar de não terem detectado diferenças significativas entre os valores da acidez total das polpas de manga (Tommy atkins) desidratadas a 70 e 85 °C, verificaram que houve tendência de diminuição da acidez em função do aumento da temperatura de secagem.

Para a polpa do fruto do mandacaru em pó a redução da acidez total titulável com o aumento da temperatura entre a amostra produzida a 70 °C e a amostra produzida a 90 °C foi de 9,66; 7,44 e 7,88%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente. Estas reduções da acidez com o aumento da temperatura são inversas ao do pH, corroborando os resultados.

Observa-se que com o aumento da espessura da camada de espuma houve aumento significativo nos valores da acidez total titulável para todas as temperaturas de secagem, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Estes aumentos entre a acidez da amostra produzida com 0,5 cm espessura e a acidez da amostra produzida com 1,5 cm espessura foram de 5,12; 6,18 e 7,20%, para as amostras produzidas nas temperaturas de secagem de 70, 80 e 90 °C, respectivamente.

Constata-se que a menor oxidação dos ácidos orgânicos ocorreu para a amostra em pó seca a 70 °C com 1,5 cm de espessura da camada de espuma, condição de menor temperatura de secagem e maior espessura avaliada.

**Tabela 4.12** – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	1,9775±0,0083 aC	2,0277±0,0091 aB	2,0787±0,0122 aA
80	1,8507±0,0043 bC	1,9304±0,0308 bB	1,9651±0,0116 bA
90	1,7864±0,0363 cC	1,8769±0,0266 cB	1,9150±0,0022 cA

DMS p/ colunas = 0,0319; DMS p/ linhas = 0,0319; CV (%) = 0,79; MG = 1,9343% ácido cítrico

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

#### 4.5.5 – Ácido ascórbico

Na Tabela D.4 (Apêndice D) tem-se a análise de variância dos valores do ácido ascórbico (mg/100 g) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e diferentes espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e para a interação entre estes dois fatores.

Na Tabela 4.13 se encontram os valores médios do ácido ascórbico (mg/100g) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Verifica-se que os teores de ácido ascórbico das amostras em pó, em valores absolutos, são superiores aos da polpa do fruto do mandacaru integral, em razão da água evaporada concentrar o teor de ácido ascórbico.

**Tabela 4.13** – Valores médios do ácido ascórbico (mg/100 g) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	22,7694±0,6849 cC	25,6067±0,0039 cB	30,5240±0,0185 cA
80	35,5582±0,0360 bB	36,6426±0,0635 bB	40,4218±0,6459 bA
90	43,3957±0,0050 aB	44,4346±0,0997 aB	47,3762±1,6222 aA

DMS p/ colunas = 1,3059; DMS p/ linhas = 1,3059; CV (%) = 1,7259; MG = 36,3032 mg/100g

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observa-se que com o aumento da temperatura os valores do ácido ascórbico das amostras em pó são significativamente maiores, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para todas as espessuras da camada de espuma avaliadas. A superioridade dos valores do teor de ácido ascórbico entre a amostra produzida na temperatura de 70 °C e a amostra produzida a 90 °C foi de 90,59; 73,53 e 55,21%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente. A superioridade dos valores de ácido ascórbico na maior temperatura em relação à menor temperatura de secagem se deve provavelmente a menor degradação do ácido ascórbico provocado pelo menor tempo de secagem a 90 °C. Esta superioridade dos valores do ácido ascórbico com o aumento da temperatura também foi verificado por SILVA et al. (2008) para a polpa de tamarindo desidratada por secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, onde estes pesquisadores relacionaram as maiores reduções ao maior tempo de exposição do produto ao ar de secagem e à elevada atividade de água e teor de umidade presentes na amostra. Outra hipótese para este comportamento se baseia em que nas altas temperaturas pode ocorrer a inativação de enzimas oxidativas, favorecendo a retenção da vitamina C (GURJÃO, 2006). Segundo SINGH & LUND (1984) entre os fatores que influenciam a degradação da vitamina C, encontram-se a temperatura, atividade de água ou teor de água, pH, presença de oxigênio e de íons metálicos. Sabe-se ainda que a estabilidade do ácido ascórbico decresce com o aumento da atividade de água (UDDIN et al., 2001).

As taxas de degradação de vitamina C aumentam em atividades de água mais altas, supostamente devido ao fato da reação de oxidação ocorrer mais facilmente quando a fase

aquosa do produto é menos viscosa (LEE & LABUZA, 1975). Isto porque, segundo estes mesmos autores, o aumento da taxa de degradação pode ser resultado da diluição da fase aquosa, o que provoca um decréscimo da viscosidade, e assim aumenta a mobilidade dos reagentes.

Analisando-se a influência da espessura da camada de espuma, nota-se que com o aumento da espessura houve tendência de maior retenção de ácido ascórbico das amostras em pó resultando em valores maiores. Esta maior retenção do ácido ascórbico entre a amostra produzida com espessura da camada de espuma com 0,5 cm e a amostra produzida com 1,5 cm foi de 34,06; 13,68 e 9,17%, para as temperaturas de secagem de 70, 80 e 90 °C, respectivamente. As médias encontradas para a temperatura de 70 °C são todas estatisticamente diferentes; já para as temperaturas de 80 e 90 °C, os teores de ácido ascórbico das amostras em pó produzidas com espessuras da camada de espuma de 0,5 e 1,0 cm são estatisticamente iguais, e estas são estatisticamente diferentes quando comparadas com as médias das amostras produzidas com espessura de 1,5 cm, de acordo com o teste de Tukey.

Observando-se todas as condições de secagem, constata-se que a maior retenção de ácido ascórbico foi verificada para a amostra desidratada a 90 °C com a espessura da camada de espuma de 1,5 cm, combinação de maior temperatura e maior espessura.

#### 4.5.6 – Cinzas

Na Tabela D.5 (Apêndice D) tem-se a análise de variância das cinzas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e diferentes espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem, a 5% de probabilidade para a fonte de variação espessura da camada de espuma mas não houve efeito significativo para a interação entre estes dois fatores.

Na Tabela 4.15 são apresentados os valores médios das cinzas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Observa-se que com o aumento da temperatura de secagem houve um decréscimo significativo das cinzas das amostras em pó; estes decréscimos em termos percentuais entre a temperatura de 70 e 90 °C foram de 24,40; 24,90 e 21,19%, estando relacionados ao teor de umidade que diminuiu com o aumento da temperatura. LOUREIRO (2006) também verificou comportamento semelhante para a polpa de buriti seca nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

**Tabela 4.14** – Valores médios das cinzas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	4,1920±0,1701 aA	4,1289±0,0738 aAB	3,9012±0,0786 aB
80	3,6408±0,2114 bA	3,5470±0,1338 bA	3,4638±0,1632 bA
90	3,1691±0,0059 cA	3,1008±0,0354 cA	3,0747±0,0971 cA

DMS p/ colunas = 0,2604; DMS p/ linhas = 0,2604; CV (%) = 3,49; MG = 3,5798%

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A média geral dos valores das cinzas foi inferior à encontrada por GUERRA et al. (2005), para o leite bubalino em pó, e por DINIZ et al. (2005), para o leite de cabra em pó, que foram de 4,0 e 5,50%, respectivamente, estes, alimentos ricos em minerais.

Verifica-se que os valores das cinzas não apresentaram estatisticamente diferenças significativas, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre as médias das amostras produzidas com diferentes espessuras para as temperaturas de 80 e 90 °C. Já para a temperatura de 70 °C, comparando-se as médias das cinzas produzidas com espessuras de 0,5 e 1,0 cm e de 1,0 e 1,5 cm, constata-se que são estatisticamente iguais, havendo diferença significativa apenas entre as médias das amostras produzidas cm 0,5 e 1,5 cm.

O maior teor de cinzas foi o da amostra produzida a 70 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma e o menor da amostra produzida a 90 °C com 1,5 cm de espessura.

#### 4.5.7 - Açúcares redutores

Na Tabela D.6 (Apêndice D) tem-se a análise de variância dos açúcares redutores (% glicose) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma. Nota-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, e a 5% de probabilidade para a interação entre estes dois fatores.

Na Tabela 4.15 se apresentaram os valores médios dos açúcares redutores (% glicose) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação n° 1). Verifica-se, que com o aumento da temperatura, houve uma redução significativa, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, nos valores dos açúcares redutores, o que também foi verificado por MEDEIROS (2007) para a polpa de mangaba em pó, produzida nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Conforme PEREDA et al. (2005) qualquer alimento que contenha proteínas e açúcares e que seja aquecido, mesmo que em temperaturas não muito altas e durante pouco tempo, sofre perda de aminoácidos essenciais e, portanto, de seu valor nutritivo.

**Tabela 4.15** – Valores médios dos açúcares redutores (% glicose) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação n° 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (mm)		
	0,5	1,0	1,5
70	83,94±4,15 aA	77,36±3,53 aB	69,49±3,01 aC
80	71,33±3,01 bA	62,16±2,29 bB	57,09±2,02 bB
90	57,15±2,02 cA	54,78±1,79 cA	51,92±1,61 bA

DMS p/ colunas = 5,69; DMS p/ linhas = 5,69; CV (%) = 4,20; MG = 65,03% glicose

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Em termos percentuais os decréscimos dos açúcares com o aumento da temperatura entre 70 e 90 °C foram de 31,92; 29,19 e 25,28%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

Analisando-se o comportamento dos açúcares redutores com o aumento da espessura da camada de espuma nota-se, para a temperatura de 70 °C, que houve redução significativa dos açúcares redutores; para a temperatura de 80 °C, existe tendência de redução, apresentando médias estatisticamente iguais as amostras produzidas com espessuras de 1,0 e 1,5 cm e, para a temperatura de 90 °C, as médias são estatisticamente iguais de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As reduções dos açúcares entre a amostra produzida com espessura de 0,5 cm e a amostra produzida com 1,5 cm de espessura foram de 17,21 e 19,96%, para as temperaturas de 70 e 80 °C, respectivamente.

O maior teor de açúcares redutores foi o da amostra produzida a 70 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma e o menor da amostra produzida a 90 °C com 1,5 cm de espessura.

#### 4.5.8 – Proteína

Na Tabela D.7 (Apêndice D) tem-se a análise de variância dos valores das proteínas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e para a interação entre estes dois fatores.

Na Tabela 4.16 são apresentados os valores médios da proteína (%) das amostras da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Avaliando-se os dados apresentados, constata-se que com o aumento da temperatura houve uma redução significativa, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, da proteína das amostras em pó produzidas com 1,0 e 1,5 cm de espessura, e para as amostras produzidas com 0,5 cm as médias são estatisticamente iguais.

**Tabela 4.16** – Valores médios da proteína (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	14,81±0,22 aC	15,42±0,04 aB	16,04±0,05 aA
80	14,70±0,07 aB	15,21±0,10 bA	15,35±0,02 bA
90	14,64±0,05 aB	14,83±0,05 cB	15,10±0,05 cA

DMS p/ colunas = 0,19; DMS p/ linhas = 0,19; CV (%) = 0,61; MG = 15,13%

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A redução da proteína com o aumento da temperatura pode ter ocorrido, como exposto anteriormente, em razão de durante o processo de desidratação ocorrer à desnaturação de algumas substâncias. Sabe-se que a temperatura influencia na solubilidade

protéica, e normalmente a solubilidade das proteínas aumenta com a temperatura entre 0 (zero) e 40 °C; acima disso, a maioria delas tende a se desnaturar, devido à exposição dos grupos sulfidrila (-SH), inicialmente dentro das moléculas protéicas, além de que há o aumento dos grupos hidrófobos em sua superfície (em estado nativo, estão voltados para o interior da célula), a desnaturação térmica da proteína implica em perda de solubilidade (PELEGRINE & GASPARETTO, 2003; PEREDA et al., 2005).

A redução da proteína entre a amostra produzida na menor temperatura (70 °C) e a produzida na maior temperatura (90 °C) foi de 3,83 e 5,86%, para as espessuras de 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

Observa-se com o aumento da espessura da camada de espuma que houve tendência de aumento do teor de proteína das amostras em pó. Os percentuais de aumento dos valores de proteína entre a amostra produzida com a menor espessura (0,5 cm) e a com maior espessura (1,5 cm) foram de 8,31; 4,42 e 3,14%, para as temperaturas de 70, 80 e 90 °C, respectivamente. Todas as médias do teor de proteína das amostras produzidas a 70 °C com as diferentes espessuras da camada de espuma são estatisticamente diferentes, para a temperatura de 80 °C, as médias das amostras produzidas com 1,0 e 1,5 cm de espessura são estatisticamente iguais, as quais são estatisticamente diferentes quando comparadas com a amostra produzida com 0,5 cm. Para a temperatura de 90 °C, os valores médios de proteína das amostras secas com espessuras de 0,5 e 1,0 cm são estatisticamente iguais, os quais são estatisticamente diferentes quando comparadas com a espessura de 1,5 cm.

O valor médio encontrado para a proteína das amostras em pó da polpa do fruto do mandacaru foi de 15,13%, sendo superior ao encontrado por SOARES et al. (2001) para a polpa de acerola em pó, desidratada a 70 °C, que foi de 9,05%.

O maior teor de proteínas foi o da amostra produzida a 70 °C com 1,5 cm de espessura da camada de espuma e o menor, da amostra produzida a 90 °C com 0,5 cm de espessura.

#### 4.5.9 – Luminosidade

Na Tabela D.8 (Apêndice D) tem-se a análise de variância dos valores da luminosidade ( $L^*$ ) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e para a interação entre estes dois fatores.

A Tabela 4.17 apresenta os valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Verifica-se, com o aumento da temperatura, tendência de decréscimo na luminosidade, ou seja, a amostra torna-se mais escura. Similarmente, FIGUEIRÊDO et al. (2005), ao observarem a influência da temperatura sobre o pó de acerola, desidratado em secador por aspersão, também verificaram uma redução na luminosidade. Este comportamento ocorre, conforme COULTATE (2004), em razão de quando os açúcares são aquecidos, uma série de reações se processa dando origem a pigmentos escuros associados à caramelização e a torrefação.

**Tabela 4.17** – Valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	51,9738±0,2462 aA	45,8572±0,0330 aB	44,3002±0,1901 aC
80	51,6851±0,1195 aA	42,5043±0,3608 bB	42,1031±0,1217 bC
90	50,7315±0,1423 bA	41,2821±0,0560 cB	41,2113±0,1232 cB

DMS p/ colunas = 0,3778; DMS p/ linhas = 0,3778; CV (%) = 0,40; MG = 45,7387

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

As reduções da luminosidade com o aumento da temperatura entre as amostras secas a 70 °C e as amostras secas a 90 °C, foram de 2,39; 9,98 e 6,97%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente. De acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, as médias da luminosidade das amostras, desidratadas com espessura de 0,5 cm, entre as temperaturas de 70 e 80 °C são estatisticamente iguais, as quais são estatisticamente diferentes quando comparadas com a temperatura de 90 °C. Para as espessuras de 1,0 e 1,5 cm, comparando-se as médias da luminosidade das amostras obtidas entre as diferentes temperaturas, constata-se que houve redução significativa da luminosidade com o aumento da temperatura.

Com relação ao aumento da espessura da camada de espuma, observa-se que houve uma tendência de decréscimo da luminosidade para todas as temperaturas de secagem, significando que as amostras com espessuras maiores são mais escuras, provocado pelo

maior tempo de secagem destas amostras. As reduções ocorridas na luminosidade entre a amostra produzida com a menor espessura da camada de espuma (0,5 cm) e a seca com maior espessura (1,5 cm) foram de 14,76; 18,54 e 18,77%, para as temperaturas de 70, 80 e 90 °C, respectivamente.

As médias da luminosidade, obtidas para as temperaturas de secagem de 70 e 80 °C diminuíram significativamente com o aumento da espessura da camada de espuma; para a temperatura de 90 °C constata-se que são estatisticamente iguais as médias das amostras secas com espessuras de 1,0 e 1,5 cm, as quais são estatisticamente diferentes quando comparadas com a amostra seca com 0,5 cm.

A maior luminosidade foi a da amostra produzida a 70 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma e a menor da amostra produzida a 90 °C com 1,5 cm de espessura.

#### 4.5.10 - Intensidade de vermelho

Na Tabela D.9 (Apêndice D) tem-se a análise de variância dos valores da intensidade de vermelho ( $a^*$ ) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação temperatura de secagem e espessura da camada de espuma e a 5% de probabilidade para a interação entre estes dois fatores.

Na Tabela 4.18 se apresentam os valores médios da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Nota-se que com o aumento da temperatura de secagem houve uma tendência de aumento da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ), provocando um escurecimento do material em pó obtido. KARIN & CHIEE-WAI (1999) também verificaram este comportamento ao estudarem a desidratação em camada de espuma da polpa de carambola, nas temperaturas de 80 e 90 °C; segundo estes pesquisadores, este escurecimento pode ser atribuído ao escurecimento não-enzimático ou a caramelização dos açúcares que ocorre durante o processo de secagem. O aumento da intensidade de vermelho entre as temperaturas de 70 e 90°C foi de 16,29; 30,80 e 40,29%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

**Tabela 4.18** – Valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	14,7214±0,6277 bA	10,5563±0,3493 cB	9,2643±0,2222 cC
80	16,4265±0,2420 aA	11,9096±0,1097 bB	11,1989±0,2039 bC
90	17,1196±0,3640 aA	13,8074±0,3596 aB	12,9969±0,4301 aC

DMS p/ colunas = 0,6989; DMS p/ linhas = 0,6989; CV (%) = 2,57; MG = 13,0742

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Para as espessuras de 1,0 e 1,5 cm as médias de +a\* são estatisticamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o aumento da temperatura; para a espessura de 0,5 cm, as médias de +a\* entre as temperaturas de 80 e 90 °C, são estatisticamente iguais e estatisticamente diferentes quando comparadas com a temperatura de 70 °C.

Verifica-se que com o aumento da espessura da camada houve uma redução significativa da intensidade de vermelho, para todas as temperaturas de secagem. Essas reduções em termos percentuais entre a média da amostra seca com a menor espessura da camada de espuma (0,5 cm) e a amostra seca com a maior espessura (1,5 cm) foram de 37,07; 31,82 e 24,08%, para as temperaturas de 70, 80 e 90 °C, respectivamente.

A maior média da intensidade de vermelho foi encontrada para a amostra produzida a 90 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma e a menor da amostra produzida a 70 °C com 1,5 cm de espessura.

#### 4.5.11 - Intensidade de amarelo

Na Tabela D.10 (Apêndice D) tem-se a análise de variância da intensidade de amarelo (+b\*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e diferentes espessuras da camada de espuma. Nota-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para as fontes de variação

temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, e a 5% de probabilidade para a interação entre estes dois fatores.

Na Tabela 4.19 são apresentados os valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1). Observa-se que com o aumento da temperatura existe uma tendência de aumento da intensidade de amarelo, o que também foi verificado por QUEK et al. (2007) ao estudarem a influência da temperatura do ar de secagem (145, 155, 165 e 175 °C), em secador por aspersão para a polpa de melancia. Segundo MASKAN (2002), o desenvolvimento de alterações na cor durante o processamento térmico de alimentos é resultado principalmente de reações não-enzimáticas (Maillard) e destruição dos pigmentos presentes (oxidação). Entre a temperatura de 70 °C e a de 90 °C, estes aumentos de +b\* foram de 12,25; 21,93 e 29,50%, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente. Constatou-se para as diferentes espessuras das camadas de espuma, que não existe diferença significativa entre as médias de +b\* das amostras secas nas temperaturas de 80 e 90°C.

**Tabela 4.19** – Valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) para diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma

Temperatura de secagem (°C)	Espessura da camada de espuma (cm)		
	0,5	1,0	1,5
70	12,1463±0,4070 bA	11,0839±0,5161 bB	9,7139±0,6408 bC
80	13,3379±0,2983 aA	13,1303±0,1261 aA	12,3283±0,1647 aB
90	13,6345±0,3407 aA	13,5144±0,1444 aA	12,5795±0,3202 aB

DMS p/ colunas = 0,7675; DMS p/ linhas = 0,7675; CV (%) = 2,97; MG = 12,3859

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Em relação ao aumento da espessura da camada de espuma há uma tendência de decréscimo na intensidade de amarelo para todas as temperaturas de secagem. Estas reduções de +b\* entre as amostras secas com a menor espessura (0,5 cm) e as amostras secas com a maior espessura (1,5 cm) foram de 20,03; 7,57 e 7,74%, para as temperaturas de 70, 80 e 90 °C, respectivamente.

Comparando-se as médias de  $+b^*$ , das amostras secas a 70 °C, entre as diferentes espessuras estudadas verifica-se que são estatisticamente diferentes; as médias de  $+b^*$ , para as amostras secas nas temperaturas de 80 e 90 °C, entre as espessuras de 0,5 e 1,0 cm são estatisticamente iguais.

A maior média da intensidade de amarelo foi encontrada para a amostra produzida a 90 °C com 0,5 cm de espessura da camada de espuma e a menor da amostra produzida a 70 °C com 1,5 cm de espessura.

#### 4.6 – Isotermas de adsorção de umidade

Neste item se tem o estudo das isotermas de adsorção de umidade, determinadas na temperatura de 20 °C, das amostras em pó produzidas a partir da secagem, nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C e espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, da Formulação nº 1 contendo polpa integral do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra. Segundo DITCHFIELD (2000), as isotermas de sorção são ferramentas muito importantes na caracterização dos alimentos e na previsão de comportamento de um alimento antes, durante e depois do seu processamento. Sendo assim, não se deve trabalhar com um alimento sem levantar suas isotermas de sorção. RODRIGUES (2003) mencionou que estudos sobre isotermas de adsorção de umidade são de grande importância, pois através destas curvas pode-se estudar o tipo de embalagem mais adequado à capacidade de adsorção de água pelo alimento, e estimar o grau de desidratação do alimento perante as mudanças de temperatura que podem ocorrer durante o armazenamento.

Na Tabela 4.20 são apresentados os valores das umidades de equilíbrio da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada na temperatura de 70 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm. Verifica-se para todas as amostras que a umidade de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água, este resultado foi observado também por COSTA et al. (2003), ao determinarem as isotermas de adsorção de umidade na temperatura de 25 °C de pós de beterraba, abóbora e cenoura, desidratados a 60 °C em secador do tipo leito de jorro.

**Tabela 4.20** – Valores médios da umidade de equilíbrio da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada na temperatura de 70 °C com diferentes espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm)

Atividade de água ( $a_w$ )	Umidade de equilíbrio (% b.s.)		
	0,5 cm	1,0 cm	1,5 cm
0,0891	5,8153	5,9729	6,8290
0,2311	9,3597	9,3433	9,4758
0,3307	13,1488	13,1161	12,1692
0,4316	16,0657	16,0899	16,1239
0,5438	21,4208	18,6455	18,9722
0,5914	26,6945	23,0568	25,4032
0,6990	32,8422	32,4112	35,4626
0,7547	46,3698	42,8458	44,4167
0,8134	55,5450	55,3876	51,1637
0,8511	80,2040	78,2200	64,1449
0,8800	87,3261	85,8569	73,5150

A Tabela 4.21 apresenta os parâmetros coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 70 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm. Observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade das amostras em pó produzidas com diferentes espessuras da camada de espuma foi de o Peleg, apresentando os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 \geq 0,99$ ) e os menores desvios percentuais médios ( $P < 7\%$ ), pois quanto menor P e maior o  $R^2$  maior a precisão do modelo, exceto para a amostra seca com 0,5 cm de espessura que foi o de GAB. Este desempenho também foi verificado por ALEXANDRE et al. (2007) para as isotermas de adsorção de umidade de pitanga em pó, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, com  $R^2 > 0,98$  e  $P < 4\%$  para o modelo de Peleg. Observa-se, ainda, que com o aumento da espessura da camada de espuma, os parâmetros  $k_2$  e  $n_2$  do modelo de Peleg diminuíram.

**Tabela 4.21** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação n° 1), desidratada a 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma

Modelo	Espessura (cm)	Parâmetro			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	0,5	12,069	5,1700	0,9888	0,991	6,51	
	1,0	11,048	5,8473	0,9989	0,992	6,83	
	1,5	13,055	4,5278	0,9447	0,995	7,34	
	Espessura (cm)	a		b	$R^2$	P (%)	
Oswin	0,5	19,341		0,761	0,989	10,68	
	1,0	17,916		0,798	0,990	13,91	
	1,5	19,882		0,662	0,995	7,22	
	Espessura (cm)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
Peleg	0,5	33,255	0,818	160,783	7,796	0,991	6,65
	1,0	162,748	7,326	26,085	0,641	0,995	4,17
	1,5	133,792	4,391	15,672	0,359	0,996	4,98

Para as amostras em pó produzidas com 0,5, 1,0 e 1,5 cm de espessura da camada de espuma, o modelo de GAB apresentou  $R^2 > 0,99$  e  $P < 8\%$ , podendo-se utilizar este modelo para estimar essas isotermas. LAHSASNI et al. (2004) ao determinarem as isotermas de adsorção de umidade nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, do figo-da-índia desidratado a 50 °C obtiveram para o modelo de GAB  $R^2 > 0,99$  e  $P < 6\%$ . A umidade na monocamada molecular ( $X_m$ ) do modelo de GAB não apresentou comportamento padrão em relação à espessura da camada de espuma e seus valores foram abaixo de 14% b.s. MELO et al. (2008c) encontraram para a amostra em pó produzida a partir do leite de cabra, polpa de umbu-cajá e maltodextrina  $X_m = 6,5\%$  b.s, para as temperaturas de 20, 25, 30, 35 e 40 °C.

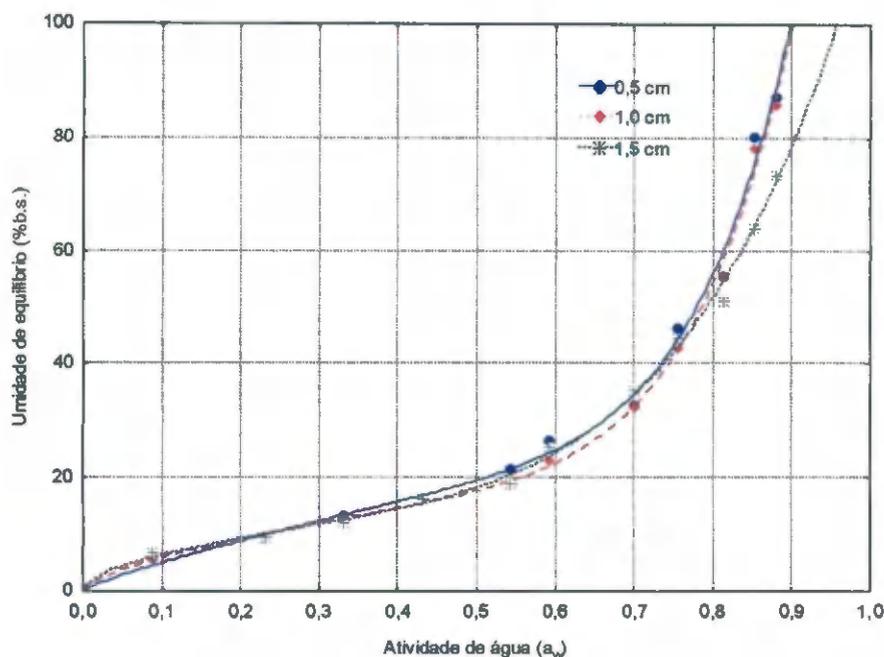
Os parâmetros C e K do modelo de GAB para todas as amostras em pó, apresentaram valores maiores que 2 (dois) e menores que 1 (um), respectivamente, sendo essas isotermas classificadas como do Tipo II (BLAHOVEC, 2004).

Verifica-se, para o modelo de Oswin que a amostra produzida com a espessura da camada de espuma de 1,0 cm, teve o valor do desvio percentual médio superior a 10%

devendo ser evitado o seu uso para a predição das isotermas de adsorção da amostra em pó produzida nestas condições, apesar do  $R^2 = 0,99$ . BOQUET et al. (1978) consideram que o modelo ajusta-se bem aos dados experimentais quando  $P < 10\%$ . PENA et al. (2000) ao ajustarem o modelo de Oswin às isotermas de adsorção de umidade, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, do guaraná em pó, obtido por secagem por aspersão (spray drying), encontraram  $R^2 > 0,99$ .

No Apêndice E (Figuras E.1 e E.2) têm-se as isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó, desidratada a 70 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, ajustadas pelo modelo de GAB e Oswin.

Na Figura 4.14 têm-se a representação gráfica das isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, das amostras em pó, desidratadas a 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg, considerado de forma geral como o melhor modelo. Verifica-se que as isotermas apresentam forma sigmoideal (Tipo II), típicas de produtos alimentícios. Estas isotermas são semelhantes à isoterma a 20 °C da polpa de camu-camu liofilizada, determinada por SILVA et al. (2006). Constata-se que entre as atividades de água 0 (zero) e 0,8 as isotermas das três amostras em pó são muito próximas e acima desta  $a_w$  a curva da amostra produzida com 1,5 cm de espessura se distancia das demais amostras, significando que nesta faixa de  $a_w$  esta amostra é menos higroscópica do que as demais.



**Figura 4.14** - Isothermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 70 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg

Na Tabela 4.22 são apresentados os valores das umidades de equilíbrio, a 20 °C, para a polpa do fruto do mandacaru em pó, desidratada na temperatura de 80 °C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm. Observa-se também para todas as amostras que a umidade de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água. De forma semelhante, CAVALCANTI MATA et al. (2006) também observaram este mesmo comportamento ao avaliarem as isothermas de adsorção de umidade, nas temperaturas de 10 a 50 °C, do cajá em pó, obtido por secagem por aspersão (spray drying).

**Tabela 4.22** – Valores médios da umidade de equilíbrio da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 80 °C com diferentes espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm)

Atividade de água ( $a_w$ )	Umidade de equilíbrio (% b.s.)		
	0,5 cm	1,0 cm	1,5 cm
0,0891	5,1708	7,4040	8,7915
0,2311	7,0128	13,4263	11,7436
0,3307	10,8623	14,6551	18,3307
0,4316	14,8775	16,1068	21,2455
0,5438	18,0884	22,5518	24,0535
0,5914	25,6599	28,8121	27,1324
0,6990	34,1625	36,8647	35,8790
0,7547	43,5747	42,4360	39,3886
0,8134	55,0569	55,4872	55,8450
0,8511	59,8391	60,9051	60,9500
0,8800	67,2171	69,1347	68,4799

Na Tabela 4.23 são apresentados os parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 80°C com espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm. Verifica-se que todos os modelos podem ser usados para estimar as isotermas, em razão de terem apresentado coeficientes de determinação superiores a 0,98 e desvios percentuais médios inferiores a 11%.

Para o modelo de GAB foram encontrados  $R^2 > 0,99$  e  $P < 11\%$ , estando no mesmo nível de ajuste encontrado por GUERRA et al. (2005) para as isotermas de adsorção de umidade, a 25 °C, do leite de búfalo em pó, obtido por secagem por aspersão com  $R^2 = 0,99$  e  $P = 8,4\%$ . Por outro lado, com o aumento da espessura da camada de espuma os parâmetros do modelo de GAB C e K aumentaram e  $X_m$  diminuiu. Baseado nos valores dos parâmetros K e C, a isoterma a 20 °C da amostra em pó, produzida com a espessura da camada de espuma de 0,5 cm a 80 °C, de acordo com BLAHOVEC (2004), é do Tipo III ( $0 < K \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$ ) e as amostras em pó produzidas com espessuras de 1,0 e 1,5 cm são do Tipo II ( $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ ). Segundo BLAHOVEC & YANNIOTIS (2009) as isotermas

do Tipo III são típicas de produtos em que a umidade aumenta com o aumento da atividade de água de tal maneira que a primeira derivada da umidade também aumenta com o aumento da  $a_w$ , característica de produtos que tem sólidos solúveis em água, como, por exemplo, os açúcares.

**Tabela 4.23** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) desidratada a 80 °C com diferentes espessuras da camada de espuma

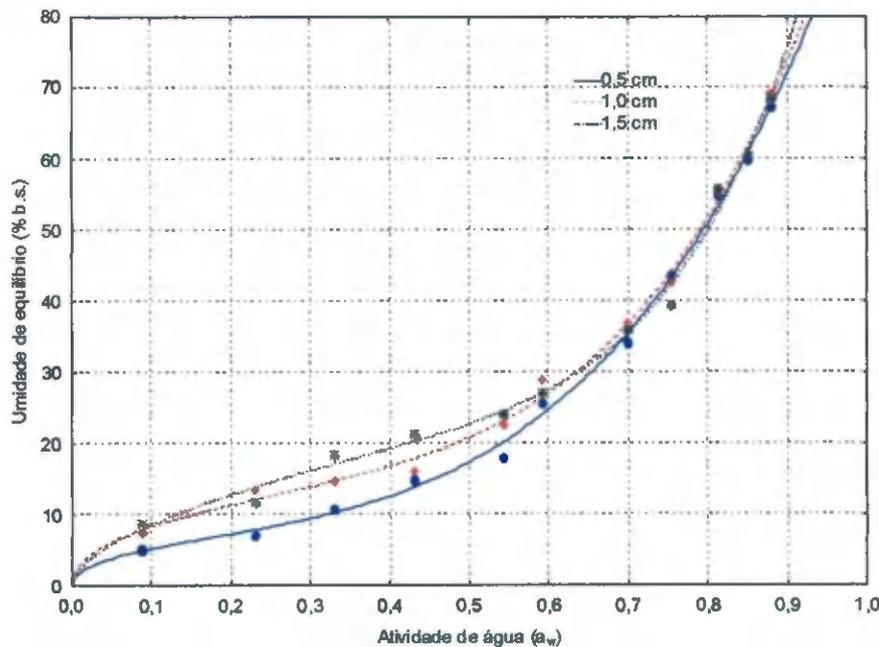
Modelo	Espessura (cm)	Parâmetro			$R^2$	P(%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	0,5	25,968	1,044	0,819	0,995	10,24	
	1,0	13,950	7,584	0,917	0,994	7,00	
	1,5	13,181	15,785	0,924	0,993	5,23	
	Espessura (cm)	a	b	$R^2$	P(%)		
Oswin	0,5	19,470	0,647	0,988	10,40		
	1,0	22,462	0,574	0,994	7,40		
	1,5	23,331	0,544	0,991	7,27		
	Espessura (cm)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P(%)
Peleg	0,5	85,615	3,637	14,226	0,438	0,997	5,14
	1,0	82,250	4,390	22,972	0,443	0,996	4,37
	1,5	32,030	0,571	87,761	6,256	0,993	5,13

Nota-se, para os parâmetros do modelo de Oswin, que o aumento da espessura da camada de espuma influenciou no aumento de  $a$  e na redução de  $b$ . Similarmente, KAYMAK-ERTEKIN & GEDIK (2004) encontraram para o modelo de Oswin desvios percentuais médios inferiores a 11%, para as isotermas de adsorção de uva determinadas nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C.

De forma idêntica à amostra seca a 70 °C, constata-se também para a amostra seca a 80 °C que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de Peleg, apresentando os maiores coeficientes de determinação e os menores desvios percentuais médios ( $P < 6\%$ ). Verifica-se também que com o aumento da espessura da camada de espuma houve um aumento nos valores dos parâmetros  $k_2$  e  $n_2$  e redução de  $k_1$ . Ajustes

com o modelo de Peleg com valores de  $R^2$  e  $P$  próximos foram encontrados por OLIVEIRA et al. (2006) para as isotermas de adsorção de umidade, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, da pitanga em pó ( $R^2 > 0,98$  e  $P < 7\%$ ), obtida por secagem por aspersão. GURJÃO (2006) ao estudar as isotermas de adsorção de umidade do pó de tamarindo, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C encontrou para este mesmo modelo coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 7%.

No Apêndice E (Figuras E.3 e E.4) têm-se as isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó, desidratada a 80 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de GAB e Oswin. Na Figura 4.15 têm-se a representação gráfica destas mesmas amostras com ajuste pelo modelo de Peleg, considerado como o melhor modelo. Concluiu-se que todas as amostras apresentaram forma próxima a um sigmóide, de forma semelhante às amostras secas a 70 °C, até mesmo a amostra produzida com 0,5 cm de espessura que foi classificada como sendo do Tipo III.



**Figura 4.15** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 80 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg

Na Tabela 4.24 se encontram os valores das umidades de equilíbrio, a 20 °C, para a polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada na temperatura de 90 °C com diferentes espessuras da camada de espuma. Nota-se para todas as amostras, secas a 90 °C, que a umidade de equilíbrio aumentou com o aumento da atividade de água, resultado similar ao obtido para as amostras secas a 70 e 80 °C. Comportamento idêntico foi observado por HOSSAIN et al. (2001) para as isotermas de adsorção de umidade de abacaxi, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

**Tabela 4.24** – Valores médios da umidade de equilíbrio da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) desidratada a 90 °C, com diferentes espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm)

Atividade de água ( $a_w$ )	Umidade de equilíbrio (% b.s.)		
	0,5 cm	1,0 cm	1,5 cm
0,0891	5,2993	5,9469	6,3354
0,2311	10,6244	13,3975	13,2114
0,3307	14,5796	16,1040	17,2296
0,4316	24,5852	25,6650	24,5963
0,5438	29,1736	30,4837	27,6283
0,5914	32,7493	34,8491	34,6887
0,6990	45,4672	49,4847	50,1841
0,7547	54,5122	55,3090	55,4366
0,8134	61,4368	63,4908	62,1262
0,8511	70,7092	75,9634	74,2539
0,8800	78,2349	84,6820	86,5655

Na Tabela 4.25 têm-se os parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 90 °C com diferentes espessuras das camadas de espuma. De maneira similar as amostras em pó secas a 80 °C, nota-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar as isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, das amostras em pó secas a 90 °C, em razão de apresentarem coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios percentuais médios inferiores a 11%.

Diferentemente das amostras secas a 70 e 80 °C, observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de GAB, apresentando os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,99$ ) e os menores desvios percentuais médios ( $P < 5\%$ ). Valores próximos de  $R^2$  para o modelo de GAB foram encontrados por ASCHERI (1999) para as isotermas de adsorção de umidade, nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, para óleo essencial de laranja, obtido por secagem por aspersão ( $R^2 > 0,99$  e  $P < 1\%$ ). Consta-se que com o aumento da espessura da camada de espuma o parâmetro  $X_m$  diminuiu e C e K aumentaram. Contrariamente aos resultados obtidos para as amostras secas a 70 e 80 °C e baseado nas informações de BLAHOVEC (2004), todas as isotermas das amostras secas a 90 °C, com 0,5, 1,0 e 1,5 cm foram classificadas como sendo do Tipo II ( $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ ).

**Tabela 4.25** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) desidratada a 90 °C, com diferentes espessuras da camada de espuma

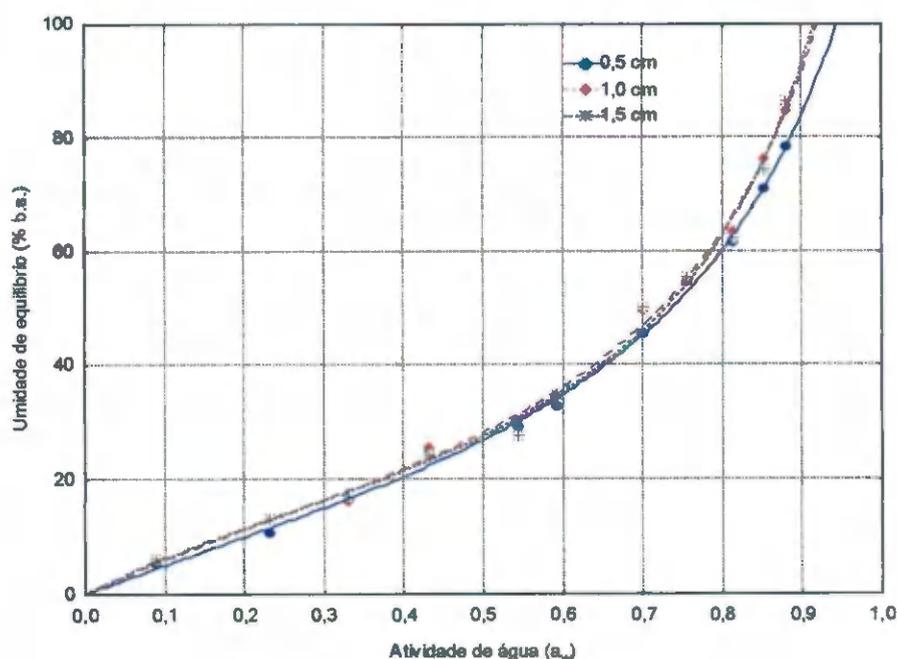
Modelo	Espessura (cm)	Parâmetro			$R^2$	P(%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	0,5	24,327	2,667	0,826	0,998	4,14	
	1,0	22,119	3,540	0,862	0,997	4,34	
	1,5	20,275	4,114	0,883	0,994	4,67	
Oswin	Espessura (cm)	a		b	$R^2$	P(%)	
	0,5	27,147		0,549	0,993	10,16	
	1,0	28,474		0,558	0,995	7,61	
	1,5	27,933		0,568	0,994	6,20	
Peleg	Espessura (cm)	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	$R^2$	P(%)
	0,5	66,132	5,314	50,231	0,992	0,998	4,38
	1,0	79,650	6,183	54,132	0,983	0,996	5,15
	1,5	48,492	0,895	85,619	5,783	0,992	5,07

Encontram-se, para o modelo de Oswin,  $R^2 > 0,99$  e  $P < 11\%$ , configurando-se como o pior modelo dentre os três avaliados, o que era esperado em razão deste modelo ter apenas dois parâmetros. SANTOS et al. (2004) também encontraram valores próximos de

$R^2$  e  $P$ , para o modelo de Oswin encontrados para as isotermas de adsorção de umidade de mandioca temperada, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, ( $R^2 > 0,99$  e  $P < 10\%$ ). Constatou-se que com o aumento da espessura da camada de espuma o parâmetro  $b$  do modelo de Oswin aumentou.

O modelo de Peleg também apresentou bons ajustes com  $R^2 > 0,99$  e  $P < 6\%$ , sendo os valores de  $P$  inferiores aos determinados por PRADO et al. (1999) para as isotermas de adsorção de umidade de tâmaras, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, com  $P < 14\%$ . Verifica-se ainda que com o aumento da espessura da camada de espuma houve um aumento do parâmetro  $k_2$  deste modelo.

Nas Figuras E.5 e E.6 (Apêndice E) têm-se as isotermas de adsorção de umidade, a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 90 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes com os modelos de Peleg e Oswin. Na Figura 4.16 são apresentadas as isotermas de adsorção, a 20 °C, destas amostras com ajustes pelo modelo de GAB, o qual foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais. O que também foi observado por GOMES et al. (2002) ao determinarem as isotermas de adsorção de umidade da acerola em pó nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C e obtiveram  $R^2 < 0,96$  e  $P < 7\%$ .



**Figura 4.16** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C, da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1), desidratada a 90 °C com diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de GAB

Observa-se que as curvas têm forma próxima a uma sigmóide. Segundo COSTA et al. (2001), as isotermas de adsorção de umidade são normalmente divididas em três partes diferentes. Na primeira parte que corresponde a uma  $a_w$  compreendida entre 0 e 0,3, observa-se um aumento importante da umidade de equilíbrio com o aumento da  $a_w$ . Na segunda parte das isotermas, a  $a_w$  varia entre 0,3 e 0,6, têm-se um pequeno aumento do teor de água e uma forte modificação da  $a_w$ . Na terceira parte das isotermas, a  $a_w$  varia de 0,6 a 1, e se constata um forte aumento do teor de água, a água presente nesta fase está ligada por forças de natureza capilar ou osmótica e se mantém disponível para as reações bioquímicas.

## 5 - CONCLUSÕES

Com base no conjunto de dados obtidos neste trabalho e para as condições em que o mesmo foi desenvolvido, concluiu-se que:

### Caracterização da polpa do fruto do mandacaru

- A polpa do fruto do mandacaru integral apresentou-se ácida e com conteúdo considerável de pectina.
- A polpa do fruto do mandacaru integral comportou-se como fluido não-newtoniano de caráter pseudoplástico. O modelo reológico de Mizrahi-Berk apresentou bom ajuste aos dados experimentais podendo, portanto, ser usado para estimar a reologia da polpa do fruto do mandacaru integral.

### Seleção da formulação e caracterização físico-química da espuma

- A espuma, selecionada com as melhores características para a secagem, foi a composta de polpa do fruto do mandacaru, 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra (Formulação nº 1), para um tempo de batimento de 5 min com densidade igual a  $0,1566 \text{ g/cm}^3$ .
- Os aditivos incorporados à polpa do fruto do mandacaru influenciaram as características físico-químicas da espuma.

### Secagem em camada de espuma

- As secagens da Formulação nº 1 foram influenciadas pela temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, ocorrendo a secagem para os menores tempos nas temperaturas mais elevada com as menores espessura.
- Os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem da espuma elaborada com a polpa do fruto do mandacaru e aditivos (Formulação nº 1), sendo o modelo de Cavalcanti Mata o que apresentou os melhores ajustes para todas as condições.

**Caracterização físico-química da polpa do fruto do mandacaru em pó**

- As amostras desidratadas (Formulação nº 1) na menor das temperaturas avaliadas preservaram suas características iniciais.
- As amostras desidratadas (Formulação nº 1) na temperatura de 90 °C apresentaram o menor teor de umidade e maior retenção de ácido ascórbico.
- Os sólidos solúveis totais (°Brix) das amostras em pó (Formulação nº 1), não sofreram a influência da temperatura de secagem nem da espessura da camada de espuma.

**Isotermas de adsorção de umidade da polpa do fruto do mandacaru em pó**

- O modelo de Peleg proporcionou os melhores ajustes aos dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade da polpa do fruto do mandacaru do pó (Formulação nº 1) exceto nas amostras desidratadas na temperatura de 90 °C com todas as espessuras e na temperatura de 70 °C para a espessura da camada de 0,5 cm, em que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de GAB.
- As isotermas de adsorção da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratadas a 70, 80 e 90 °C, foram classificadas como Tipo II, exceto as amostras em pó, secas com 0,5 cm de espessura da camada de espuma a 80 °C, que é do Tipo III.

**6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.

AGRA, N. G. **Secagem e liofilização de manga: características físico-químicas e sensoriais**. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: ITAL, 2002. 205 p. (Manual Técnico).

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.; 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.

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.

ALMEIDA, M. M. **Estudo da bioconversão do mandacaru (cereus jamacaru p. Dc.) Para produção de bioprodutos**. 2007. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, J. E.; VILLAMIL, J. M. P.; SILVA, M. M. Secagem natural e artificial de vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 27, n. 1, p. 48-57, 2002.

ALVARADO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits: I-II Density and viscosity of juices as functions of soluble solids and content and temperature. **Latin American Applied Research**, v. 19, n. 15, p. 15-21, 1989.

ALVAREZ, M.; COSTA, S. C.; UTUMI, H.; HUBER, A.; BER, R.; FONTANA, J. D. The anionic glycan from the cactus *Cereus peruvianus*: structural features and potential uses. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 34, n. 13, p. 283–295, 1992.

ANDRADE, R. A.; OLIVEIRA, I. V. M.; MARTINS, A. B. G. Influência da condição e período de armazenamento na germinação de sementes de pitaya vermelha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 168-170, 2005.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, Williams, S. (Ed) 14.ed. Arlington, 1997. 1141p.

ARAGÃO, T. C. F. R.; SOUZA, P. A. S.; UCHÔA, A. F.; COSTA, I. R.; BLOCH Jr., C.; CAMPOS, F. A. P. Characterization of a methionine-rich protein from the seeds of *Cereus jamacaru* Mill (Cactaceae). **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 33, n. 8, p. 897-903, 2000.

ARAÚJO, L. F.; OLIVEIRA, L. S. C.; PERAZZO NETO, A.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.

ARECES, A. Cactaceae. In: SMITH, N.; MORI, S. A.; HENDERSON, A.; STEVENSON, W. D.; HEALD, S. V. **Flowering plants of the neotropics**. Princeton: Princeton University Press, 2004. p. 73-76.

ASCHERI, D. P. R. Estudo das características de adsorção de água e da estabilidade das microcápsulas de óleo essencial de laranja na seleção de material de parede. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 367-373, 1999.

AUBERT, J. H.; KRAYNIK, A. M.; RAND, P. B. Aqueous foams. **Scientific American**, v. 254, n. 5, p. 74-83, 1989.

BABALIS, S. J.; PAPANICOLAOU, E.; KYRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V. G. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 205-214, 2006.

BARBOSA, A. S.; ARAÚJO, A. P.; CANUTO, T. M.; BARBOSA, A. S.; DANTAS, J. P. Avaliação da composição química do mandacaru advindo da caatinga semi-árida paraibana. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA, 1., 2007, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2007a. CD.

BARBOSA, A. S.; ARAÚJO, A. P.; CANUTO, T. M.; DIAS, S. L.; CAVALCANTI, M. B. A.; FRANÇA, V. C. Caracterização físico-química do xique-xique encontrado no semi-árido nordestino. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA, 1., 2007, Natal. **Anais...** Natal: UFRN 2007b. CD.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; KOKINI, J.; MA, L.; IBARZ, A. The rheology of semiliquid foods. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 39, p. 1-69, 1996.

BARBOSA, M. R. V.; MAYO, S. J.; CASTRO, A. A. J. E.; FREITAS, G. L.; PEREIRA, M. S.; GADELHA NETO, P. C.; MOREIRA, H. M. Checklist preliminar das angiospermas. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; MAYO, S. J.; BARBOSA, M. R. V. **Pesquisa botânica nordestina: progresso e perspectivas**. Recife: SBB, 1996. v. 219, p. 253-415.

BARROSO, G. M., GUIMARÃES, E. F., ICHASO, C. L. F., COSTA, C. G., PEIXOTO, A. L. **Sistemática das angiospermas do Brasil**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, EDUSP, 1978. v. 1, 255 p.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, cap. 2, p. 13-25.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNARDI, 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 Technology**, 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.

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.

BEZERRA, J. R. M. V.; QUEIROZ, A. J. M.; GASPARETTO, C. A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 3, n. 1, p. 37-42, 2001.

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.

BLAHOVEC, J.; YANNIOTIS, S. Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 1, p. 72-77, 2009.

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.

BRASIL. Portaria SVS/MS n.33, de 13 de janeiro de 1998. **Tabelas de ingestão diária recomendada (IDR)**. Diário Oficial da União de 16 de janeiro de 1998.

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.

BROD, F. P. R.; ALONSO, L. F. T.; PARK, K. J. Secagem de produtos agrícolas. In: SEMANA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DA UNICAMP (SEMEAGRI), 11., 1999. Campinas. **Anais...** Campinas: Agrológica – Empresa Júnior de Engenharia Agrícola. 1999, 122 p.

BRYGIDYR, A. M.; RZEPECKA, M. A.; McCONNEL, M. B. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 10, n. 4, p. 313-319, 1977.

BUENO, S. N.; LOPES, M. R. V.; GRACIANO, R. A. S.; FERNANDES, F. C. B.; GARCIA-CRUZ, C. H. Avaliação de polpas de frutas congeladas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 62, n. 2, p. 121-126, 2002.

CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 37-40, 2002.

CANTO, A. R. **El cultivo de pitahaya en Yucatán**. Yucatán: Universidad Autónoma Chapingo, 1993. 53p.

CANUTO, T. M.; PIRES, V. C. F.; ARAÚJO, A. P.; BARBOSA, A. S.; BARBOSA, A. S. Avaliação da composição físico-química da polpa do fruto da palma. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA, 1., 2007, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2007. CD.

CARVALHO, C. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; PAIVA, K. M. R.; GONDIM, M. M. S. Secagem da polpa formulada de umbu-cajá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. CD.

CAVALCANTI MATA, A. S. R. R.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; OLIVEIRA, C. C. A.; GUEDES, M. A. Isotermas de equilíbrio higroscópico de cajá em pó microencapsulado com 20% de maltodextrina. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 3., 2006, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: PIBIC/CNPq, 2006. CD.

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.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p.158-192.

CIABOTTI, E. D.; BRAGA, M. E. D.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Alterações das características físicoquímicas da polpa de maracujá amarelo submetido a diferentes técnicas de congelamento inicial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 1, p. 51-60, 2000.

COELHO, R. R. P.; FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A.J.M. Avaliação química de sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. D.C.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife, **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. CD.

CONCEIÇÃO, M. C.; SANTOS, J. C. P. SILVA, R.; DIAS, C. S.; OLIVEIRA, B. D.; MARTINS, A. S. Avaliação físico-química do limão galego (*Citrus aurantifolia*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 21., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** 2008. CD.

COOKE, R. D.; BREAG, G. R.; FERBER, C. E. M.; BEST, P. R.; JONES, J. Studies of Mango processing I. The foam-mat drying of mango puree. **Journal of Food Technology**, v. 1, n. 5, p. 463–473, 1976.

- COSTA, I. R.; SOUZA, P. A. S.; BLOCH JR., C., LLAMOCA-ZÁRATE, R. M., CAMPOS, F. A. P. Isolation and characterisation of a reserve protein from the seeds of *Cereus jamacaru* (Cactaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 44, n. 4, p. 331-335, 2001.
- COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.
- COULTATE, T. P. **Alimentos: a química de seus componentes**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 368 p.
- CUNNINGHAM, F. E. Practical applications of food dehydration: a review. **Journal of Food Protection**, v. 45, p. 479-483, 1982.
- DANDAMRONGRAK, R.; YOUNG, G.; MASON, R. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 2, p. 139-146, 2002.
- DINIZ, A. C. P.; LUIZ, M. B., GONZAGA, L. V.; MEIER, M. M.; SZPOGANICZ, B.; FETT, R. Comportamento da beta-ciclodextrina adicionada ao leite de cabra submetido ao processo de desidratação por "spray-dryer". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 197-201, 2005.
- DITCHFIELD, A. D. The comparative phylogeography of Neotropical Mammals: patterns of intraespecific mitochondrial DNA variation among bats contrasted to non-volant small mammals. **Molecular Ecology**, v. 9, n. 2, p. 1307-1318, 2000.
- DOYMAZ, I. Drying kinetics of white mulberry. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 341-346, 2004a.
- DOYMAZ, I. Effect of dipping treatment on air drying of plums. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 465-470, 2004b.

DOYMAZ, I. Convective drying kinetics of strawberry. **Chemical Engineering and Processing**, v. 47, n. 5, p. 914-919, 2008.

DRUMOND, M. A.; KILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C.; OLIVEIRA, V. R.; ALBUQUERQUE, S. G.; NASCIMENTO, C. E. S.; CAVALCANTI, J. **Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga**. Petrolina: EMBRAPA/CPTSA, 2000. 23 p.

DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; PAIVA, B. R. Propriedade termofísicas da polpa de mangaba a baixas e ultra-baixas temperaturas: densidade e calor específico. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. especial, n. 1, p. 19-29, 2003.

DURAN, L. Controle de qualidade de alimentos. In: FERREIRA, V. L. P.; CAMPOS, S. D. S. **Controle de qualidade na indústria de alimentos**. Campinas: ITAL, 1991. p. 1-13.

DURIAN, D. J. Foam mechanics at the bubble scale. **Physical Review Letters**, v. 75, n. 26, p. 4780-4784, 1995.

DZAZIO, C. H.; MACEDO, D. C.; FLORÊNCIO, F.; COSTA, J. A.; ANJOS, M. M.; SCHEMIN, M. H. C.; OLIVEIRA, M. C. S.; LEAL, E. S.; ALMEIDA, J. V. P. Batata (*Polymnia sonchifolia*) desidratada em estufa e pelo método "Foam-Mat". **Brasil Alimentos**, n. 38, p. 21-26, 2006.

EVANGELISTA, I. J.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Viscosidades aparentes de polpas de umbu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003. CD.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MARTUCCI, E. T. Alterações de cor da acerola em pó sob condições controladas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 1, p. 49-57, 2005.

FIGUEREDO, R. C. R.; RIBEIRO, F. A. L.; SABADINI, E. Ciência de espumas: aplicação na extinção de incêndios. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 126-130, 1999.

FREITAS, J. C. O.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MELO, K. S. Cinética de secagem de manga fatiada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. CD.

GABAS, A. L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. 1998. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) UNICAMP, Campinas.

GALDINO, P. O.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, 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.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1988. 284 p.

GERMAN, J. B. Properties of stabilizing components in foams. In: GADEN, E. L. **Food emulsions and foams: theory and practice**. New York: American Institute of Chemical Engineers, 1990. p. 62-69. (Symposium Series).

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isothermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 2, p. 157-165, 2002.

GOYAL, R. K.; KINGSLY, A. R. P.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 1, p. 43-49, 2006.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National of Bureau of Standards**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.

GRIZOTTO, R. K.; AGUIRRE, J. M.; MENEZES, H. C. Frutas estruturadas de umidade intermediária obtidas de polpas concentradas de abacaxi, manga e mamão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 691-697, 2005.

GUERRA, R. B.; NEVES, E. C. A.; PENA, R. S. Caracterização e processamento de leite bubalino em pó em secador por nebulização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 443-447, 2005.

GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**. 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

GURRIERI, S.; MICELI, L.; LANZA, C. M. TOMASELLI, F.; BONOMO, R. P.; RIZZARELLI, E. Chemical Characterization of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus Indica*) and Perspectives for the Storage of Its Juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 11, p. 5424-5431, 2000.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; IZIDORO, D. R.; MASSON, M. L. Rheological characterization of blackberry pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 291-296, 2006.

HELLER, J. P.; KUNTAMUKKULA, M. S. Critical review of the foam rheology literature. **Industrial Engineering Chemical Research**, v. 26, n. 2, p.318–325, 1987.

HIMMELBLAU, D. M. **Engenharia química: princípios e cálculos**. 6 ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1998. 592 p.

HOSSAIN, M. D.; BALA, B. K.; HOSSAIN, M. A.; MONDOL, M. R. A. Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 2, p. 103-107, 2001.

HUNT, D.; TAYLOR, N. The genera of cactaceae: progress toward consensus. **Bradleya**, v. 8, p.85-107, 1990.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée: stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying Kinetics of red delicious apple. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 4, p. 517–524, 2007.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 37, n. 4, p. 429–438, 2004.

KIRBY, A. Cactus farmers defy the desert. **BBC News**, Reino Unido, 29 may. 2002. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/2011019.stm>>. Acesso em: 10 ago. 2007.

LABELLE, R. L. Characterization of foams for foam-mat drying. **Food Technology**, v. 20, n. 8, p. 89-94, 1966.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M. Adsorption–desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Energy Conversion and Management**, v. 45, n. 2, p. 249–261, 2004.

LAU, C. K.; DICKINSON, E. Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 1, p. 111–121, 2005.

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.

LEWIS, M. J. **Physical properties of foods and food processing systems**. England: Ellis Horwood Limited, 1990. 480 p.

LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S.; GONZAGA NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares na região do sub-médio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 273-276, 2002.

LOUREIRO, M. N. **Desidratação da polpa de buriti e armazenamento do produto seco.** 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MACHADO, J. C. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo.** Rio de Janeiro: Interciência/Petrobrás, 2002. 257 p.

MARQUES, L. F.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M; NUNES, L. S.; COSTA, T. L.; COSTA, P. B. S.; DUARTE, S. T. G. Secagem precedida de desidratação osmótica de pseudofruto de caju: comparação entre modelos matemáticos aplicados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 2, p. 161-170, 2007.

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.

MCLAUGHLIN, C. P.; MAGEE, T. R. A. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 3, p. 267-280, 1998.

MEDEIROS, J. **Secagem e armazenamento de polpa de mangaba.** 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MEDEIROS, M. F. D. **Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro.** 2001. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEIO AMBIENTE. Disponível em:  
<<http://www.meioambientehp.hpg.ig.com.br/flora7.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2007.

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, 1., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2008a. CD.

MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; PÊ, P. R.; DUARTE, M. E. M. Drying kinetics of grapes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 1., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2008b. CD.

MELO, J. C. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FEITOSA, R. M. Moisture adsorption isotherms of spray dried mixture of goat milk with umbu-cajá pulp and maltodextrin. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 1., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2008c. CD.

MITSCHKA, P. Simple conversion of brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheologica Acta**, v. 21, n. 2, p. 207-209, 1982.

MIZRAHI, Y.; NERD, A.; SITRIT, Y. **New fruits for arid climates**. In: JANICK, J.; WHIPKEY, A. **Trends in new crops and new uses**. Alexandria: ASHS Press, 2002. p. 378-384.

MIZRAHI, Y.; NERD, A. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In: Janick, J. **Perspectives on new crops and new uses**. Alexandria: ASHS Press, 1999. p. 358-366.

MIZRAHI, Y.; NERD, A. New crops as a possible solution to the troubled Israeli export market. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. **Progress in new crops**. Alexandria: ASHS Press, 1996. p. 56-64.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Sci. Publishers, 1980. 407 p.

MORTON, J. Strawberry pear. In: MORTON, J. F. **Fruits of warm climates**. Winterville: Creative Resources Systems, 1987. p. 347-348.

MOTTA, J. D. **Construção e avaliação de um colorímetro para produtos agrícolas**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MUNIZ, E. Semi-árido: do cacimbão à cisterna. **Governo do Estado do Piauí**, Terezina, 8 abril. 2005. Disponível em: <[http://www.piaui.pi.gov.br/actual/materia\\_especial.php?id=12166](http://www.piaui.pi.gov.br/actual/materia_especial.php?id=12166)> Acesso em: 10 ago. 2007.

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DUARTE, M. E. M. Caracterização termofísica de polpas de bacuri. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 360-368, 2006.

NERD, A.; RAVEH, E.; MIZRAHI, Y. Adaptation of five columnar cactus species to various conditions in the Negev desert of Israel. **Economic Botany**, v. 43, n. 3, p. 31-41, 1993.

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, F. M. N.; ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, A. R. Características físico-químicas da polpa e casca do fruto do mandacaru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. CD.

ORTIZ, H. Y. D. **Pitaya: un nuevo cultivo para México**. México: Limusa, 1999. 111 p. (Serie Biotecnologías).

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Seleção de processos e equipamentos de secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. CD.

PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 1, p. 71-86, 2004.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PARK, K. J. **Estudo comparativo de coeficiente de difusão sem e com encolhimento**. 1987. Tese (Livre-Docência) - UNICAMP, Campinas.

PELEGRINE, D. H. G.; GASPARETTO, C. A. Estudo da solubilidade das proteínas da clara do ovo em função da temperatura e do pH. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 2, p. 169-178, 2003.

PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemático bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.

PEREDA, J. A. O.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. E.; SANZ, M. I. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología dos alimentos: componentes dos alimentos processados**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, 294p.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades reológicas da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.): efeito da concentração. **Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 3, p. 606-612, 2003.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 526-530, 2002.

PRADO, M. E. T.; ALONSO, L. F. T.; SALES, A. F.; PARK, K. J. Isotermas de sorção de tâmaras: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 1, p. 143-146, 1999.

QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; GRANDEIRO, A. A. Características físico-químicas de polpas de figo-da-índia concentradas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004a. CD.

QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; CABRAL, M. F. P. Reologia de suco de cupuaçu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004b. CD.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, n. 5, p. 386–392, 2007.

RAHARITSIFA, N.; GENOVESE, 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.

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.; IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 1, p. 57-63, 1998.

RANGANA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetable products**. New Delhi: Mc Graw-Hill, 1979. 634 p.

RIZZINI, C. T.; MORS, W. B. **Botânica econômica brasileira**. 2. ed. São Paulo: Âmbito Cultural, 1995. 242 p.

ROCKLAND, L. B. Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5° and 40 °C. **Analytical Chemistry**, v. 32, n. 10, p. 1375-1376, 1960.

RODRIGUES, E.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ANSELMO, G. C. S.; DUARTE, M. E. M.; SILVA, Y. C. Isotermas de equilíbrio higroscópico do cajá em pó obtido por meio da secagem por atomização. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2., 2005, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2005. CD.

RODRIGUES, I. A água. In: CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. p.15-36.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 37, n. 5, p. 517-525, 2004.

SANTOS, F. S. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 2, p. 149-155, 2004.

SCHEINVAR, L. **Flora ilustrada catarinense: cactáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1985. 384 p.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A New Version of the assistat-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., Orlando. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 393-396.

SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 3, p. 426-432, 2006.

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, 2005a.

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005b.

SILVA, F. C. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e temperatura**. 1999. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

SILVA, R. R.; BOCCHI, N.; ROCHA FILHO, R. C. **Introdução à química experimental**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990. 296 p.

SILVEIRA, M. R. S.; FIGUEIREDO, R. W.; ALVES, R. E.; SOARES, D. J.; COSTA, J. N. Caracterização físico-química de frutos de puçazeiro 'coroa de frade' (*mouriri elliptica* mart.) da vegetação litorânea do ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 21., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBCTA, 2008. CD.

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.

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

**Tabela Brasileira de Composição de Alimentos.** 2ª ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006.

TEUNOW, E.; FITZPATRICK, J. J.; & SYNNOT, E. C. Characterization of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 1, p. 31-37, 1999.

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.

TORRES, L. B. V.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá concentrada a 10°C. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 5, n. 2, p. 161-168, 2003.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SILVEIRA, E. T. F. **Desidratação de frutas.** Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 40 p.

TSEN, J. H.; KING, V. A. E. Density of banana puree as a function of soluble solids concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 4, p. 305-308, 2002.

UBOLDI, M. **Desidratação por camada de espuma (“foam mat”).** 1971. 32 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

UDDIN, M. S.; HAWLADER, M.N. A.; ZHOU, L. Kinetics of ascorbic acid degradation in dried kiwifruits during storage. **Drying Technology**, v. 19, n. 2, p. 437-446, 2001.

UGULINO, S. M. P. **Técnicas de secagem para elaboração de passas de jaca.** 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

UNIFEM. **Processamento de frutas e legumes.** New York: UNIFEM, 1989. 72 p. (Série: Manual de Tecnologia do Ciclo Alimentar).

VERNON-CARTER, E. J.; ESPINOSA-PAREDESA, G.; BERISTAINB, C. I.; ROMERO-TEHUITZILA, H. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats. **Food Research International**, v. 34, n. 7, p. 587-598, 2001.

VIDAL, J. R. M. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-keitt). **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 39-42, 2004.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) - efeito dos sólidos insolúveis. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 172-175, 2000.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 1, n. 2, p. 69-76, 2000.

VIDAL, J. R. M. B. **Estudo reológico do suco de manga: efeito dos sólidos insolúveis**. 1997. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

VIEIRA, J. A. G. **Propriedades termofísicas e convecção laminar em tubos de suco de laranja**. 1995. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

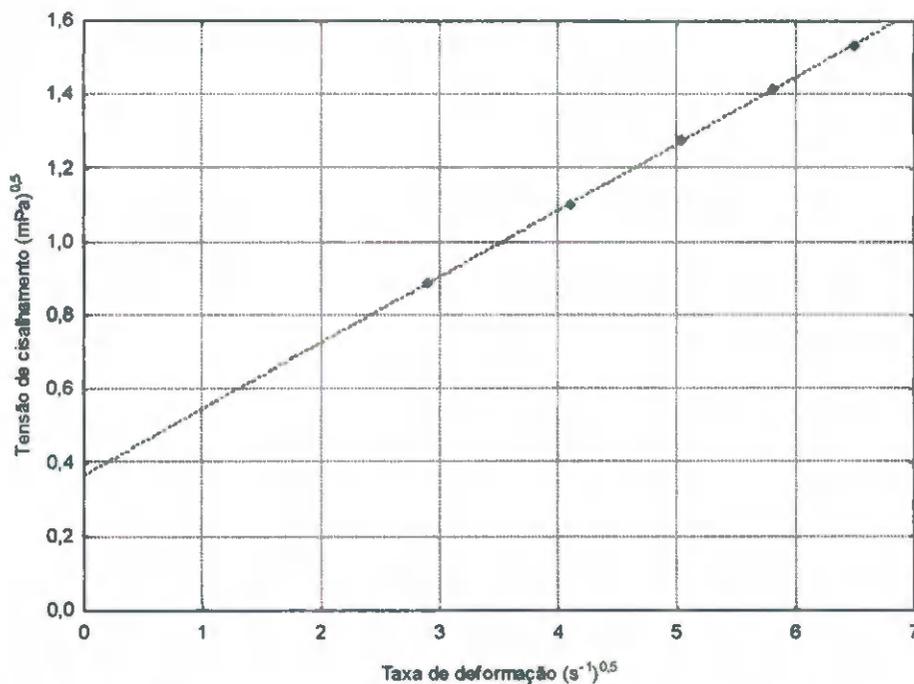
YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T.; TONZAR, A. C.; MORIYA, S.; FERNANDES, J. G. Produtos de acerola: Estudo da estabilidade de vitamina C. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 92-94, 2003.

ZHANG, X. W.; LIU, X.; GU, D. X.; ZHOU, W.; WANG, R. L.; LIU, P. Desorption isotherms of some vegetables. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 70, n. 3, p. 303-306, 1996.

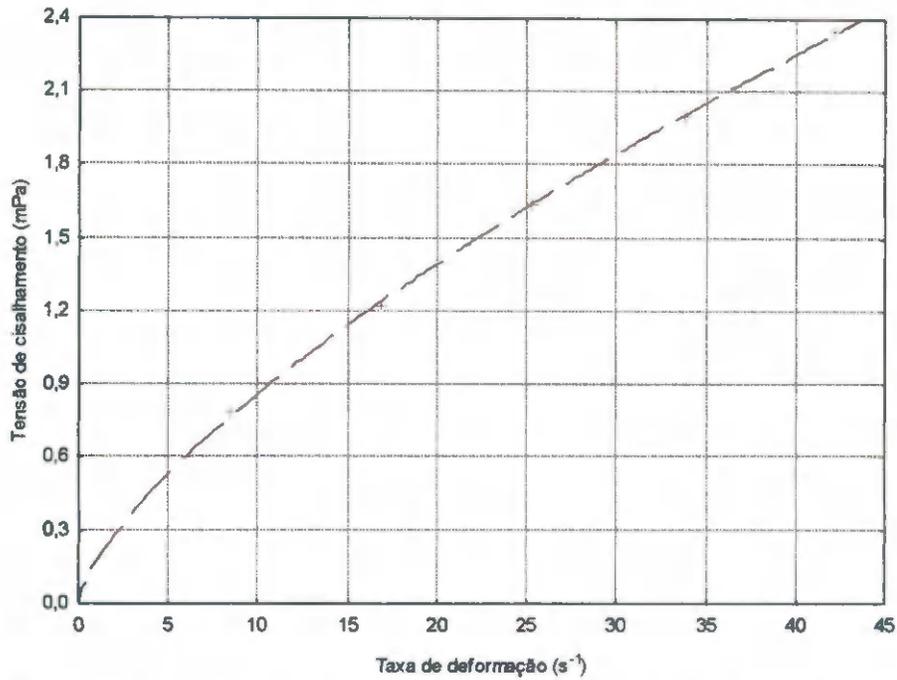
## APÊNDICE A

**Tabela A.1** - Valores médios da viscosidade aparente, tensão de cisalhamento (mPa) e taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa integral do fruto do mandacaru na temperatura de 25 °C, em diferentes velocidades de rotação (rpm)

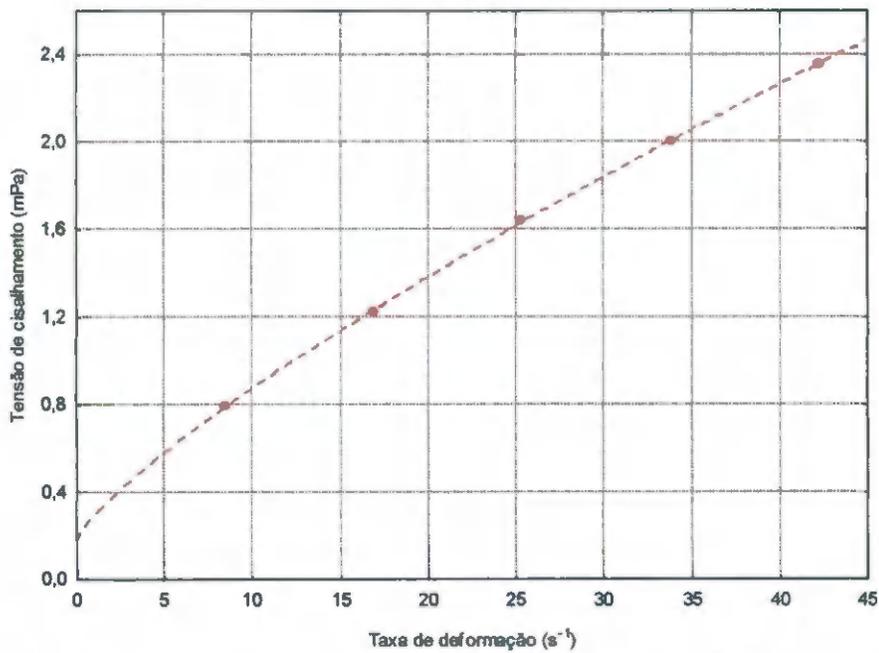
Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (mPa s)	Tensão de cisalhamento (mPa)	Taxa de deformação ( $s^{-1}$ )
20	114,0	0,791	8,44
40	87,3	1,222	16,88
60	78,0	1,638	25,32
80	71,5	2,002	33,76
100	67,2	2,352	42,20



**Figura A.1** - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo de Casson



**Figura A.2** - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo da Lei da Potência



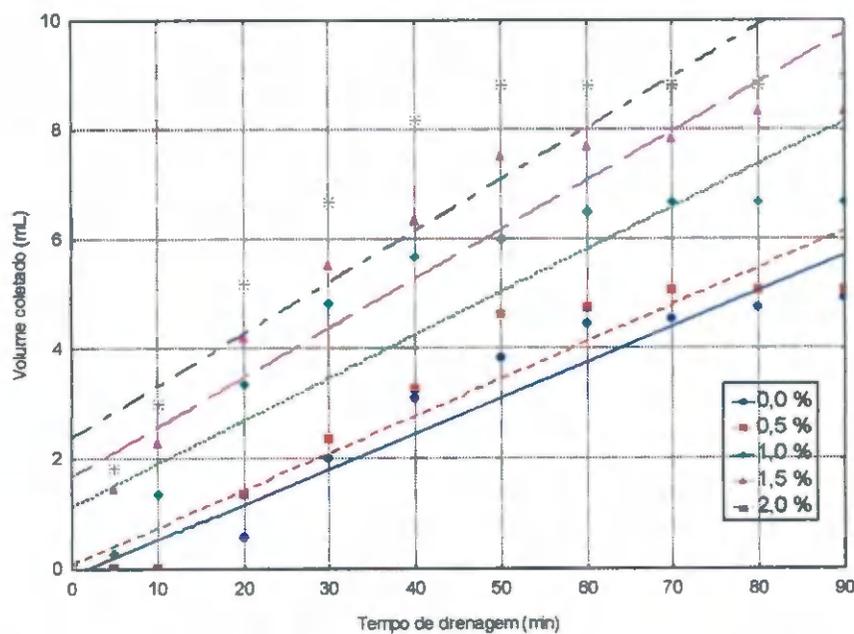
**Figura A.3** - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa integral do fruto do mandacaru com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

## **APÊNDICE B**

**Tabela B.1** - Análise de variância dos valores médios da densidade das espumas das diferentes formulações em função da concentração de extrato de soja e diferentes tempos de batimento

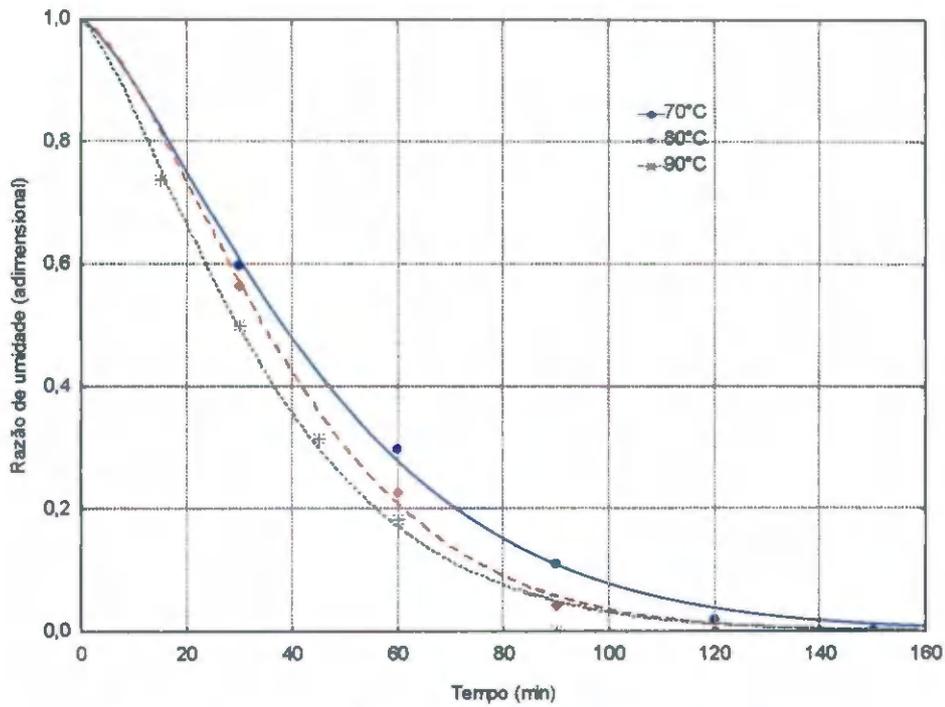
Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tempo (F1)	5	0,05035	0,01007	890,6698 **
Concentração (F2)	4	1,43355	0,35839	31700,8276 **
Interação (F1 x F2)	20	0,02843	0,00142	125,7567 **
Tratamentos	29	1,51233	0,05215	4612,8205 **
Resíduo	60	0,00068	0,00001	
Total	89	1,51301		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

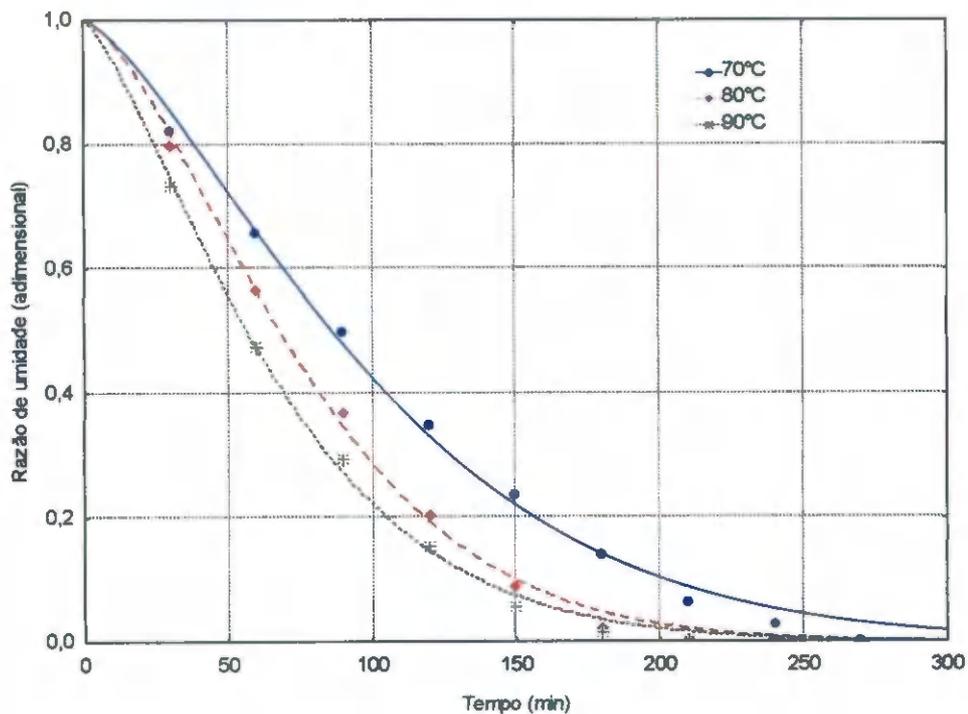


**Figura B.1** – Volume coletado de líquido (mL) em função do tempo de batimento (min) para as diferentes concentrações de extrato de soja (%) com ajuste pela equação linear

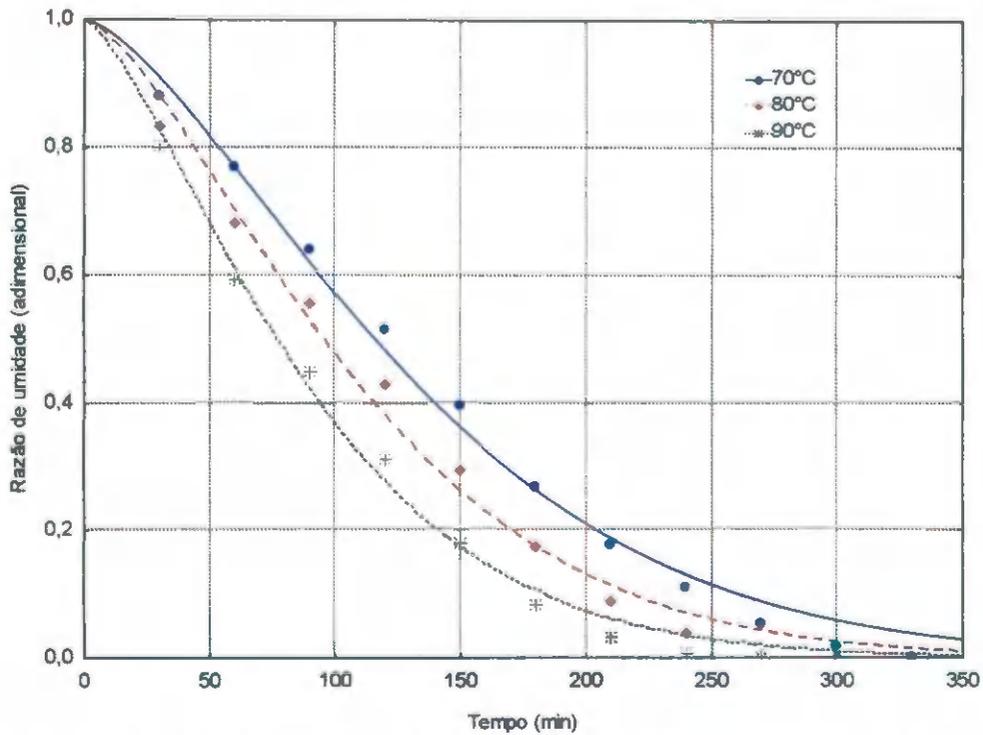
## **APÊNDICE C**



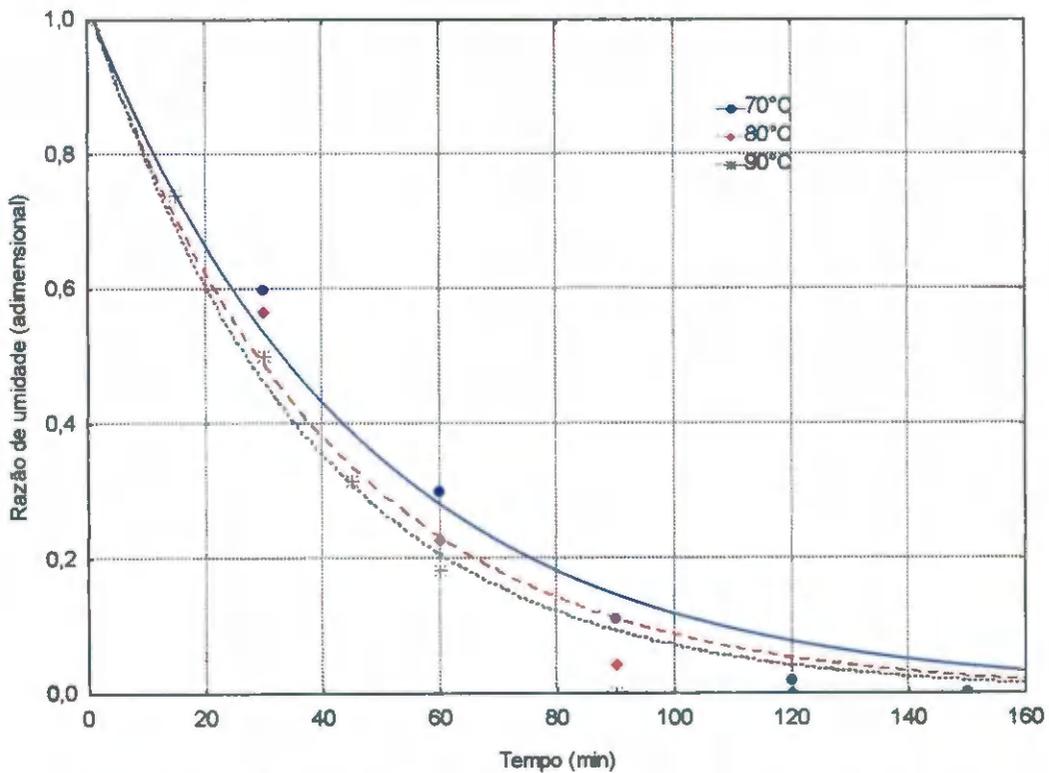
**Figura C.1** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Page



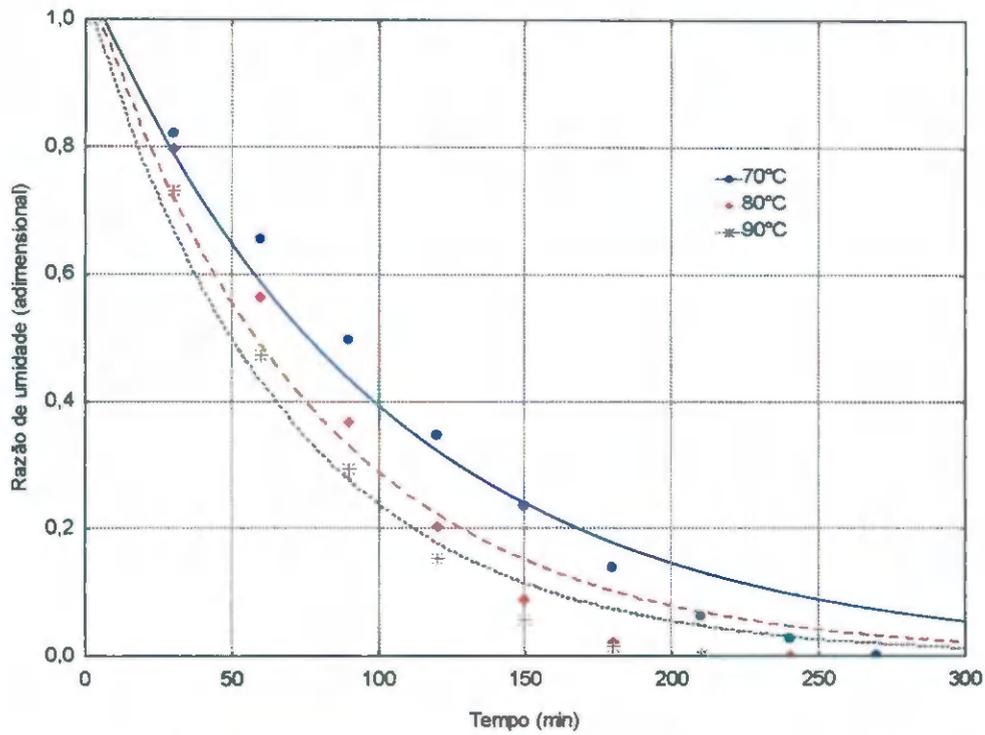
**Figura C.2** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Page



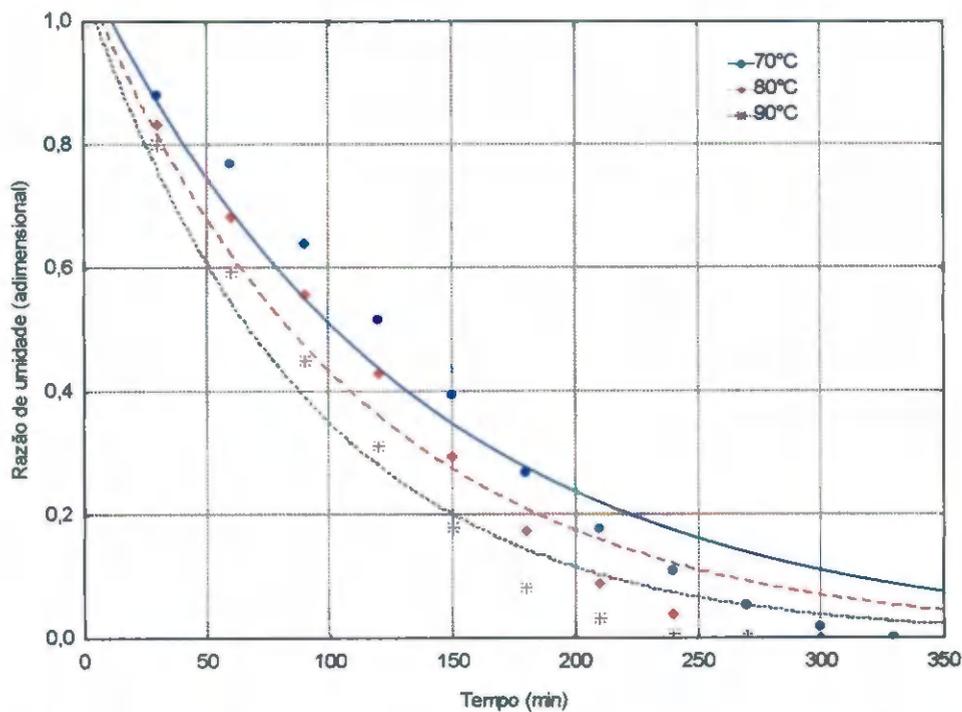
**Figura C.3** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Page



**Figura C.4** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Henderson & Pabis



**Figura C.5** – Cinética de secagem da Formulação nº 1 com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Henderson & Pabis



**Figura C.6** – Cinética de secagem da Formulação nº 1, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, para as diferentes temperaturas com ajustes pelo Modelo Henderson & Pabis

## **APÊNDICE D**

**Tabela D.1 - Análise de variância dos valores médios do pH da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma**

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	0,02272	0,01136	127,7917 **
Espessura (F2)	2	0,50743	0,25371	2854,2917 **
Interação (F1 x F2)	4	0,00106	0,00026	2,9792 *
Tratamentos	8	0,53121	0,06640	747,0104 **
Resíduo	18	0,00160	0,00009	
Total	26	0,53281		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade: G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

**Tabela D.2 - Análise de variância dos valores médios da umidade (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma**

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	457,47650	228,73825	1296,7293 **
Espessura (F2)	2	37,44787	18,72394	106,1470 **
Interação (F1 x F2)	4	9,16379	2,29095	12,9875 **
Tratamentos	8	504,08816	63,01102	357,2128 **
Resíduo	18	3,17513	0,17640	
Total	26	507,26330		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade: G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

**Tabela D.3** - Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	0,13260	0,06630	282,5368 **
Espessura (F2)	2	0,06083	0,03041	129,6141 **
Interação (F1 x F2)	4	0,00139	0,00035	1,4834 ns
Tratamentos	8	0,19482	0,02435	103,7794 **
Resíduo	18	0,00422	0,00023	
Total	26	0,19904		

ns - não significativo; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

**Tabela D.4** - Análise de variância dos valores médios ácido ascórbico (mg/100g) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	1605,87415	802,93707	2045,2781 **
Espessura (F2)	2	145,18819	72,59409	184,9150 **
Interação (F1 x F2)	4	11,86352	2,96588	7,5548 **
Tratamentos	8	1762,92586	220,36573	561,3257 **
Resíduo	18	7,06646	0,39258	
Total	26	1769,99231		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

**Tabela D.5** - Análise de variância dos valores médios das cinzas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	4,15175	2,07587	132,9767 **
Espessura (F2)	2	0,16012	0,08006	5,1284*
Interação (F1 x F2)	4	0,04159	0,01040	0,6661 ns
Tratamentos	8	4,35346	0,54418	34,8593 **
Resíduo	18	0,28099	0,01561	
Total	26	4,63445		

ns - não significativo; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

**Tabela D.6** - Análise de variância dos valores médios dos açúcares redutores (% glicose) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	2269,57650	1134,78825	152,3828 **
Espessura (F2)	2	576,52210	288,26105	38,7086 **
Interação (F1 x F2)	4	91,42779	22,85695	3,0693 *
Tratamentos	8	2937,52639	367,19080	49,3075 **
Resíduo	18	134,04527	7,44696	
Total	26	3071,57165		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

**Tabela D.7** - Análise de variância dos valores médios das proteínas (%) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	1,55325	0,77663	90,3053 **
Espessura (F2)	2	2,69579	1,34789	156,7317 **
Interação (F1 x F2)	4	0,54333	0,13583	15,7944 **
Tratamentos	8	4,79236	0,59905	69,6564 **
Resíduo	18	0,15480	0,00860	
Total	26	4,94716		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

**Tabela D.8** - Análise de variância dos valores médios da luminosidade (L\*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	40,94066	20,47033	623,1132 **
Espessura (F2)	2	444,48723	222,24361	6765,0568 **
Interação (F1 x F2)	4	10,42644	2,60661	79,3447 **
Tratamentos	8	495,85432	61,98179	1886,7149 **
Resíduo	18	0,59133	0,03285	
Total	26	496,44565		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

**Tabela D.9** - Análise de variância dos valores médios da intensidade de vermelho (a\*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	41,08501	20,54251	182,6679 **
Espessura (F2)	2	127,66798	63,83399	567,6240 **
Interação (F1 x F2)	4	1,49997	0,37499	3,3345 *
Tratamentos	8	170,25296	21,28162	189,2402 **
Resíduo	18	2,02425	0,11246	
Total	26	172,27721		

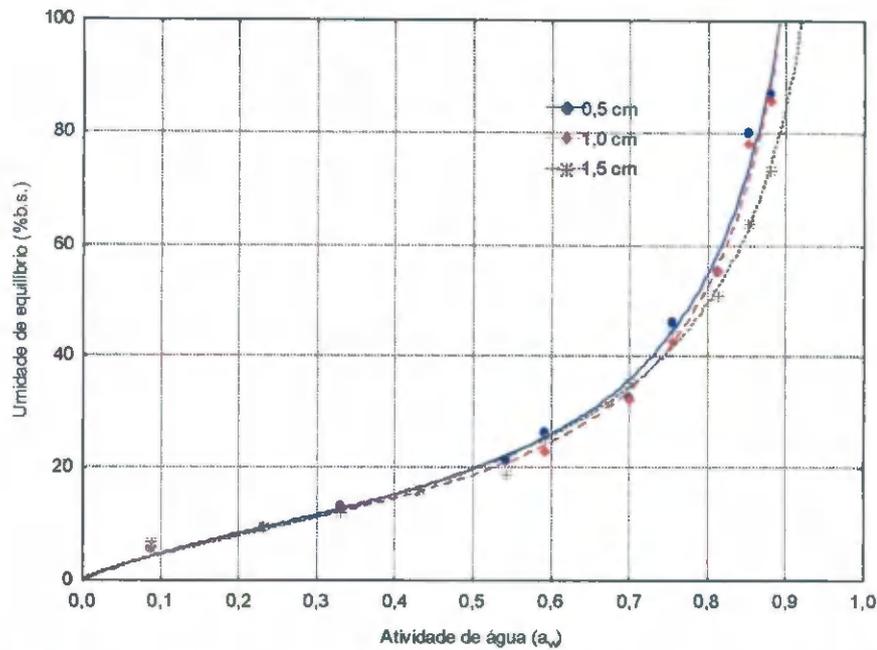
\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

**Tabela D.10** - Análise de variância dos valores médios da intensidade de amarelo (b\*) da polpa do fruto do mandacaru em pó (Formulação nº 1) em função da temperatura de secagem e espessuras da camada de espuma

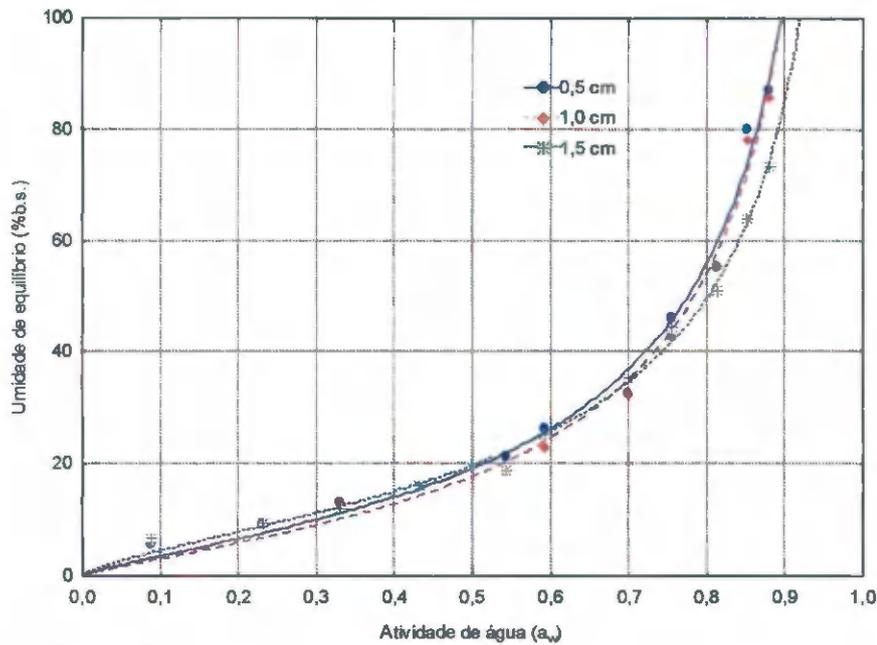
Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	2	27,01502	13,50751	99,6082 **
Espessura (F2)	2	10,58652	5,29326	39,0340 **
Interação (F1 x F2)	4	2,01749	0,50437	3,7194 *
Tratamentos	8	39,61903	4,95238	36,5202 **
Resíduo	18	2,44092	0,13561	
Total	26	42,05995		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

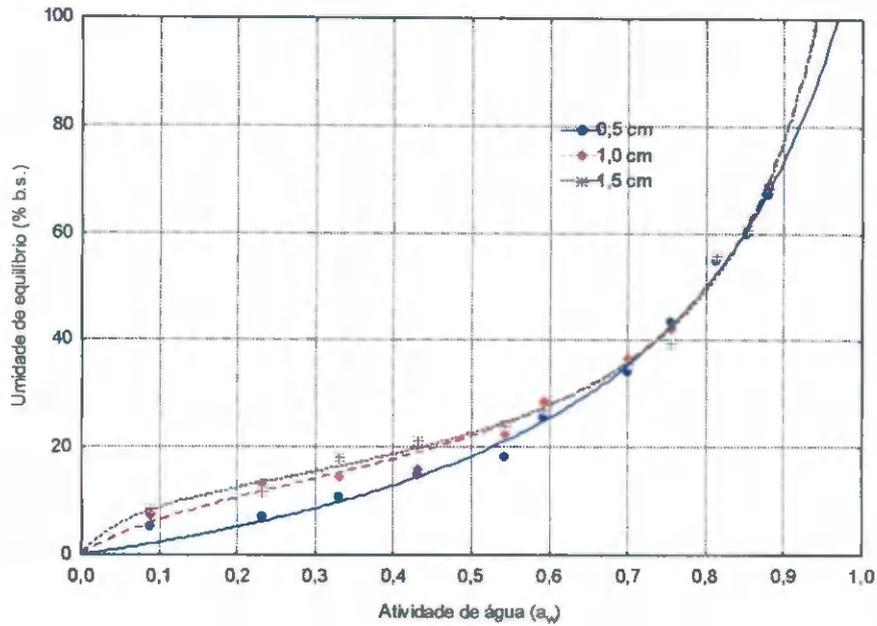
## **APÊNDICE E**



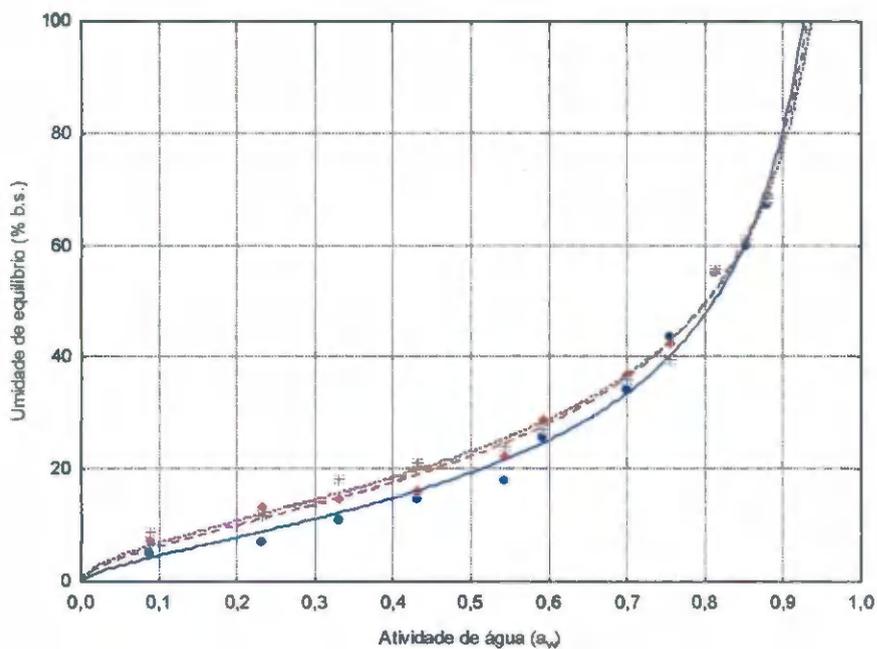
**Figura E.1** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 70 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de GAB



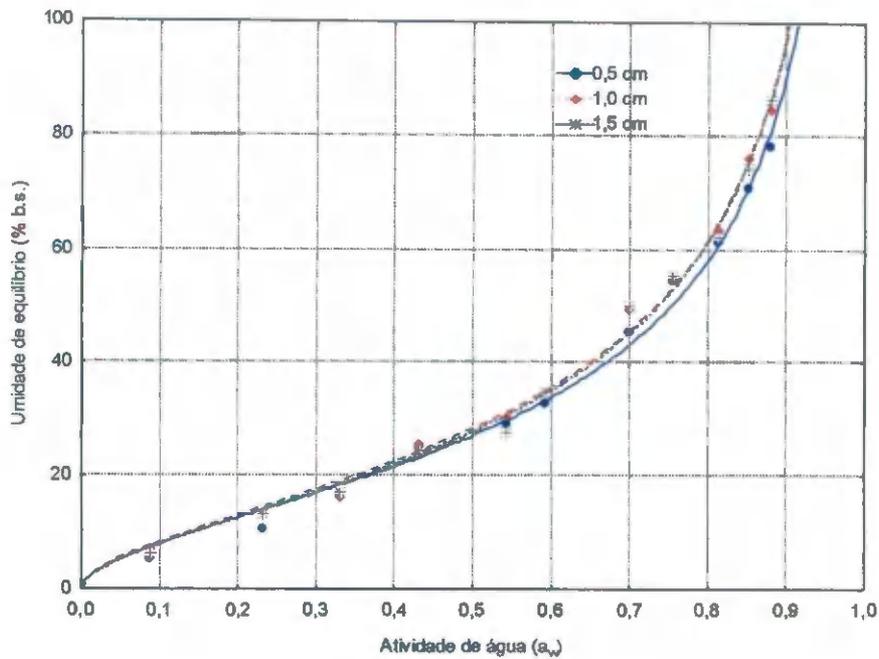
**Figura E.2** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 70 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Oswin



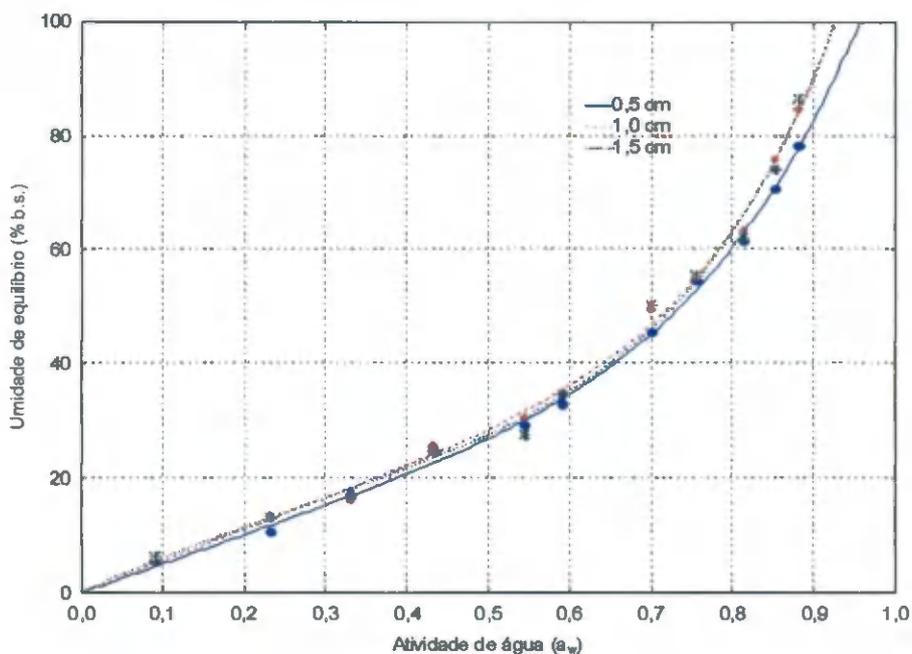
**Figura E.3** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 80 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de GAB



**Figura E.4** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 80 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Oswin



**Figura E.5** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 90 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Oswin



**Figura E.6** - Isotermas de adsorção de umidade a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó desidratada a 90 °C, nas diferentes espessuras da camada de espuma, com ajustes pelo modelo de Peleg