



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

HOLIVANIA MARIA PEREIRA CANUTO

**MAMÃO (*Carica papaya L.*) LIOFILIZADO EM PÓ:  
AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS,  
FÍSICO-QUÍMICAS E HIGROSCÓPICAS.**

FORTALEZA

2011

HOLIVANIA MARIA PEREIRA CANUTO

**MAMÃO (*Carica papaya L.*) LIOFILIZADO EM PÓ: AVALIAÇÃO DAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E  
HIGROSCÓPICAS.**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de alimentos.

Área de concentração: Controle de Qualidade.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

FORTALEZA

2011

C235m Canuto, Holivania Maria Pereira  
Mamão (*Carica papaya L.*) liofilizado em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas / Holivania Maria Pereira Canuto. – 2011.  
77 f. : il. color., enc.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa  
Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Afonso Amorim  
Área de concentração: **Controle de Qualidade**  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2011.

1. Mamão – Secagem por congelação 2. Liofilização 3. Molhabilidade I. Costa, José Maria Correia da (Orient.) II. Amorim, Marcos Rodrigues Afonso (Co-orient.) III. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos IV. Título

CDD 664

HOLIVANIA MARIA PEREIRA CANUTO

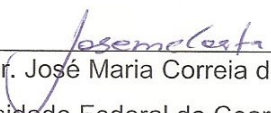
**MAMÃO (*Carica papaya L.*) LIOFILIZADO EM PÓ: AVALIAÇÃO DAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E  
HIGROSCÓPICAS.**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de alimentos. Área de concentração: Controle de Qualidade.

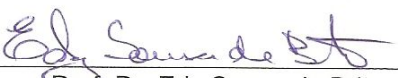
Aprovado em 27 de junho de 2011.

**BANCA EXAMINADORA**

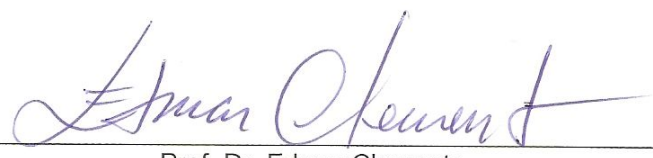
---

  
Prof. Dr. José Maria Correia da Costa  
Universidade Federal do Ceará - UFC  
Orientador

---

  
Prof. Dr. Edy Sousa de Brito  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

---

  
Prof. Dr. Edmar Clemente  
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sua presença permanente e incondicional em minha vida, ajudando-me, inclusive, a superar as adversidades que me foram impostas, permitindo-me o alcance desse momento.

À minha família, representada por minha mãe Fátima Lúcia Pereira Canuto e por minha irmã Olívia Maria Pereira Canuto, pelo apoio e compreensão durante o período desse trabalho.

À minha amiga Rafaela Maria Temóteo Lima, pelo conhecimento inicial que tive do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, por sua solicitude e inestimável amizade.

Ao professor Dr. José Maria Correia da Costa, por sua orientação marcada pelo fornecimento de diretrizes, as quais me nortearam ao longo desse mestrado, assim como por sua solicitude.

Ao professor Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso, por sua co-orientação e solicitude, assim como pelas críticas e sugestões pertinentes a este trabalho.

Ao Luís Gomes de Moura Neto, por seu companheirismo, incluindo atenção e compreensão em momentos cruciais, durante todo o mestrado, o qual foi independente da distância, pela transferência de seus conhecimentos e pelos momentos de entretenimento, através de seu jeito extrovertido.

À Érica Milô de Freitas Felipe Rocha, por sua ultra-didática na passagem de seus conhecimentos, por ser uma pessoa tão solícita e compreensiva e por sua simpatia contagiante.

À Teresinha Bastos Moreira, por sua inestimável ajuda nos dois meses iniciais da parte experimental, repassando-me seus conhecimentos práticos, no que tange à liofilização, por seu jeito altruísta em várias situações.

À Anne Karine Gurgel Dias Florêncio, por sua atenção, cooperação espontânea e serenidade, logo perceptíveis, apesar de sua efêmera temporada no laboratório, pela sua amizade que permaneceu após esse período.

A todos do Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem: Alinne Alencar Costa dos Santos; Emanuele Nogueira Batista; Francisca Lígia de Castro Machado; Gerlândia da Silva Pereira; Gleison Silva Oliveira Janaína de Paula da Costa e Sanyelle Lima Sousa

além dos já citados e às visitantes Katieli Martins Todisco e Dalany Menezes. Agradeço-lhes por terem me ajudado direta e/ou indiretamente, incluindo os momentos de entretenimento.

Aos professores Dr. Edy Sousa de Brito e Dra. Sueli Rodrigues, pelas críticas e sugestões pertinentes à elaboração da dissertação.

Ao secretário Paulo Mendes, por sua diligência, solicitude e esclarecimentos quantos às questões burocráticas do curso.

À Universidade Federal do Ceará, pela estrutura oferecida para o desenvolvimento experimental deste trabalho, assim como pelo corpo docente disponibilizado para as disciplinas cursadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

## RESUMO

O mamão (*Carica papaya L.*) é uma fruta tropical conhecida e apreciada mundialmente. Suas características sensoriais e nutricionais contribuem para a grande aceitabilidade desta fruta. Contudo, no período pós-colheita ocorrem elevadas perdas devido a sua alta perecibilidade. Nesse contexto, a liofilização surge como um processo promissor na desidratação de mamão, pois é um processo de secagem que contribui para preservar os componentes minerais e vitamínicos do alimento. Neste trabalho, aplicou-se o processo de liofilização em polpa de mamão Formosa, sendo utilizado para dois dentre os três ensaios estudados o adjuvante de liofilização maltodextrina. Foi avaliada a estabilidade dos pós alimentícios obtidos através do estudo das características físicas, físico-químicas e higroscópicas. A liofilização reduziu significativamente os teores de carotenóides das polpas. Já os elevados teores de açúcares das polpas foram conservados até o final do armazenamento dos pós obtidos após a liofilização. O aumento da concentração do adjuvante propiciou maior retenção de vitamina C durante o armazenamento, assim como reduziu a higroscopicidade nos pós de mamão liofilizado, resultando em maior estabilidade da atividade de água e manutenção dos níveis de umidade. Portanto, evidenciou-se a relevância da maltodextrina como adjuvante do processo de liofilização da polpa de mamão Formosa, fornecendo pós alimentícios mais viáveis, incluindo o aumento da vida de prateleira desses produtos.

Palavras-chave: *Carica papaya L.*. Liofilização. Maltodextrina. Higroscopicidade. Estabilidade.

## ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya L.*) is a tropical fruit known and appreciated worldwide. Their sensory and nutritional characteristics contribute to the wide acceptability of this fruit. However, in the post-harvest loss is high due to its highly perishable. In this context, the lyophilization appears as a promising process for dehydration of papaya, because is a drying process that contributes to preserve the vitamin and mineral components of food. In this work, was applied the lyophilization process in Formosa papaya pulp, being used for two of the three trials studied the adjuvant lyophilization maltodextrin. Was evaluated the stability of food powders obtained through of the study of the physical, physico-chemical and hygroscopic characteristics. The lyophilization significantly reduced the carotenoid contents of the pulps. The high sugar contents of the pulps were kept until the end of the storage the powders obtained after lyophilization. The increase in concentration of the adjuvant resulted in higher retention of vitamin C during storage, as well as reduced the hygroscopicity in papaya lyophilized powders, resulting in increased stability of the water activity and maintenance of humidity levels. Therefore, showed the relevance of maltodextrin as an adjuvant to lyophilization of the pulp of Formosa papaya, providing food powders more viable, including increasing the shelf life of these products.

Keywords: *Carica papaya L.*. Lyophilization. Maltodextrin. Hygroscopicity. Stability.

## NOMENCLATURA

$a^*$	Componente cromático vermelho-verde
$a_H$	Parâmetro de ajuste do modelo de Henderson
$a_O$	Parâmetro de ajuste do modelo de Oswin
$a_w$	Atividade de água
$A_{470}$	Absorbância a 470 nm
$A_{646}$	Absorbância a 646 nm
$A_{663}$	Absorbância a 663 nm
$b^*$	Componente cromático amarelo-azul
BET	Brunauer-Emmett-Teller
$b_H$	Parâmetro de ajuste do modelo de Henderson
$b_O$	Parâmetro de ajuste do modelo de Oswin
b.s.	Base seca
C	Carotenóides
$c^*$	Croma
Ca	Clorofila a
Cb	Clorofila b
$C_B$	Constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular
$C_G$	Constante de GAB relacionada ao calor de sorção da camada molecular
DE	Dextrose equivalente
$E\%$	Erro médio relativo
GAB	Guggenheim, Anderson e de Boer
$h^*$	Hue
K	Constante de GAB relacionada às multicamadas
$L^*$	Luminosidade
MD	Maltodextrina
$m_{eq}$	Massa da amostra no equilíbrio(g);
$m_S$	Massa da amostra seca (g).
n	Parâmetro de ajuste do modelo de BET
N	Número de gramas de umidade (perda de massa em g)
p	Número de gramas da amostra
P	Pressão parcial de vapor de água

PM	Polpa de mamão
$p_o$	Pressão de vapor da solução saturada
$P_o$	Pressão de vapor da água pura
$P_w$	Pressão de vapor da água no alimento
$R^2$	Coefficiente de determinação
UR	Umidade relativa
$X_{eq}$	Conteúdo de Umidade de equilíbrio (Kg de água/Kg de matéria seca)
$X_{mB}$	Conteúdo de umidade na monocamada molecular de BET (Kg/Kg)
$X_{mG}$	Conteúdo de umidade na monocamada molecular de GAB (Kg/Kg)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Amostras de polpa de mamão dispostas em bandejas plásticas .....	27
Figura 2A	Liofilizador de bancada .....	28
Figura 2B	Liofilizador, ultra freezer e o computador conectado ao liofilizador .....	28
Figura 3A	Espaço de cor CIELab .....	32
Figura 3B	Coordenadas cilíndricas do sistema CIELab .....	32
Figura 4	Representação esquemática de uma célula utilizada para estabelecer o equilíbrio dos pós de mamão liofilizado .....	33
Figura 5A	<i>Caking</i> após acondicionamento a vácuo de mamão liofilizado em pó .....	37
Figura 5B	<i>Caking</i> após acondicionamento a vácuo de mamão liofilizado em pó .....	37
Figura 6A	Estrutura “borrachuda” .....	38
Figura 6B	<i>Caking</i> após acondicionamento em sacos plásticos de polietileno .....	38
Figura 7A	Mamão liofilizado em pó após 5 meses acondicionados em frascos de vidro tipo penicilina .....	38
Figura 7B	Mamão liofilizado em pó após 5 meses acondicionados em frascos de vidro tipo penicilina .....	38
Figura 8	Isotermas de adsorção, a 25°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1 .....	52
Figura 9	Isotermas de adsorção, a 30°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1 .....	52
Figura 10	Isotermas de adsorção, a 35°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1 .....	53
Figura 11	Isotermas de adsorção, a 40°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1 .....	53
Figura 12	Isotermas de adsorção, a 25°C, dos pós de polpa formulada, polpa de	

	mamão + 5% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 2 .....	54
Figura 13	Isotermas de adsorção, a 30°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 5% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 2 .....	54
Figura 14	Isotermas de adsorção, a 35°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 5% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 2 .....	55
Figura 15	Isotermas de adsorção, a 40°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 5% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 2 .....	55
Figura 16	Isotermas de adsorção, a 25°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 15% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 3 .....	56
Figura 17	Isotermas de adsorção, a 30°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 15% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 3 .....	56
Figura 18	Isotermas de adsorção, a 35°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 15% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 3 .....	57
Figura 19	Isotermas de adsorção, a 40°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 15% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 3 .....	57
Figura 20	Isotermas de adsorção em diferentes temperaturas: melhor modelo para o ensaio 1 .....	58
Figura 21	Isotermas de adsorção em diferentes temperaturas: melhor modelo para o ensaio 2 .....	59
Figura 22	Isotermas de adsorção em diferentes temperaturas: melhor modelo para o ensaio 3 .....	59
Figura 23	Isotermas de adsorção a 25°C: melhor modelo em cada ensaio .....	60
Figura 24	Isotermas de adsorção 30°C: melhor modelo em cada ensaio .....	61
Figura 25	Isotermas de adsorção a 35°C: melhor modelo em cada ensaio .....	61
Figura 26	Isotermas de adsorção a 40°C: melhor modelo em cada ensaio .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Atividade de água, a 21,0° C ± 2,0° C, de soluções saturadas utilizadas por GREESPAN (1977) .....	32
Tabela 2	Modelos matemáticos utilizados para o ajuste dos dados experimentais das isotermas de adsorção .....	34
Tabela 3	Caracterização física e físico-química da polpa de mamão formosa e das polpas formuladas .....	36
Tabela 4	Composição da polpa de mamão estabelecida em legislação .....	37
Tabela 5	Teores de carotenóides e açúcares dos pós de mamão liofilizado .....	39
Tabela 6	Valores médios e desvios-padrão da umidade do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	40
Tabela 7	Valores médios e desvios-padrão da atividade de água (a <sub>w</sub> ) do mamão liofilizado em pó, durante armazenamento .....	41
Tabela 8	Valores médios e desvios-padrão da vitamina C do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	42
Tabela 9	Valores médios e desvios-padrão da acidez do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	44
Tabela 10	Valores médios e desvios-padrão do pH do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	45
Tabela 11	Valores médios e desvios-padrão dos sólidos solúveis (°Brix) do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	46
Tabela 12	Valores médios e desvios-padrão da coordenada L* do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	47
Tabela 13	Valores médios e desvios-padrão da coordenada a* do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	48
Tabela 14	Valores médios e desvios-padrão da coordenada b* do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	49

Tabela15	Valores médios e desvios-padrão da coordenada croma do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	50
Tabela 16	Valores médios e desvios-padrão da coordenada hue do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento .....	51
Tabela 17	Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção do ensaio 1 .....	64
Tabela 18	Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção do ensaio 2 .....	65
Tabela 19	Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção do ensaio 3 .....	66

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1	Mamão .....	17
2.2	Atividade de água ( $a_w$ ) .....	18
2.3	Isotermas de sorção .....	19
2.3.1	Modelos matemáticos .....	19
2.4	Secagem .....	22
2.4.1	Liofilização .....	23
2.4.1.1	Maltodextrina .....	23
2.4.1.2	<i>Caking</i> .....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
3.1	Materiais .....	26
3.1.1	Matéria-prima .....	26
3.1.2	Agente adjuvante .....	26
3.1.3	Equipamento .....	26
3.2	Métodos .....	26
3.2.1	Preparo das amostras .....	27
3.2.2	Liofilização .....	27
3.2.3	Obtenção dos pós de mamão liofilizado .....	28
3.2.4	Acondicionamento dos pós de mamão liofilizado .....	28
3.2.5	Métodos analíticos .....	29
3.2.6	Modelagem das Isotermas de adsorção .....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1	Polpas de mamão .....	35

4.1.1	Caracterização física e físico-química .....	35
4.2	Pós de mamão liofilizado .....	37
4.2.1	Acondicionamento dos pós .....	37
4.2.2	Estudo da estabilidade dos pós de mamão liofilizado .....	38
4.2.2.1	Carotenóides e açúcares .....	38
4.2.2.2	Umidade e $a_w$ .....	39
4.2.2.3	Vitamina C (ácido ascórbico) .....	41
4.2.2.4	Acidez e pH .....	43
4.2.2.5	Sólidos Solúveis (°Brix) .....	45
4.2.2.6	Cor .....	46
4.2.2.7	Isotermas de adsorção dos pós de mamão liofilizado .....	51
5	CONCLUSÕES .....	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68

# 1 INTRODUÇÃO

Em função do privilegiado clima brasileiro, é possível cultivar em todo País frutas tropicais, subtropicais e temperadas, com pólos produtivos já consolidados de laranja, mamão, banana, abacaxi, abacate, castanha de caju, coco, cacau, limão, caju, manga, maçã, maracujá, melão, goiaba, uva, pêsego, melancia, caqui e figo (MAPA, 2008).

A produção mundial de frutas tropicais foi estimada em mais de 82,7 milhões de toneladas em 2008. Deste total, a produção de mamão representa 10 por cento, sendo superada apenas pelas participações da manga e do abacaxi, constituindo uma das quatro principais frutas tropicais em termos de produção mundial (FAO, 2009).

O mamão é uma fruta tropical conhecida e apreciada mundialmente. Devido às suas características sensoriais e nutricionais (fonte de sais minerais, vitaminas e fibras) e às propriedades funcionais (digestiva e laxativa), tem grande aceitabilidade.

Emprega-se a secagem de frutas para melhorar a estabilidade através da diminuição da atividade de água, minimizando reações químicas e enzimáticas que ocorrem durante o armazenamento, assim como agregar valor e diminuir os desperdícios pós-colheita (MARQUES, 2008).

A secagem ou desidratação é definida como “a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um alimento” (ou no caso da liofilização, por sublimação) (FELLOWS, 2006).

A secagem por liofilização permite a obtenção de produtos em pó, oferecendo alta eficiência e capacidade de preservar os elementos naturais destes produtos (LÓPEZ *et al.*, 2006), por meio de operações de congelamento, sublimação e vácuo.

O mamão em pó pode ser utilizado como agente aromatizante, amaciante de carne, ou como ingrediente nas misturas de sopa. Pode ser prensado em cápsulas e vendido como produtos para o alívio dos problemas de digestão.

Neste trabalho, aplicou-se o processo de liofilização em polpa de mamão Formosa. Foi avaliada a estabilidade dos pós alimentícios obtidos através do estudo das características físicas, físico-químicas e higroscópicas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MAMÃO

O mamoeiro (*Carica papaya L.*) é uma das fruteiras mais comuns em quase todos os países da América Tropical, sendo descoberto pelos espanhóis na região compreendida entre o sul do México e o norte de Nicarágua. Após a descoberta, o mamoeiro foi amplamente distribuído em várias regiões tropicais, estendendo-se a 32° de latitude norte e sul, com possível introdução no Brasil em 1587 (SERRANO; CATTANEO, 2010).

É considerada como uma das fruteiras mais cultivadas e consumidas nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Seus frutos, conhecidos como mamão ou papaya, são excelentes fontes de cálcio, pró-vitamina A e vitamina C (ácido ascórbico), por isso são amplamente utilizados em dietas alimentares (SERRANO; CATTANEO, 2010).

O mamão é um fruto carnosos, grande, indeiscente, com polpa macia, densa, aromática e de coloração variável entre o amarelo e o vermelho. Sua casca é lisa e fina, verde na ocasião da colheita e que se torna gradativamente amarela ou alaranjada com o amadurecimento. A cavidade interna do fruto contém numerosas sementes pretas, comestíveis, de sabor picante, revestidas por uma substância mucilaginosa (PATRO, 2011).

O mamão é um fruto climatérico cujas transformações resultantes do amadurecimento ocorrem rapidamente após a colheita do fruto fisiologicamente maduro, desencadeadas pela produção do etileno e aumento da taxa respiratória. Isso o caracteriza como um fruto bastante perecível em pós-colheita (PAULL, 1993).

As cultivares de mamoeiro mais exploradas no Brasil são classificadas em dois grupos: 'Solo' e 'Formosa'. As cultivares do grupo 'Solo' possuem alto potencial de endogamia, e seus frutos, de menor tamanho ( $\approx 0,35$  a  $0,70$  kg), são destinados para o mercado interno e, principalmente, para o mercado externo. As principais cultivares do grupo 'Formosa' são híbridas importadas que produzem frutos de maior tamanho ( $>1,0$  kg) que são destinados, principalmente, ao mercado interno. Os municípios de Pinheiros-ES, Prado-BA e Porto Seguro-BA são os maiores produtores de mamão do grupo 'Formosa' (principalmente o híbrido importado 'Tainung 01'), e Linhares-ES e Sooretama-ES são os maiores produtores de mamão do grupo 'Solo' (principalmente 'Golden' e 'Golden THB' para exportação e 'Sunrise Solo' para o mercado nacional) (SERRANO; CATTANEO, 2010).

Segundo dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), referentes a produção mundial de mamão de 2008, o Brasil é o segundo maior produtor desta fruta. Entre os estados produtores, a liderança é da Bahia que colheu mais de 891.236 toneladas, ou seja, o correspondente a 49,7% da produção nacional da temporada 2009. No segundo posto, encontra-se o Espírito Santo, com uma produção de 550.057 toneladas, equivalentes a 30,7% do total nacional. Apenas estes dois estados concentraram 80,4% da produção nacional de mamão em 2009. Na temporada 2009, também se destacaram, na produção da fruta, os Estados do Ceará, do Rio Grande do Norte, da Paraíba e de Minas Gerais. Comparativamente ao *ranking* de 2008, apenas o Ceará e Rio Grande do Norte alternaram suas posições: a produção cearense superou a potiguar em 2009, alçando o Estado do Ceará da quarta para a terceira posição no *ranking* nacional (IBGE, 2009).

O mamão é uma fruta tropical, consumida principalmente durante o café da manhã ou como sobremesa, quando processada, é servida na forma de suco, vitamina e doce cristalizado, por ser uma fruta de excelente sabor e indicada como alimento saudável, o mamão tem demonstrado uma demanda crescente do mercado consumidor (NEVES, 2007).

## 2.2 ATIVIDADE DE ÁGUA ( $a_w$ )

A atividade de água é razão entre a pressão de vapor da água no alimento ( $P_w$ ) e a pressão de vapor da água pura ( $P_o$ ) na mesma temperatura do alimento (FENNEMA, 1981; ROTH; LONCIN, 1984), conforme a equação:

$$a_w = \frac{P_w}{P_o} = \frac{UR}{100} \quad (\text{Equação 1})$$

A atividade de água é uma das propriedades mais importantes para o grau de processamento, conservação e armazenamento de alimentos. Ela quantifica o grau de ligação da água contida no produto e conseqüentemente sua disponibilidade para agir como um solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (LABUZA, 1980).

O desenvolvimento microbiano nos alimentos é condicionado por diversos fatores ambientais como temperatura e umidade relativa, em que a atividade de água se constitui de um dos mais importantes (El-AOUAR, 2005).

Quase toda atividade microbiana é inibida abaixo da  $a_w = 0,6$ , e a maioria dos fungos, das leveduras e das bactérias é inibida, respectivamente, abaixo de  $a_w = 0,7$ ,  $a_w = 0,8$  e  $a_w = 0,9$  (FELLOWS, 2006).

## 2.3 ISOTERMAS DE SORÇÃO

Como a maioria dos microorganismos não cresce em alimentos com  $a_w$  abaixo de 0,6, a  $a_w$  dos alimentos terá que ser mantida abaixo de 0,6 para prolongar a vida útil do produto. Portanto, é essencial para produtos secos ou com umidade intermediária o conhecimento das características de sorção destes produtos nesta faixa de atividade de água (0-0,6), sendo assim as isotermas de sorção podem, então, ser usadas para prever a vida útil de produtos embalados sensíveis à umidade através de modelagem de absorção de umidade durante o armazenamento e distribuição (YAN; SOUSA-GALLAGHER; OLIVEIRA, 2008). As isotermas de sorção são, também, importantes para projetar e otimizar equipamentos de secagem (THYS *et al.*, 2010).

As isotermas de sorção descrevem a relação entre a atividade de água (umidade relativa de equilíbrio) e conteúdo de umidade de equilíbrio do material a uma temperatura constante (THYS *et al.*, 2010), sendo representadas graficamente. No caso especial dos alimentos em pó, elas podem ser utilizadas para prever *caking* (MATHLOUTHI; ROGÉ, 2003).

A curva de isoterma de sorção pode ser obtida através da adsorção ou dessorção. Os processos de adsorção e dessorção não são totalmente reversíveis, portanto, uma distinção pode ser feita entre as isotermas para determinar se os níveis de umidade dentro do produto está aumentando (adsorção) ou diminuindo (dessorção) (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2004).

### 2.3.1 Modelos matemáticos

Para o ajuste dos dados experimentais das isotermas, é necessário utilizar modelos matemáticos e fazer a correspondência entre teor de umidade do produto analisado ( $X_{eq}$ ) e atividade de água ( $a_w$ ), fornecendo informações importantes sobre o fenômeno de sorção, tais como a água absorvida na monocamada molecular ou o calor de sorção para as camadas

subseqüentes. Existem vários modelos matemáticos, dentre eles os mais difundidos são: modelo de BET e o modelo de GAB (ARAÚJO *et al.*, 2005).

Dentre os vários modelos matemáticos, os seguintes serão utilizados neste trabalho:

### Modelo de BET

A equação de BET (Brunauer-Emmett-Teller) é o modelo mais conhecido e usado com sucesso para atividade de água até valores em torno de 0,6. Ampliando o conceito de Langmuir e tecendo considerações da natureza química da umidade, Brunauer, Emmet e Teller (BET) propõem, para camadas polimoleculares (PARK; NOGUEIRA, 1992):

$$X_{eq} = \frac{(X_m \cdot c \cdot a_w)}{(1 - a_w)} \left[ \frac{(1 - (n + 1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1})}{1 - (1 - c) \cdot a_w - c a_w^{n+1}} \right] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- $X_{eq}$  – conteúdo de umidade de equilíbrio, Kg de H<sub>2</sub>O/Kg de matéria seca;
- $X_m$  – conteúdo de umidade na monocamada molecular, Kg/Kg;
- $a_w$  – atividade de água;
- $c$  e  $n$  – parâmetros de ajustes.

Esta equação tem dois importantes casos especiais: quando  $n = 1$ , ela fica reduzida à equação de Langmuir (Equação 3) e quando  $n$  tende a infinito, ela se reduz à equação de BET linearizável (equação 4):

$$\frac{X_{eq}}{X_m} = \frac{c \cdot a_w}{1 + c \cdot a_w} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot X_{eq}} = - \frac{1 + a_w \cdot (c - 1)}{X_m \cdot c} \quad (\text{Equação 4})$$

### Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer)

A Equação GAB (Equação 5) foi reportada ser útil no ajuste de dados em uma faixa mais ampla de atividade de água (0,1 a 0,9) do que a permitida com a Equação BET (ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003).

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot c \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + c \cdot k \cdot a_w)} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- $X_{eq}$  – conteúdo de umidade de equilíbrio, Kg de H<sub>2</sub>O/Kg de matéria seca;
- $X_m$  – conteúdo de umidade na monocamada molecular, Kg/Kg;
- $a_w$  – atividade de água;
- $c$  e  $k$  – parâmetros de ajustes.

C e K são as constantes de adsorção, relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subseqüentes, em um sítio de sorção. Observa-se, no modelo que, quando K é igual à unidade, esta equação se reduz à equação de BET, com dois parâmetros (ARAÚJO *et al.*, 2005).

### Modelo de HENDERSON

Um dos modelos mais usados para a predição de isotermas é a equação empírica (HENDERSON, 1952):

$$X_{eq} = \left[ \frac{-\text{Ln}(1 - a_w)}{b} \right]^{1/a} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

- $X_{eq}$  – conteúdo de umidade de equilíbrio, Kg de H<sub>2</sub>O/Kg de matéria seca;
- $a_w$  – atividade de água;
- $a$  e  $b$  – parâmetros de ajuste.

### Modelo de OSWIN

O modelo baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal. Apresenta algumas vantagens sobre os modelos cinéticos de BET e GAB: apenas duas constantes de fácil linearização. É um modelo empírico, definido como (CHINNAN; BEAUCHAT, 1985 apud PARK, 2001):

$$X_{eq} = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

- $X_{eq}$  – conteúdo de umidade de equilíbrio, Kg de H<sub>2</sub>O/Kg de matéria seca;
- $a_w$  – atividade de água;
- $a$  e  $b$  – parâmetros de ajustes.

Jain *et al.*, (2010), estudando as isotermas de cubos de mamão desidratados osmoticamente, inferiram que os modelos de Henderson e Oswin ofereceram melhor ajuste para os dados experimentais obtidos quando comparados aos outros modelos utilizados, ou seja, Kuhn e Chen e Clayton.

## 2.4 SECAGEM

O Brasil é um importante produtor de frutas tropicais, como abacaxi, goiaba, manga, mamão e acerola, que são principalmente comercializadas *in natura*. Os elevados teores de umidade desses frutos aliados às típicas características climáticas que predominam no país, ou seja, elevadas umidade relativa e temperaturas, são desfavoráveis à conservação em condições naturais, resultando em grandes perdas pós-colheita (MARQUES *et al.*, 2009).

A secagem ou desidratação de frutas tropicais pode ser uma excelente alternativa para o prolongamento da vida útil e maior facilidade na comercialização dessas frutas. Ela permite a conversão de materiais perecíveis em produtos estabilizados através da redução da atividade de água a níveis adequados, evitando contaminação microbiológica e deterioração da qualidade devido a indesejáveis reações bioquímicas. Facilidade para o transporte, armazenamento e manuseio de frutas secas também são fatores importantes no mundo globalizado. Além disso, a secagem reduz desperdícios de perdas pós-colheita e poderá permitir que a produção seja toda absorvida pela indústria alimentícia e por setores de distribuição. Finalmente, o desenvolvimento dos frutos secos, que mantêm as propriedades sensoriais relevantes quase inalteradas e apresentam a conveniência de produtos prontos para consumo, pode contribuir para a comercialização de maior valor agregado aos produtos (MARQUES *et al.*, 2009).

De acordo com Sagar e Kumar (2010), entre as tecnologias de secagem, a desidratação osmótica, a secagem a vácuo, a liofilização, e o spray drying estão oferecendo grandes possibilidades para a produção de produtos desidratados e em pó de melhor qualidade.

A secagem do mamão tem sido imprescindível para o estudo de suas diversas propriedades. Nesse prisma, as propriedades anti-anemia falciforme, exploradas em trabalho de Mojisola, Anthony e Alani (2009), no qual utilizaram mamão verde em pó. Já Pacheco-Delahaye, Pérez e Schnell (2004), estudaram o índice glicêmico de pós para bebidas à base de

mamão, banana e farelo de arroz. A desidratação de mamão também é relevante para vários estudos que envolvem a papaína, a qual é uma das mais estudadas proteínas de origem vegetal.

Diversos processos de secagem têm sido estudados e empregados para obtenção de mamão desidratado, tais como, secagem solar (OJIKE; NWOKE; OKONKWO, 2011), secagem convectiva (YESCAS *et al.*, 2007), secador de leito fixo (TELIS-ROMERO *et al.*, 2003), desidratação osmótica (GARCÍA *et al.*, 2010), tambor rotativo (BORGES; CALVIDAL, 1994), liofilização (MARQUES, 2008), microondas a vácuo (ZAKI; MUHAMAD; SALLEH, 2007).

### **2.4.1 Liofilização**

Esta técnica consiste em, inicialmente, congelar o produto muito rapidamente para fazer com que as suas características de sabor, aroma e constituintes químicos, sejam preservadas. Na etapa subsequente, o material congelado é submetido a um vácuo parcial, ocasionando a secagem do produto para, aproximadamente, 2% de base úmida (MATA; DUARTE; FIGUEIREDO, 2003). No que diz respeito às baixas temperaturas de processamento, aplicadas na liofilização, as reações de degradação térmica são excluídas e elevada retenção de aroma é obtida em um produto poroso com excelentes propriedades de hidratação (BEAUDRY *et al.*, 2004; COUMANS; KERKHOF; BRUIN, 1994; SABAREZ; PRICE; KORTH, 2000, apud KOMES; LOVRIC'; GANIC', 2007). Além disso, a liofilização contribui para preservar os componentes minerais e vitamínicos (GEORGE; DATA, 2002) do alimento.

Diversos trabalhos envolvendo a liofilização de frutas tropicais inferiram a adequação deste método a tais frutas. Mata *et al.*, (2005) obtiveram graviola liofilizada com preservação de grande parte das características originais do produto *in natura*. Em trabalho envolvendo liofilização da acerola, Marques, Ferreira e Freire (2007) reportaram elevada capacidade de hidratação desta fruta liofilizada, sendo esta, também, considerada uma boa fonte de vitamina C. A liofilização foi considerada por Ayala, Serna e Mosquera (2010) um método adequado à conservação da pitaya amarela, assim como uma excelente alternativa de conservação da polpa de açaí por Menezes, Torres e Srur (2008). Marques (2008) obteve mamão papaya liofilizado com reduzida perda de vitamina C.

#### 2.4.1.1 Maltodextrina

A aceitabilidade de produtos alimentícios é determinada por muitos fatores, incluindo o aroma, sabor, cor e textura. Em frutas desidratadas o tipo de processo de desidratação, bem como a utilização de adjuvantes de secagem, tais como os açúcares, pode ter grande influência sobre esses atributos (GALMARINI *et al.*, 2009).

A sacarose tem sido amplamente relatada na literatura como adjuvante na secagem de purês de frutas (BHANDARI *et al.*, 1997). Em estudos realizados por Galmarini *et al.*, (2009), pode-se concluir que o uso do adjuvante de secagem trealose apresentou várias vantagens para aumentar a qualidade de purês de morangos liofilizados.

Outro adjuvante muito utilizado em processos de secagem, incluindo a liofilização, é a maltodextrina. Maltodextrinas são produtos obtidos pela hidrólise do amido, constituídos de unidades  $\beta$ -D-glicose e são, geralmente, classificados de acordo com sua dextrose-equivalente, DE (BEMILLER; WHISTLER, 1996 apud KUROZAWA; PARK; HUBINGER, 2009). Maltodextrinas são usados principalmente em materiais de difícil secagem, como sucos de frutas (REINECCIUS, 1991 apud GABAS *et al.*, 2007), para reduzir a viscosidade e os problemas de aglomeração durante o armazenamento, assim como melhorar a estabilidade do produto (BHANDARI *et al.*, 1993; SILVA; SOBRAL; KIECKBUSCH, 2006 apud GABAS *et al.*, 2007).

Mosquera, Moraga e Martínez-Navarrete (2010) obtiveram pós de polpa de borjól com melhor estabilidade, adicionando maltodextrina à polpa antes da liofilização.

#### 2.4.1.2 Caking

Pós higroscópicos são frequentemente armazenados em atmosfera seca ou em embalagens herméticas para impedir todo e qualquer contacto com o vapor de água. Se tal sólido é colocado em uma atmosfera de umidade relativa ( $UR = P/P_o$ , onde P e  $P_o$  representam, respectivamente, a pressão parcial de vapor de água e a pressão de equilíbrio de vapor de água à mesma temperatura) superior a umidade relativa crítica ( $URC = p_o/P_o$ , onde  $p_o$  é a pressão de vapor da solução saturada), ocorre parcial ou total dissolução do sólido. Em umidade relativa inferior a umidade relativa crítica ocorre o processo inverso, ou seja, evaporação de água. Desta forma, as variações das condições ambientais (UR, e/ou temperatura), pode influenciar fortemente as propriedades de fluxo do pó, devido à formação de pontes líquidas entre as partículas individuais. Por evaporação da água destas pontes ocorre a cristalização, diminuindo ainda mais o livre fluxo do pó (KOMUNJER; AFFOLTER, 2005).

Os dois principais mecanismos responsáveis por *caking* são a compressão e a migração de umidade (CHRISTAKIS *et al.*, 2006). *Caking* de alimentos secos em pó ocorre quando a água é redistribuída ou absorvida pelo pó durante o processamento e armazenamento. A água acumulada na superfície dos pós, devido à redistribuição ou absorção de umidade, torna as superfícies pegajosas e promove vínculo inter-partículas, a formação de *clusters* e fusão inter-partículas, levando ao endurecimento. *Caking* pode reduzir a solubilidade dos materiais em pó e aumentar a oxidação lipídica e a atividade enzimática, além de afetar as qualidades sensoriais, tais como sabor e crocância. O *caking*, muitas vezes, é acompanhado de crescimento microbiano. Para os consumidores, o endurecimento de produtos em pó é um sinal de má qualidade e possíveis problemas de segurança alimentar (CHUNG *et al.*, 2003).

Em algumas situações pode ocorrer *caking* apesar do teor de umidade total estar em consonância com as especificações do produto. Nesse caso, gradientes de umidade podem ser estabelecidos dentro do pó devido a gradientes de temperatura (PATERSON; BRONLUND; KELLIE, 2006, apud FITZPATRICK; O'CALLAGHAN; O'FLYNN, 2008).

Calori, Giarola e Cal-Vidal (1997) realizaram o estudo da cinética de *caking* de pós e grânulos de mamão liofilizado, inferindo que o mamão liofilizado é um produto altamente higroscópico. E dentre as duas formas estudadas, os pós de mamão liofilizado apresentaram maior higroscopicidade.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Controle de Qualidade e Secagem, assim como no laboratório de Refrigeração, ambos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará – UFC.

#### **3.1 MATERIAIS**

##### **3.1.1 Matéria-prima**

As polpas de mamão da variedade Formosa, sem adição de conservantes, obtidas em uma indústria de processamento, localizada na cidade de Fortaleza, foram coletadas na própria embalagem de comercialização (embalagens de polietileno com capacidade de 100,00 g) e, logo em seguida, foram acondicionadas em isolantes térmicos, sendo conduzidas aos laboratórios de Controle de Qualidade e Secagem e Refrigeração, ambos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará. As polpas foram mantidas congeladas em freezer vertical, a -18 °C e o descongelamento foi realizado na embalagem original do produto, em temperatura ambiente.

##### **3.1.2 Agente adjuvante**

O agente adjuvante utilizado na liofilização foi a maltodextrina com dextrose equivalente (DE) 20.

##### **3.1.3 Equipamento**

O equipamento utilizado foi um liofilizador de bancada fabricado pela Terroni, modelo LS3000, basicamente composto por: painel de controle; câmara de secagem; bandejas de aquecimento, câmara de condensação de vapor, compressor, sistema de vácuo, trocador de calor; secador de ar e saída do dreno.

#### **3.2 MÉTODOS**

### 3.2.1 Preparo das amostras

Inicialmente, as polpas de mamão foram descongeladas, procedendo-se, subseqüentemente, a adição ou não de adjuvante (maltodextrina) da liofilização:

Ensaio 1: Polpa de mamão.

Ensaio 2: Polpa formulada → Polpa de mamão + 5% de maltodextrina.

Ensaio 3: Polpa formulada → Polpa de mamão + 15% de maltodextrina.

Para cada liofilização foram pesados 50,00 g de amostra, referentes ao mesmo ensaio, em cada uma das quatro bandejas plásticas (Figura 1), previamente identificadas (essas bandejas foram utilizadas em substituição às bandejas de aço inox, originais do equipamento, pois o mamão liofilizado aderiria nessas bandejas, dificultando a sua manipulação e obtenção do pó), as quais foram, em seguida, submetidas a congelamento rápido, a -38° C, no Ultra Freezer CL90 – 40V da marca Terroni, por 24 horas.



**Figura 1** – Amostras de polpa de mamão dispostas em bandejas plásticas.

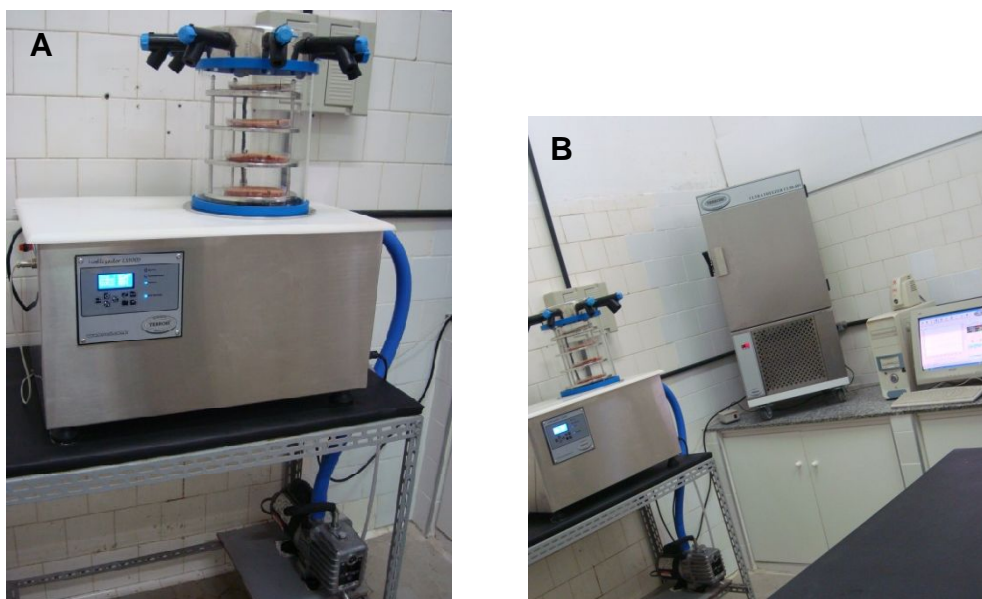
### 3.2.2 Liofilização

A liofilização foi realizada no Laboratório de Refrigeração do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará.

Durante os processos de liofilização, foram registrados, através de uma conexão entre o liofilizador e um computador (Figura 2B), os parâmetros: pressão do vácuo; temperatura da bandeja e a temperatura do condensador.

O liofilizador era ligado, mas as bandejas eram retiradas do ultra freezer e introduzidas na câmara de secagem apenas quando a temperatura do condensador atingia -35°

C. Com as bandejas já dispostas na câmara (Figura 2A), iniciava-se a liofilização, sendo a pressão do vácuo aproximadamente 266,6 Pa.



**Figura 2** – A, liofilizador de bancada. B, liofilizador, ultra freezer e o computador conectado ao liofilizador.

Ao final do processo, a temperatura da bandeja era aproximadamente 25°C e a do condensador -53°C. A pressão do vácuo nesse momento era 4,67 Pa. Cada processo de liofilização durou, em média, 10 horas.

### 3.2.3 Obtenção dos pós de mamão liofilizado

Após a liofilização, as amostras liofilizadas contidas em cada bandeja foram embaladas individualmente em sacos plásticos de polietileno, os quais foram selados e submetidos a compressões rápidas e sucessivas por um rolo compressor. Os pós foram colocados em um saco plástico, o qual foi selado e levemente agitado manualmente para homogeneização de seu conteúdo, o qual foi imediatamente transferido para frascos de vidro tipo penicilina, previamente higienizados e secos. Após a introdução dos pós, os frascos foram fechados com tampa de borracha e envolvidos por sucessivas camadas de filme plástico, além do revestimento com papel alumínio, sendo identificados e armazenados.

### 3.2.4 Acondicionamento dos pós de mamão liofilizado

O acondicionamento dos pós de mamão liofilizado em frascos de vidro tipo penicilina, mencionado anteriormente, foi escolhido após testes prévios envolvendo três diferentes tipos de acondicionamento.

No primeiro acondicionamento utilizado, os pós foram introduzidos em sacos de armazenamento (grofados, e constituídos de poliamida e polietileno), os quais foram subseqüentemente selados a vácuo.

No segundo tipo de acondicionamento, os pós foram colocados em sacos plásticos de polietileno, os quais foram subseqüentemente selados e revestidos com papel alumínio.

O terceiro tipo corresponde ao acondicionamento escolhido nesse trabalho e mencionado previamente.

### **3.2.5 Métodos analíticos**

No Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará foram realizadas as análises físicas e físico-químicas das polpas integrais de mamão, das polpas formuladas e dos respectivos pós alimentícios obtidos pelo processo de liofilização. As análises foram realizadas em triplicata com frequência mensal, exceto a análise de cor e  $a_w$ , as quais foram realizadas quinzenalmente, e carotenóides e açúcares, nas quais foram realizadas apenas caracterizações. O período de armazenamento compreendeu 4 meses.

#### Umidade

A análise de umidade seguiu as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Foram pesados, aproximadamente, 2,00 g das amostras em cadinhos (aquecidos em estufa a 105° C por 1 hora, resfriados em dessecador a temperatura ambiente e pesados) previamente tarados. As amostras foram, então, aquecidas durante 6 horas em estufa a vácuo a 60° C, sob pressão reduzida, resfriadas em dessecador até temperatura ambiente e, então, foi realizada a pesagem. Esta operação foi repetida até obtenção de peso constante. O resultado foi obtido pela equação 8:

$$100 \cdot N/p \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

N = n° de gramas de umidade (perda de massa em g);

p = n° de gramas da amostra.

### Atividade de água – $a_w$

A determinação da atividade de água dos pós alimentícios foi realizada utilizando um medidor de atividade de água, modelo AQUALab 4TEV, nas temperaturas de 25° C, 30° C, 35° C e 40° C, conforme indicações do fabricante.

### pH

O pH foi determinado através de leitura direta, obtida após a diluição de 1:10 (pó:água destilada) em pHmetro, calibrado a cada utilização com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0, conforme as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008) para as amostras sólidas. No caso das polpas procedeu-se a leitura direta em pHmetro.

### Sólidos Solúveis (SS)

Após a diluição 1:10 (pó:água destilada), o valor de sólidos solúveis foi obtido por refratometria medida em °Brix em refratômetro, calculando-se a leitura para 20°C, segundo as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008) para as amostras sólidas. No caso das polpas procedeu-se a leitura direta em refratômetro.

### Acidez titulável (AT)

A acidez titulável foi determinada pela diluição de 1,00 g da amostra em 50 mL de água destilada, titulando-se a amostra com solução de NaOH 0,1 N padronizada, usando solução de fenolftaleína como indicador, conforme descrito nas normas do Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em grama (g) de ácido cítrico/100 g de amostra.

### Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi obtido por titulometria, usando a solução de DFI (2,6-diclorofenol-indofenol 0,02%) até coloração rósea clara permanente, conforme Strohecker e Henning, (1967). Foi pesado 1,00 g da amostra em um Becker e adicionado uma pequena quantidade de ácido oxálico. Posteriormente, este conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com ácido oxálico. Desta diluição foi retirada uma alíquota de 5 mL, a qual foi transferida para um erlenmyer, adicionou-se 45 mL de água destilada e, então, foi titulado com DFI até coloração rósea claro persistente. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico/100 g de amostra.

### Açúcares solúveis totais e açúcares redutores

Os açúcares redutores e totais foram determinados segundo a técnica descrita por Miller (1959) com valores expressos em porcentagens (%). E os açúcares não redutores foram determinados pela diferença.

### Carotenóides

Para a análise dos carotenóides, avaliou-se primeiramente a clorofila: pesou-se 2,00 g da amostra e acrescentou-se 18 mL de acetona. Essa mistura foi filtrada em ambiente sem iluminação. A leitura do sobrenadante foi realizada em espectrofotômetro a 663 nm (clorofila a) e 646 nm (clorofila b). Os teores de clorofila foram calculados pelas equações de LICHTENTHALER (1987):

$$\text{Clorofila a (Ca)} = 12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{646} \quad (\text{Equação 9})$$

$$\text{Clorofila b (Cb)} = 21,50 \times A_{646} - 5,10 \times A_{663} \quad (\text{Equação 10})$$

O teor de carotenóides foi determinado através da leitura do mesmo sobrenadante obtido na análise de clorofila, alterando-se o comprimento de onda no espectrofotômetro para 470 nm. O teor de carotenóides foi expresso em mg/g, calculado através da equação de LICHTENTHALER (1987):

$$\text{Carotenóides (C)} = [1000 \times A_{470} - (1,82 \times \text{Ca} + 85,02 \times \text{Cb})]/198 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

$A_{470}$  = leitura no espectrofotômetro;

Ca = clorofila a;

Cb = Clorofila b.

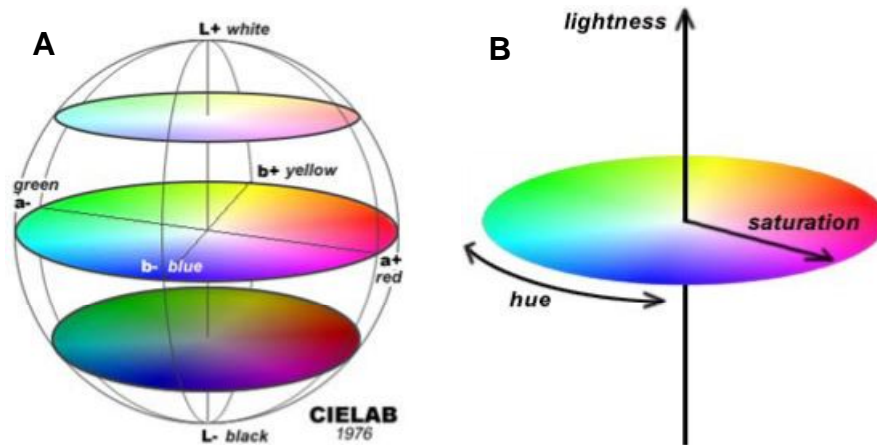
### Cor

Foi determinada pela média de leituras efetuadas através de colorímetro Konica Minolta spectrophotometer modelo CR410. Os resultados foram expressos de acordo com as coordenadas CIE lab (Figuras 8 e 9) que inclui as variáveis  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Chroma ( $c^*$ ), Ângulo Hue ( $h^*$ ). Onde  $L^*$  é uma medida da luminosidade de um objeto e varia do 0 (para o preto) até o 100 (para o branco),  $a^*$  é uma medida do vermelho ( $a^*$  positivo) ou do verde ( $a^*$  negativo);  $b^*$  é uma medida do amarelo ( $b^*$  positivo) ou do azul ( $b^*$  negativo). A partir destas coordenadas, foram calculadas as coordenadas cilíndricas  $c^*$  e  $h^*$  (Equações 12 e 13), onde  $c^*$  define a saturação e  $h^*$  representa o ângulo de tom.

$$c^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Equação 12})$$

$$\arctan \frac{b}{a}$$

(Equação 13)



**Figura 3** – A, Espaço de cor CIELab. B, Coordenadas cilíndricas do sistema CIELab.

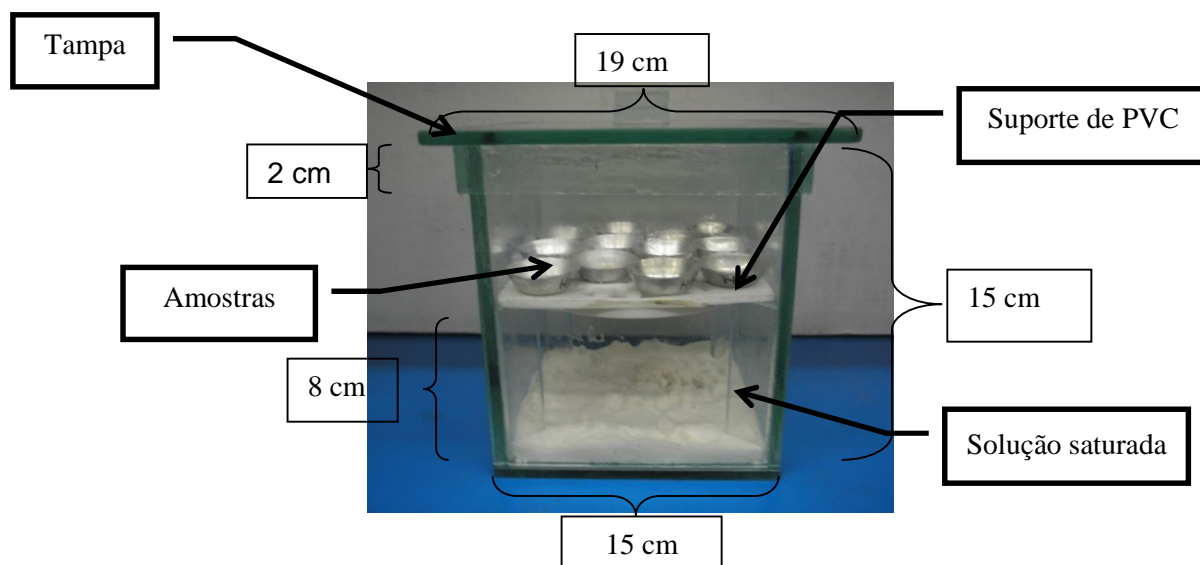
### 3.2.6 Modelagem das Isotermas de adsorção

Na determinação das isotermas de adsorção de umidade, foi empregado o método gravimétrico estático, descrito por Wolf, Spiess e Jung (1985), utilizando-se soluções saturadas de sais conforme a Tabela 1, em temperatura de  $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . As soluções de sais foram preparadas e colocadas em recipientes de vidro temperado fechados com silicone.

**Tabela 1** – Atividade de água, a  $21,0^{\circ}\text{C} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ , de soluções saturadas utilizadas por GREESPAN (1977).

CÉLULA	SOLUÇÕES SATURADAS	ATIVIDADE DE ÁGUA ( $a_w$ )
1	CH <sub>3</sub> COOK	0,21
2	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,44
3	NaBr	0,58
4	SnCl <sub>2</sub>	0,76
5	KCl	0,84
6	BaCl <sub>2</sub>	0,90

O primeiro passo para a realização das isotermas foi a construção de células, nas quais foram armazenadas as soluções saturadas de sais, construídas com vidro temperado e coladas com silicone tendo as dimensões mostradas na Figura 4.



**Figura 4** – Representação esquemática de uma célula utilizada para estabelecer o equilíbrio higroscópico dos pós de mamão liofilizado.

As determinações das isotermas de adsorção foram realizadas em triplicata. Pesou-se, aproximadamente, 0,12 g das amostras, em cadinhos de alumínio, previamente tarados. Os cadinhos posteriormente foram colocados sobre suporte contido dentro das células, as quais continham as soluções saturadas de acordo com GREESPAN (1977) (Tabela 1).

O processo foi acompanhado através de pesagens das amostras a cada 24 horas até a obtenção do equilíbrio, ou seja, quando não houve mais variação de massa, detectada através de pesagem em balança analítica. Nesse momento, foi determinada a atividade de água das amostras, nas temperaturas 25° C, 30° C, 35° C e 40° C, utilizando um medidor de  $a_w$ , modelo AQUALab 4TEV, conforme indicações do fabricante. Em seguida, foram levadas à estufa a vácuo a 60°C para determinação do teor de umidade.

A umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca:

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_{seca}}{m_{seca}} \quad \text{(Equação 14)}$$

Onde:

- $X_{eq}$  – umidade de equilíbrio (b.s.);
- $m_{eq}$  – massa da amostra no equilíbrio (Kg);
- $m_{seca}$  – massa da amostra seca (Kg).

Para o ajuste matemático dos dados experimentais das isotermas dos pós alimentícios, foram utilizados os modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin representados, respectivamente, pelas equações presentes na tabela abaixo:

**Tabela 2** – Modelos matemáticos utilizados para o ajuste dos dados experimentais das isotermas de adsorção.

MODELOS	EQUAÇÕES
<b>GAB</b>	$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a}{1 - K \cdot a} \cdot \frac{1}{1 - K \cdot a \cdot C \cdot K \cdot a}$
<b>BET</b>	$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot a}{1 - a} \cdot \frac{1 - n \cdot 1 \cdot a}{1 - 1 - C \cdot a} \cdot \frac{n \cdot a}{- C \cdot a}$
<b>Henderson</b>	$X_{eq} = \frac{-\ln(1 - a)}{b}$
<b>Oswin</b>	$X_{eq} = a \cdot \frac{a}{1 - a}$

\*Em que:  $a_w$  = atividade de água;  $X_m$  = conteúdo de umidade na monocamada molecular (Kg de H<sub>2</sub>O/Kg de matéria seca);  $X_{eq}$  = conteúdo de umidade de equilíbrio (Kg de H<sub>2</sub>O/Kg matéria seca); C = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular; a, b, K = parâmetros de ajuste.

A qualidade do ajuste dos diferentes modelos foi avaliada por intermédio dos melhores valores obtidos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio médio relativo ( $E\%$ ), definido por Iglesias e Chirife (1976):

$$E\% = \frac{100}{X_{e_e}} \cdot \frac{|X_{e_e} - X_{e_p}|}{X_{e_e}} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

$E\%$  - erro médio relativo;

$X_{e_e}$  - valores obtidos experimentalmente;

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

n - número de dados experimentais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 POLPAS DE MAMÃO

#### 4.1.1 Caracterização física e físico-química

Os resultados das análises da polpa de mamão (Tabela 3) confirmam a adequação desta à legislação vigente (BRASIL, 2005b), como pode ser observado na Tabela 4.

Os teores de vitamina C da polpa analisada (Tabela 3) indicam-na como fonte natural dessa vitamina, visto que a ingestão diária recomendada (IDR), no Brasil, é de 45 mg. Já para a vitamina A, recomenda-se a ingestão diária de 600 µg de retinol (BRASIL, 2005a), sendo assim a polpa utilizada também é boa fonte natural dessa vitamina, de acordo com os elevados teores de carotenóides obtidos (Tabela 3), pois alguns carotenóides, incluindo  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno e  $\beta$ -criptoxantina, têm atividade pró-vitamina A, sendo transformados em retinol por mamíferos (SIMPSON; CHICHESTER, 1981). Sentanin e Amaya (2007), estudando os teores de carotenóides em cultivares de mamão, Sunrise, Golden e Formosa, obtiveram como principais carotenóides desses frutos o licopeno, o  $\beta$ -criptoxantina e o  $\beta$ -caroteno, sendo o primeiro majoritário.

Houve diferença estatisticamente significativa entre a polpa e as polpas formuladas nos resultados das análises de umidade, carotenóides, açúcares (totais, redutores e não redutores), sólidos solúveis e cor (Tabela 3), exceto nas coordenadas  $L^*$  e  $a^*$ , nas quais a polpa de mamão não diferiu estatisticamente da polpa de mamão formulada com 5% de maltodextrina.

Verifica-se que a polpa de mamão é um produto com altos teores de açúcares (Tabela 3). Os valores percentuais da polpa, para esse nutriente, são inferiores aos das polpas formuladas com maltodextrina, contudo quando se considera apenas os sólidos totais, os valores percentuais de açúcares são inversamente proporcionais à concentração de maltodextrina, pois a adição desse adjuvante reduziu o teor de umidade da polpa de mamão (Tabela 3).

**Tabela 3** – Caracterização física e físico-química da polpa de mamão Formosa e das polpas formuladas.

ANÁLISES	POLPA DE MAMÃO	POLPAS FORMULADAS	
		PM +5%MD	PM +15%MD
<b>UMIDADE (%)</b>	88,96 <sup>a</sup> ± 0,04	84,96 <sup>b</sup> ± 0,08	74,99 <sup>c</sup> ± 0,23
<b>VIT. C (mg/100g ácido ascórbico)</b>	57,29 <sup>a</sup> ± 5,22	56,69 <sup>a</sup> ± 5,17	47,35 <sup>a</sup> ± 4,32
<b>CAROTENÓIDES (mg/g)</b>	1,20 <sup>a</sup> ± 0,03	1,03 <sup>b</sup> ± 0,06	0,66 <sup>c</sup> ± 0,03
<b>ACIDEZ (g/100g ácido cítrico)</b>	0,18 <sup>a</sup> ± 0,00	0,18 <sup>a</sup> ± 0,00	0,18 <sup>a</sup> ± 0,00
<b>pH</b>	4,43 <sup>a</sup> ± 0,01	4,45 <sup>a</sup> ± 0,01	4,45 <sup>a</sup> ± 0,01
<b>AÇÚCARES (g/100g)</b>	<b>Totais</b> 10,36 <sup>c</sup> ± 0,10	13,89 <sup>b</sup> ± 0,08	18,86 <sup>a</sup> ± 0,08
	<b>Redutores</b> 4,07 <sup>c</sup> ± 0,01	4,98 <sup>b</sup> ± 0,03	6,78 <sup>a</sup> ± 0,03
	<b>Não redutores</b> 6,29 <sup>c</sup> ± 0,09	8,91 <sup>b</sup> ± 0,05	12,08 <sup>a</sup> ± 0,05
<b>SÓLIDOS SOLÚVEIS (°Brix)</b>	10,10 <sup>c</sup> ± 0,10	14,80 <sup>b</sup> ± 0,10	24,10 <sup>a</sup> ± 0,10
	<b>L</b> 38,97 <sup>b</sup> ± 0,06	38,89 <sup>b</sup> ± 0,03	40,89 <sup>a</sup> ± 0,09
	<b>a</b> 33,31 <sup>b</sup> ± 0,13	33,23 <sup>b</sup> ± 0,09	33,88 <sup>a</sup> ± 0,18
<b>COR</b>	<b>b</b> 18,11 <sup>b</sup> ± 0,02	17,61 <sup>c</sup> ± 0,02	19,79 <sup>a</sup> ± 0,06
	<b>Croma</b> 37,92 <sup>b</sup> ± 0,11	37,61 <sup>c</sup> ± 0,08	39,24 <sup>a</sup> ± 0,14
	<b>Hue</b> 28,53 <sup>b</sup> ± 0,08	27,93 <sup>c</sup> ± 0,05	30,30 <sup>a</sup> ± 0,17

\*PM= Polpa de mamão. MD= Maltodextrina

\*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4** – Composição da polpa de mamão estabelecida em legislação.

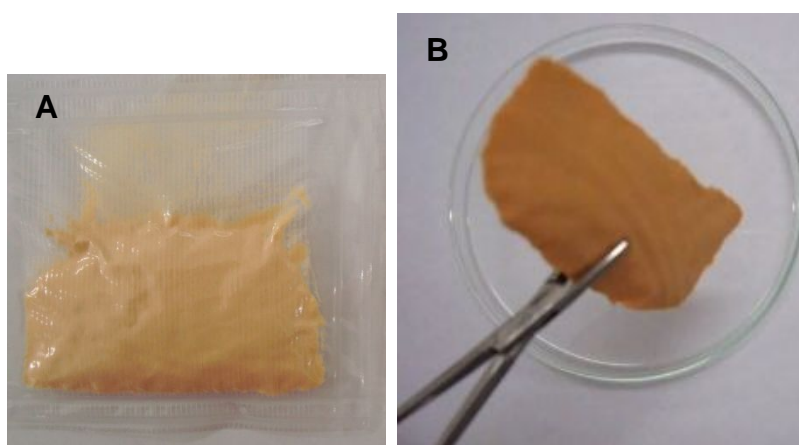
	MÍNIMO	MÁXIMO
SÓLIDOS SOLÚVEIS EM BRIX, A 20 ° C	10,00	–
pH	4,00	–
ACIDEZ TOTAL EXPRESSA EM ÁCIDO CÍTRICO (g/100g)	0,17	–
AÇÚCARES TOTAIS NATURAIS DO MAMÃO (g/100g)	–	14,00
SÓLIDOS TOTAIS	10,5	–

Fonte: BRASIL, 2005b.

## 4.2 – PÓS DE MAMÃO LIOFILIZADO

### 4.2.1 Acondicionamento dos pós

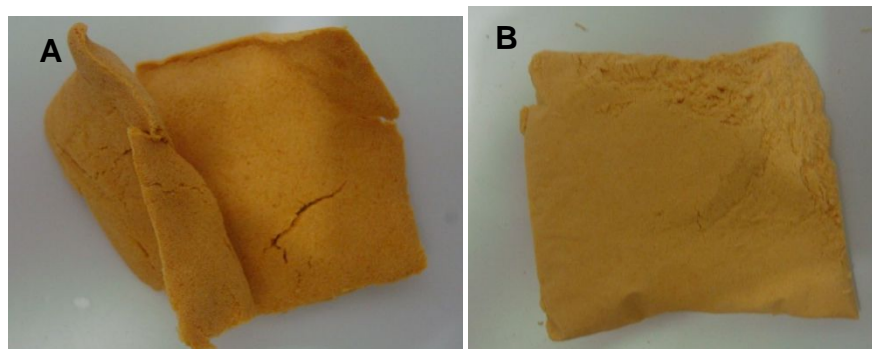
Em testes preliminares, verificou-se que o acondicionamento a vácuo é inadequado aos pós de mamão obtidos, pois propiciou a formação de um *caking* único, o qual englobou todo o conteúdo armazenado, (Figura 5) em menos de 24 h. Essa ocorrência foi verificada em todos os 3 ensaios. Nesse caso, o *caking* foi ocasionado por compressão, sendo este mecanismo um dentre os dois principais mecanismos responsáveis por *caking* (CHRISTAKIS *et al.*, 2006).



**Figura 5** – A e B, *Caking* após acondicionamento a vácuo de mamão liofilizado em pó.

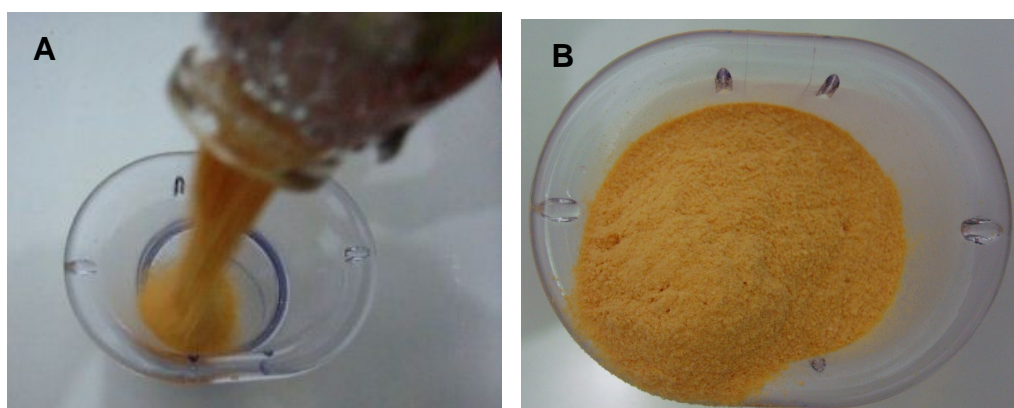
O acondicionamento em sacos plásticos de polietileno também se mostrou inadequado, pois, em aproximadamente 1 mês, as amostras dos ensaios 1 e 2, apresentaram-

se “borrachudas” (Figura 6A). As amostras do ensaio 3, mantiveram-se pó por mais tempo, preconizando, assim, seu comportamento menos higroscópico. Contudo, no quarto mês ocorreram progressivas compactações, culminando, no quinto mês, em *caking* generalizado (Figura 6B).



**Figura 6** – A, Estrutura “borrachuda”. B, *Caking* após acondicionamento em sacos plásticos de polietileno.

Por outro lado, o acondicionamento das amostras de pós de mamão liofilizado em recipientes de vidro tipo penicilina com tampas de borracha, mostrou-se adequado, pois proporcionou aos pós a manutenção dessa condição (pó) (Figura 7) por período superior ao necessário ao o estudo da estabilidade desses pós neste trabalho, sendo, portanto o tipo de acondicionamento escolhido neste estudo.



**Figura 7** – A e B, Mamão liofilizado em pó após 5 meses acondicionados em frascos de vidro tipo penicilina.

## 4.2.2 Estudo da estabilidade dos pós de mamão liofilizado

### 4.2.2.1 Carotenóides e açúcares

Com a caracterização dos carotenóides (Tabela 5), realizada ao fim do armazenamento, observou-se perdas, considerando a matéria seca das amostras de polpas e pós alimentícios, de 55,47%, 46,72% e 63,26%, respectivamente para os ensaios 1, 2 e 3. Embora sejam valores altos, referem-se a período longo, ou seja, 4 meses, quando comparado ao da literatura consultada, na qual Marques (2008) verificou após 24h de liofilização 27% de perdas de carotenóides totais do mamão papaya.

Os altos teores de açúcares das polpas (Tabela 3) foram conservados, considerando a matéria seca das amostras de polpas e pós alimentícios, nos pós de mamão liofilizado (Tabela 5), durante todo o armazenamento, conforme se infere da caracterização dos açúcares também realizada ao fim do período de análise, na qual as perdas foram quase inexistentes. Dessa maneira, a liofilização e o armazenamento não afetaram os teores de açúcares nos pós de mamão liofilizado estudados.

**Tabela 5** – Teores de carotenóides e açúcares dos pós de mamão liofilizado.

<b>ANÁLISES</b>	<b>ENSAIO 1</b>	<b>ENSAIO 2</b>	<b>ENSAIO 3</b>
<b>CAROTENÓIDES (mg/g)</b>	4,74 <sup>a</sup> ± 0,11	3,55 <sup>b</sup> ± 0,03	0,95 <sup>c</sup> ± 0,05
<b>Totais</b>	92,29 <sup>a</sup> ± 0,16	88,46 <sup>b</sup> ± 0,16	74,02 <sup>c</sup> ± 0,16
<b>AÇÚCARES (g/100g)</b>			
<b>Redutores</b>	36,13 <sup>a</sup> ± 0,03	32,58 <sup>b</sup> ± 0,07	26,38 <sup>c</sup> ± 0,07
<b>Não redutores</b>	56,15 <sup>a</sup> ± 0,15	55,88 <sup>a</sup> ± 0,14	47,65 <sup>b</sup> ± 0,20

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias na mesma linha seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.2.2 Umidade e $a_w$

A umidade residual após a liofilização foi menor que 3% em todos os ensaios (Tabela 6), sendo menor no ensaio 1, comportamento também observado durante todo o período de armazenamento. Esses resultados sugerem que os pós de mamão liofilizado estão em consonância com a legislação vigente para produtos desidratados (BRASIL, 2005b).

O ensaio 1 apresentou instabilidade, no que tange à umidade, durante o armazenamento. Fato relevante foi observado nos dias 60 e 120, os quais apresentaram

significativo decréscimo nos valores do conteúdo de umidade, sendo provavelmente ocasionado pela ocorrência de *caking* em decorrência da migração de umidade, o qual pode ser resumido nas seguintes etapas: 1- absorção de umidade; 2- formação de pontes líquidas; 3 - secagem e dessorção de umidade; 4- endurecimento e pontes sólidas e 5- compactação e *caking* (AGUILERA; VALLE; KAREL, 1995; TARDOS; KHAN; MORT, 1997 apud CHRISTAKIS *et al*, 2006). Em algumas análises desse ensaio, foi possível observar, macroscopicamente, diminutas compactações, corroborando, assim, a ocorrência de *caking*, o qual pode ser atribuído à maior higroscopicidade deste pó, a qual será comentada, posteriormente na seção de isotermas de sorção.

Entre os ensaios 2 e 3 não houve diferença estatística durante todo o período de análise (Tabela 6). Nesses ensaios, pode-se observar conservação dos teores de umidade (Tabela 6) durante o mesmo período. Isso foi devido à adição de maltodextrina, a qual reduziu a higroscopicidade dos pós de mamão liofilizado. Este comportamento é almejado na produção de pós alimentícios, pois maximiza a vida de prateleira dos mesmos.

**Tabela 6** – Valores médios e desvios-padrão da umidade do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>UMIDADE (%)</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	1,65 <sup>aBb</sup> ± 0,11	2,63 <sup>Aa</sup> ± 0,10	2,53 <sup>Aa</sup> ± 0,10
<b>30</b>	1,89 <sup>aC</sup> ± 0,01	2,57 <sup>aB</sup> ± 0,07	2,71 <sup>Aa</sup> ± 0,03
<b>60</b>	0,86 <sup>Bc</sup> ± 0,01	2,59 <sup>Aa</sup> ± 0,07	2,65 <sup>Aa</sup> ± 0,04
<b>90</b>	1,48 <sup>Bb</sup> ± 0,14	2,40 <sup>Aa</sup> ± 0,06	2,59 <sup>Aa</sup> ± 0,11
<b>120</b>	0,74 <sup>Bc</sup> ± 0,08	2,53 <sup>Aa</sup> ± 0,18	2,51 <sup>Aa</sup> ± 0,06

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A  $a_w$ , no ensaio 1 (Tabela 7), apresentou muita variação, sem tendência definida para mais ou para menos, durante o período de análise.. A maior dificuldade de manipulação deste pó contribuiu para esse resultado. Já para o ensaio 2 houve menor variação que a anterior, sendo observada, em geral, uma tendência ao aumento gradual dos valores (Tabela 7). E dentre todos os ensaios, o 3 foi o que apresentou a menor variação nos valores de  $a_w$  (Tabela 7), além da mesma tendência do ensaio anterior, O ensaio 3 mostrou também maiores valores de  $a_w$  em todas as análises (Tabela 7).

**Tabela 7** – Valores médios e desvios-padrão da atividade de água ( $a_w$ ) do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

$a_w$			
DIA	ENSAIOS		
	1	2	3
<b>0</b>	0,1856 <sup>Ccd</sup> ± 0,007	0,2349 <sup>Bd</sup> ± 0,006	0,2611 <sup>Ab</sup> ± 0,008
<b>15</b>	0,1770 <sup>Ccd</sup> ± 0,005	0,2543 <sup>aBb</sup> ± 0,005	0,2719 <sup>Aab</sup> ± 0,002
<b>30</b>	0,1765 <sup>Cd</sup> ± 0,002	0,2412 <sup>Bbcd</sup> ± 0,005	0,2751 <sup>Aa</sup> ± 0,000
<b>45</b>	0,2349 <sup>aB</sup> ± 0,006	0,2370 <sup>Bcd</sup> ± 0,004	0,2773 <sup>Aa</sup> ± 0,002
<b>60</b>	0,1887 <sup>bCcd</sup> ± 0,009	0,2446 <sup>aBbcd</sup> ± 0,005	0,2757 <sup>Aa</sup> ± 0,002
<b>75</b>	0,1946 <sup>bCc</sup> ± 0,003	0,2486 <sup>aBbc</sup> ± 0,004	0,2698 <sup>Aab</sup> ± 0,004
<b>90</b>	0,1760 <sup>Cd</sup> ± 0,006	0,2521 <sup>aBb</sup> ± 0,002	0,2719 <sup>Aa</sup> ± 0,005
<b>105</b>	0,2041 <sup>bC</sup> ± 0,010	0,2526 <sup>aBb</sup> ± 0,006	0,2750 <sup>Aa</sup> ± 0,002
<b>120</b>	0,1856 <sup>Ccd</sup> ± 0,003	0,2557 <sup>aB</sup> ± 0,004	0,2784 <sup>Aa</sup> ± 0,001

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.2.3 Vitamina C (ácido ascórbico)

Os pós alimentícios obtidos apresentaram altos teores de vitamina C (Tabela 8), sendo caracterizados como excelentes fontes desta vitamina, visto que a ingestão diária

recomendada (IDR), no Brasil, é de 45mg (BRASIL, 2005a). Marques (2008), ao liofilizar mamão papaya, também obteve elevados teores desse componente nutricional. O emprego do vácuo e baixas temperaturas minimiza as perdas de vitamina C durante o processo de liofilização (MARQUES, 2008), pois em processos de secagem, a perda de ácido ascórbico é afetada especialmente por altas temperaturas (MARFIL; SANTOS; TELIS, 2008). Em todos os dias de análise houve diferença estatística significativa entre os ensaios (Tabela 8).

**Tabela 8** – Valores médios e desvios-padrão da vitamina C do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

VITAMINA C (mg/100g ácido ascórbico)			
DIA	ENSAIOS		
	1	2	3
0	570,48 <sup>Aa</sup> ± 0,00	407,16 <sup>aB</sup> ± 0,00	235,26 <sup>aC</sup> ± 0,00
30	564,42 <sup>Aa</sup> ± 0,00	389,90 <sup>Bb</sup> ± 0,00	237,43 <sup>aC</sup> ± 0,00
60	525,84 <sup>Ab</sup> ± 0,00	359,41 <sup>Bc</sup> ± 9,72	236,30 <sup>aC</sup> ± 5,61
90	472,20 <sup>Ac</sup> ± 5,42	346,01 <sup>Bd</sup> ± 0,00	206,93 <sup>bC</sup> ± 0,00
120	472,16 <sup>Ac</sup> ± 0,00	345,77 <sup>Bd</sup> ± 0,00	202,77 <sup>bC</sup> ± 0,00

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

As perdas desta vitamina durante o período de armazenamento foram pequenas, sendo, ao término do mesmo, quantificadas em 17,23%, 15,08% e 13,81%, respectivamente para os ensaios 1, 2 e 3, ou seja, foi observado efeito protetor da maltodextrina para essa vitamina, pois a conservação foi proporcional a concentração desse adjuvante. As perdas ocorridas no ensaio 3 foram evidenciadas, apenas, a partir da quarta análise, ou seja, ao término do terceiro mês do período de estudo. Sendo assim, o ensaio 3 foi o que mais conservou essa vitamina durante o armazenamento, esse fato provavelmente está associado às baixas e relativamente estáveis umidade e  $a_w$ , além do pH também relativamente estável. Vários fatores influenciam a degradação do ácido ascórbico, tais com pH (UDDIN; HAWLADER; ZHOU, 2001), umidade, oxigênio, temperatura (ROJAS; GERSCHENSON,

2001; UDDIN; HAWLADER; ZHOU, 2001) e luz (ROJAS; GERSCHENSON, 2001). Uddin *et al.*, (2002), estudando a degradação do ácido ascórbico em amostras de goiaba liofilizada, as quais foram submetidas a diferentes condições de armazenamento, obtiveram aumentos nas taxas de degradação proporcionais ao aumento de  $a_w$  e temperatura.

É geralmente observado que se ácido ascórbico é bem retido outros nutrientes também são bem retidos. Assim, o ácido ascórbico pode ser tomado como um índice de qualidade nutricional dos alimentos (GREGORY, 1996), portanto a conservação da qualidade nutricional dos pós de mamão liofilizado foi maior no ensaio 3, o qual continha a maior concentração de maltodextrina (15%).

#### 4.2.2.4 Acidez e pH

A acidez total expressa em ácido cítrico (g/100g) apresentou diferenças significativas entre os ensaios, sendo maior no 1 e menor no 3 (Tabela 9). Em todos os ensaios houve diferença estatisticamente significativa (Tabela 9), abrangendo o período de armazenamento, porém com tendências distintas: o ensaio 1 variou de forma irregular; já no ensaio 2 houve, em geral, um decréscimo da acidez e, por outro lado, um aumento gradual na acidez foi observado no ensaio 3.

**Tabela 9** – Valores médios e desvios-padrão da acidez do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>ACIDEZ (g/100g ácido cítrico)</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	1,38 <sup>Aa</sup> ± 0,07	0,91 <sup>aBb</sup> ± 0,07	0,55 <sup>Cc</sup> ± 0,00
<b>30</b>	1,10 <sup>Ab</sup> ± 0,04	0,93 <sup>aB</sup> ± 0,00	0,59 <sup>bCc</sup> ± 0,04
<b>60</b>	1,06 <sup>Ab</sup> ± 0,00	0,91 <sup>aBb</sup> ± 0,03	0,62 <sup>abC</sup> ± 0,00
<b>90</b>	1,12 <sup>Ab</sup> ± 0,00	0,78 <sup>Bbc</sup> ± 0,05	0,61 <sup>abC</sup> ± 0,02
<b>120</b>	1,29 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,74 <sup>Bc</sup> ± 0,05	0,66 <sup>aB</sup> ± 0,00

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A diferença estatística no que tange aos valores de pH obtidos foi mais evidente no ensaio 1 (Tabela 10). No ensaio 3 o pH tendeu a um decréscimo, associado ao gradual aumento da acidez visto anteriormente. O mesmo comportamento, porém sem a mesma associação, foi obtido no ensaio 2, contudo, neste caso, até o dia 90. Diferentemente dos ensaios 2 e 3, o ensaio 1 variou irregularmente (Tabela 10), assim como nos valores da acidez.

**Tabela 10** – Valores médios e desvios-padrão do pH do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>pH</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	4,61 <sup>Cc</sup> ± 0,01	4,71 <sup>Bb</sup> ± 0,01	4,75 <sup>Aa</sup> ± 0,01
<b>30</b>	4,59 <sup>Cc</sup> ± 0,01	4,70 <sup>Bb</sup> ± 0,01	4,73 <sup>Ab</sup> ± 0,01
<b>60</b>	4,72 <sup>Ab</sup> ± 0,00	4,69 <sup>Ab</sup> ± 0,02	4,72 <sup>Ab</sup> ± 0,01
<b>90</b>	4,78 <sup>Aa</sup> ± 0,02	4,68 <sup>Bb</sup> ± 0,01	4,71 <sup>Bb</sup> ± 0,01
<b>120</b>	4,61 <sup>Cc</sup> ± 0,01	4,85 <sup>Aa</sup> ± 0,01	4,71 <sup>Bb</sup> ± 0,01

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.2.5 Sólidos Solúveis (°Brix)

A Tabela 11 mostra discreta variação nos teores de sólidos solúveis ocorrida no ensaio 1, enquanto os ensaios 2 e 3 não diferiram estatisticamente entre si ao longo do armazenamento. Também não foi observada diferença estatística internamente em ambos os ensaios (Tabela 11).

**Tabela 11** – Valores médios e desvios-padrão dos sólidos solúveis (°Brix) do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	89,00 <sup>aB</sup> ± 0,00	93,00 <sup>Aa</sup> ± 1,00	92,67 <sup>Aa</sup> ± 1,15
<b>30</b>	87,67 <sup>aBb</sup> ± 1,53	93,33 <sup>Aa</sup> ± 0,58	91,33 <sup>Aa</sup> ± 1,53
<b>60</b>	87,00 <sup>aBb</sup> ± 1,00	92,00 <sup>Aa</sup> ± 1,73	92,00 <sup>Aa</sup> ± 1,00
<b>90</b>	85,67 <sup>Bb</sup> ± 0,58	92,50 <sup>Aa</sup> ± 2,12	92,33 <sup>Aa</sup> ± 0,58
<b>120</b>	87,33 <sup>aBb</sup> ± 0,58	90,67 <sup>AaB</sup> ± 2,08	93,00 <sup>Aa</sup> ± 1,00

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.2.6 Cor

Todas as amostras liofilizadas apresentaram elevada luminosidade (Tabela 12), corroborando resultados na literatura para o mamão papaya e goiaba liofilizados (MARQUES, 2008). Estes resultados podem ser considerados positivos quando comparados com processos de desidratação que utilizam elevadas temperaturas, nesse caso ocorre a diminuição da coordenada L\*, caracterizando a ocorrência da reação de Maillard.

Assim como nas demais coordenadas (Tabelas 13, 14 e 15), salvo exceções, os ensaios diferiram estatisticamente para a coordenada L\* ao longo do período de análise (Tabela 12).

O ensaio 2 apresentou, em geral, discreto decréscimo nos valores de L\*, ficando 5,82% mais escuro ao final do armazenamento. Já os demais ensaios variaram discretamente sem apresentar tendência definida (Tabela 12).

**Tabela 12** – Valores médios e desvios-padrão da coordenada L\* do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

L*			
DIA	ENSAIOS		
	1	2	3
<b>0</b>	44,05 <sup>bC</sup> ± 0,01	46,24 <sup>aB</sup> ± 0,04	49,54 <sup>Af</sup> ± 0,01
<b>15</b>	42,55 <sup>Ch</sup> ± 0,00	44,50 <sup>Bd</sup> ± 0,01	49,70 <sup>Ae</sup> ± 0,01
<b>30</b>	42,80 <sup>Cg</sup> ± 0,01	44,37 <sup>Bf</sup> ± 0,01	50,15 <sup>Ab</sup> ± 0,01
<b>45</b>	43,77 <sup>Cd</sup> ± 0,01	44,97 <sup>Bb</sup> ± 0,01	50,18 <sup>Aa</sup> ± 0,00
<b>60</b>	43,59 <sup>f</sup> ± 0,01	44,37 <sup>f</sup> ± 0,01	49,25 <sup>h</sup> ± 0,01
<b>75</b>	43,61 <sup>Ce</sup> ± 0,01	44,56 <sup>Bc</sup> ± 0,01	48,40 <sup>Ai</sup> ± 0,01
<b>90</b>	43,93 <sup>Cc</sup> ± 0,01	44,45 <sup>Be</sup> ± 0,00	49,44 <sup>Ag</sup> ± 0,01
<b>105</b>	43,61 <sup>Ce</sup> ± 0,01	43,69 <sup>Bg</sup> ± 0,01	49,73 <sup>Ad</sup> ± 0,00
<b>120</b>	44,08 <sup>Ca</sup> ± 0,01	43,55 <sup>Bh</sup> ± 0,02	50,07 <sup>Ac</sup> ± 0,01

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Reduções significativas nos valores de a\* foram observadas logo após a liofilização (dia zero, Tabela 13), sendo quantificadas em 75,50%, 77,70% e 87,22%, respectivamente para os ensaios 1, 2 e 3, resultando em amostras menos vermelhas. Marques (2008) obteve, na liofilização de mamão papaya e goiaba, valores reduzidos para a coordenada a\*, atribuindo a este fato a perda de carotenóides totais (licopeno).

Em todos os ensaios houve decréscimo nos valores de a\* (Tabela 13) durante o armazenamento. Por isso, ao final desse período, os ensaios 1, 2 e 3 ficaram, respectivamente, 28,43%, 18,22% e 34,41% menos vermelhos. A ordem de perda observada entre os ensaios, ou seja, ensaio 2 < ensaio 1 < ensaio 3, é a mesma vista anteriormente para os carotenóides. Sendo assim, essa perda de cor vermelha também pode ser atribuída à perda de licopenos, pois a presença desses carotenóides é responsável pela coloração vermelha (RAO; RAO, 2007; HORNERO-MÉDEZ; MÍNGUEZ-MOSQUERA, 2007) e, de acordo com os resultados

obtidos por Sentanin e Amaya (2007), o licopeno é o carotenóide majoritário dentre os principais carotenóides obtidos de mamão Formosa.

**Tabela 13** – Valores médios e desvios-padrão da coordenada a\* do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>a*</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	8,16 <sup>Aa</sup> ± 0,02	7,41 <sup>aB</sup> ± 0,01	4,33 <sup>aC</sup> ± 0,00
<b>15</b>	7,79 <sup>Ab</sup> ± 0,01	6,95 <sup>Bb</sup> ± 0,01	4,02 <sup>bC</sup> ± 0,01
<b>30</b>	7,23 <sup>Ac</sup> ± 0,01	6,57 <sup>Bc</sup> ± 0,01	3,67 <sup>Cc</sup> ± 0,01
<b>45</b>	6,90 <sup>Ad</sup> ± 0,01	6,54 <sup>Bc</sup> ± 0,01	3,43 <sup>Ce</sup> ± 0,01
<b>60</b>	6,65 <sup>Ae</sup> ± 0,00	6,43 <sup>Bd</sup> ± 0,01	3,58 <sup>Cd</sup> ± 0,01
<b>75</b>	6,57 <sup>Af</sup> ± 0,00	6,41 <sup>Bd</sup> ± 0,01	3,57 <sup>Cd</sup> ± 0,01
<b>90</b>	6,20 <sup>Ag</sup> ± 0,01	6,10 <sup>Bf</sup> ± 0,01	3,23 <sup>Cf</sup> ± 0,01
<b>105</b>	6,08 <sup>Bh</sup> ± 0,01	6,24 <sup>Ae</sup> ± 0,01	3,01 <sup>Cg</sup> ± 0,01
<b>120</b>	5,84 <sup>Bi</sup> ± 0,01	6,06 <sup>Ag</sup> ± 0,00	2,84 <sup>Ch</sup> ± 0,01

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Após a liofilização (dia zero) observou-se para os ensaios 1, 2 e 3 consideráveis reduções nos valores da coordenada b\* (Tabela 14), representando perdas na cor amarela de 23,08%, 17,83% e 33,60%, respectivamente. Marques (2008) também obteve redução em b\*, a qual atribui à perda de  $\alpha$ -criptoxantina, um carotenóide de coloração laranja.

No entanto, durante o armazenamento essa coordenada apresentou-se relativamente estável, tanto que apesar de ter sido apresentada diferença estatística, essa foi pequena, além de não apresentar tendência definida, sendo os valores iniciais próximos aos valores finais (Tabela 14).

**Tabela 14** – Valores médios e desvios-padrão da coordenada b\* do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>b*</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	13,93 <sup>Bg</sup> ± 0,01	14,47 <sup>Aa</sup> ± 0,02	13,14 <sup>Cf</sup> ± 0,01
<b>15</b>	14,15 <sup>Bd</sup> ± 0,01	14,21 <sup>Ac</sup> ± 0,01	13,15 <sup>Ce</sup> ± 0,01
<b>30</b>	14,03 <sup>Af</sup> ± 0,01	14,02 <sup>Ag</sup> ± 0,01	12,93 <sup>Bi</sup> ± 0,00
<b>45</b>	14,14 <sup>Ad</sup> ± 0,01	14,12 <sup>Be</sup> ± 0,00	13,02 <sup>Ch</sup> ± 0,01
<b>60</b>	14,32 <sup>Ab</sup> ± 0,01	14,20 <sup>Bc</sup> ± 0,00	13,36 <sup>Cc</sup> ± 0,01
<b>75</b>	14,22 <sup>Ac</sup> ± 0,01	14,17 <sup>Bd</sup> ± 0,01	13,80 <sup>aC</sup> ± 0,01
<b>90</b>	13,88 <sup>Bh</sup> ± 0,01	14,09 <sup>Af</sup> ± 0,01	13,10 <sup>Cg</sup> ± 0,01
<b>105</b>	14,36 <sup>Aa</sup> ± 0,01	14,14 <sup>Be</sup> ± 0,01	13,24 <sup>Cd</sup> ± 0,00
<b>120</b>	14,07 <sup>Be</sup> ± 0,01	14,34 <sup>Ab</sup> ± 0,01	13,40 <sup>bC</sup> ± 0,00

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Devido às reduções já mencionadas para as coordenadas a\* e b\*, observou-se, também, logo após a liofilização (dia zero, Tabela 15) significativas reduções no grau de saturação para as amostras liofilizadas.

Porém, durante o armazenamento dos pós de mamão liofilizado, observou-se, em geral, pequena redução do croma. Essa variação teve maior influência da coordenada a\*, visto que o croma depende igualmente em intensidade das coordenadas a\* e b\*, e como mostrado anteriormente a coordenada a teve maior variação (redução) que a\* coordenada b\*.

**Tabela 15** – Valores médios e desvios-padrão da coordenada croma do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>CROMA</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	16,15 <sup>aB</sup> ± 0,00	16,26 <sup>Aa</sup> ± 0,01	13,83 <sup>bC</sup> ± 0,01
<b>15</b>	16,16 <sup>Aa</sup> ± 0,01	15,82 <sup>Bb</sup> ± 0,01	13,75 <sup>Cc</sup> ± 0,00
<b>30</b>	15,79 <sup>Ab</sup> ± 0,00	15,49 <sup>Be</sup> ± 0,01	13,44 <sup>Ch</sup> ± 0,00
<b>45</b>	15,73 <sup>Ac</sup> ± 0,00	15,56 <sup>Bd</sup> ± 0,00	13,46 <sup>Cg</sup> ± 0,00
<b>60</b>	15,79 <sup>Ab</sup> ± 0,01	15,59 <sup>Bc</sup> ± 0,00	13,83 <sup>CC</sup> ± 0,01
<b>75</b>	15,67 <sup>Ad</sup> ± 0,01	15,55 <sup>Bd</sup> ± 0,01	14,26 <sup>aC</sup> ± 0,00
<b>90</b>	15,20 <sup>Bg</sup> ± 0,01	15,36 <sup>Ag</sup> ± 0,00	13,50 <sup>Cf</sup> ± 0,01
<b>105</b>	15,60 <sup>Ae</sup> ± 0,00	15,46 <sup>Bf</sup> ± 0,00	13,58 <sup>Ce</sup> ± 0,00
<b>120</b>	15,23 <sup>Bf</sup> ± 0,01	15,56 <sup>Ad</sup> ± 0,01	13,70 <sup>Cd</sup> ± 0,00

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Os maiores valores da coordenada Hue logo após a liofilização (dia zero, Tabela 16) indicam que os pós de mamão liofilizado obtidos possuem uma tonalidade mais laranja que as respectivas polpas, pois um valor de Hue igual a 0° representa o vermelho puro e à medida que o ângulo Hue aumenta para um valor igual a 180° ele representa o verde puro (ARIAS *et al.*, 2000).

Em geral, a coordenada Hue aumentou, em todos os ensaios durante o armazenamento (Tabela 16), indicando que, com o tempo, as amostras de mamão liofilizado em pó passaram da tonalidade vermelha para tons laranja. Esse aumento foi quantificado em 13,06%, 6,68% e 8,77%, respectivamente, para os ensaios 1, 2 e 3.

**Tabela 16** – Valores médios e desvios-padrão da coordenada hue do mamão liofilizado em pó, durante o armazenamento.

<b>HUE</b>			
<b>DIA</b>	<b>ENSAIOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	59,65 <sup>Ci</sup> ± 0,06	62,89 <sup>Bh</sup> ± 0,05	71,76 <sup>Ai</sup> ± 0,01
<b>15</b>	61,17 <sup>Ch</sup> ± 0,03	63,95 <sup>Bg</sup> ± 0,06	73,02 <sup>Ah</sup> ± 0,03
<b>30</b>	62,74 <sup>Cg</sup> ± 0,04	64,90 <sup>Bf</sup> ± 0,03	74,17 <sup>Ag</sup> ± 0,02
<b>45</b>	63,98 <sup>Cf</sup> ± 0,04	65,14 <sup>Be</sup> ± 0,04	75,22 <sup>Ae</sup> ± 0,03
<b>60</b>	65,09 <sup>Ce</sup> ± 0,02	65,63 <sup>Bd</sup> ± 0,04	74,98 <sup>Af</sup> ± 0,02
<b>75</b>	65,21 <sup>Cd</sup> ± 0,01	65,66 <sup>Bd</sup> ± 0,03	75,50 <sup>Ad</sup> ± 0,04
<b>90</b>	65,92 <sup>Cc</sup> ± 0,03	66,61 <sup>Bb</sup> ± 0,04	76,14 <sup>Ac</sup> ± 0,03
<b>105</b>	67,06 <sup>Bb</sup> ± 0,04	66,18 <sup>Cc</sup> ± 0,03	77,21 <sup>Ab</sup> ± 0,02
<b>120</b>	67,44 <sup>aB</sup> ± 0,02	67,09 <sup>aC</sup> ± 0,02	78,05 <sup>Aa</sup> ± 0,02

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada. Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada. Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

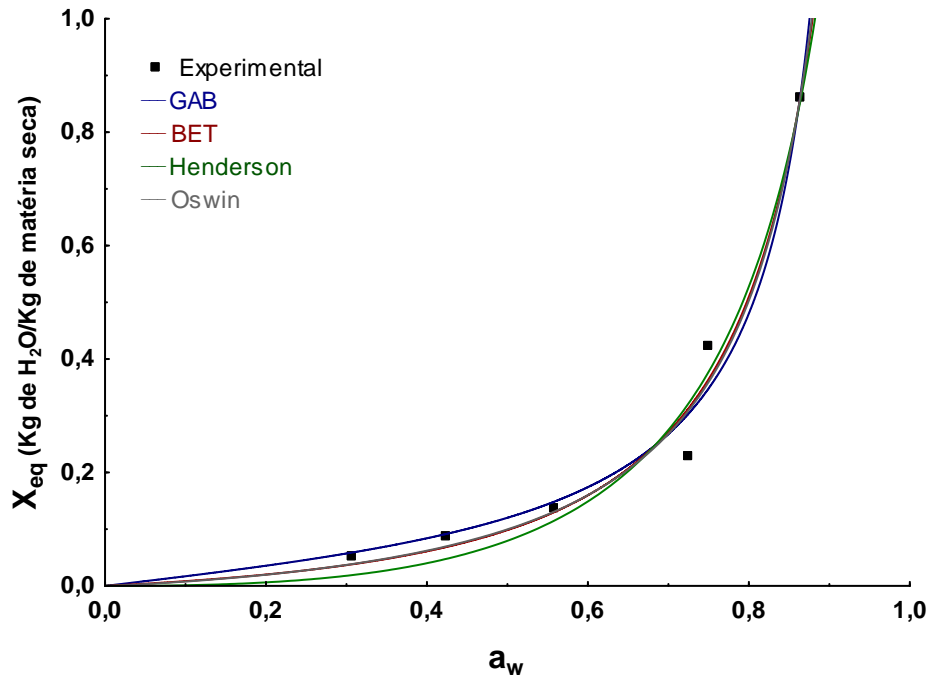
\*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha ou seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.2.7 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DOS PÓS DE MAMÃO LIOFILIZADO

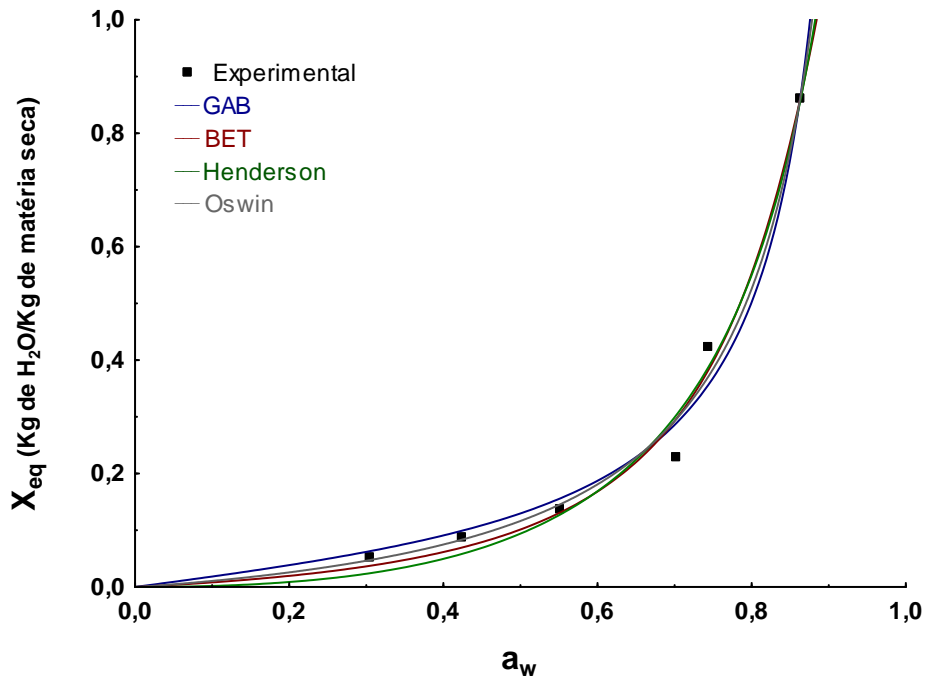
As isotermas obtidas de mamão liofilizado em pó apresentaram comportamento característico de isotermas do tipo III (Figuras 8 – 26) de acordo com a classificação da International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC (1985). Góis e Cal-Vidal (1984), estudando o equilíbrio higroscópico do mamão liofilizado em pó e em grânulos a diferentes temperaturas, também obtiveram esse tipo de isoterma. Segundo Ordóñez (2005), as curvas que apresentam uma zona mais plana na sua primeira parte, ou seja, em formato de J, são típicas de alimentos com grande quantidade de açúcar e solutos e, que têm pouca adsorção por capilaridade.

As Figuras 8 – 19 mostram os valores experimentais da umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) dos pós de mamão liofilizado em função da atividade de água. Em temperatura

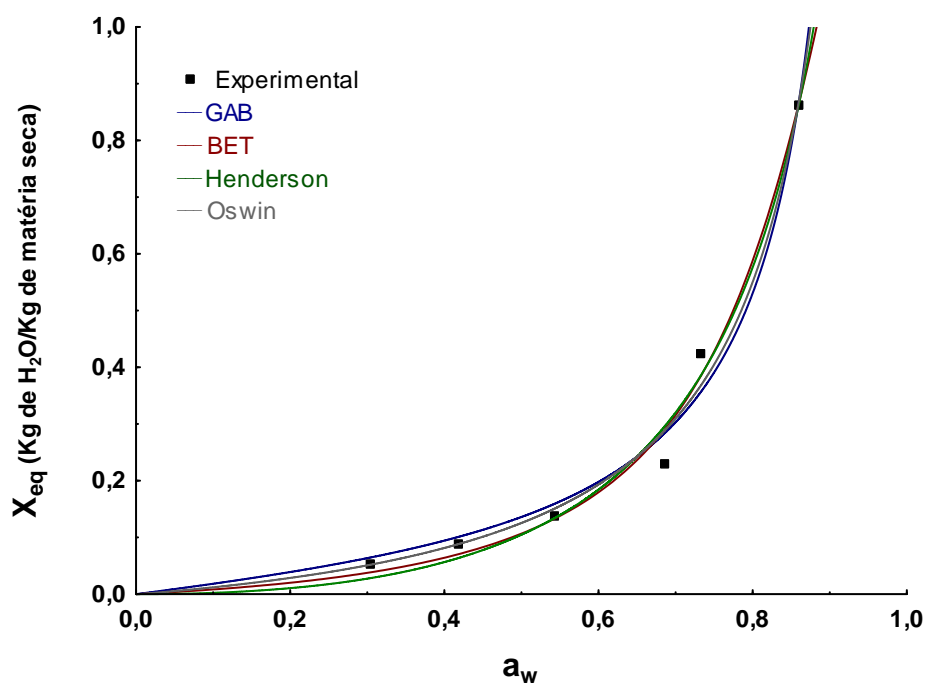
constante, observou-se, em todas as isotermas, aumento de  $X_{eq}$  com o aumento de  $a_w$  (Figuras 8 – 19).



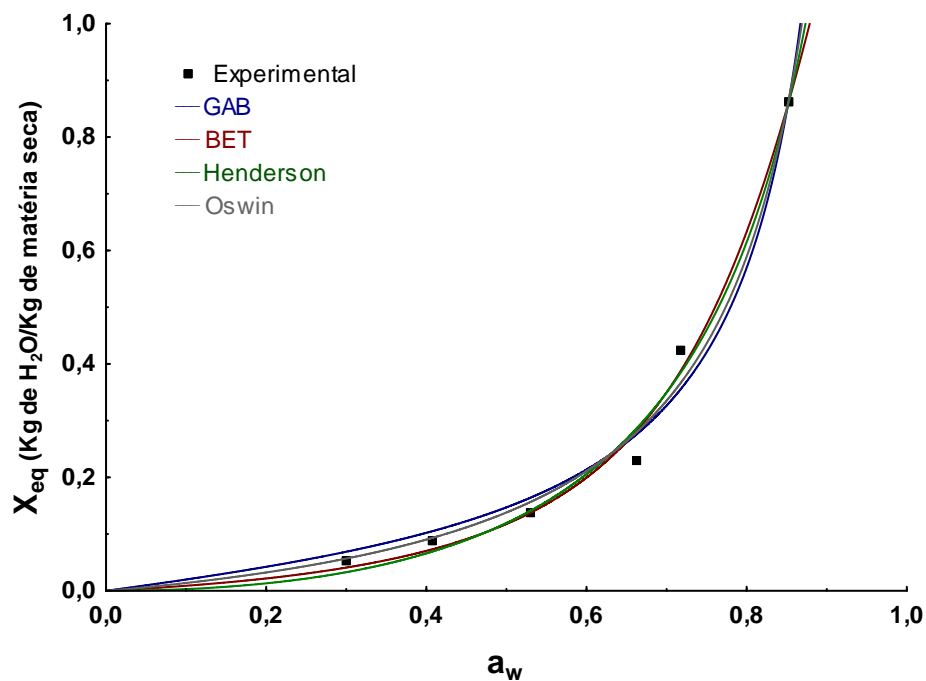
**Figura 8** – Isotermas de adsorção, a 25°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1.



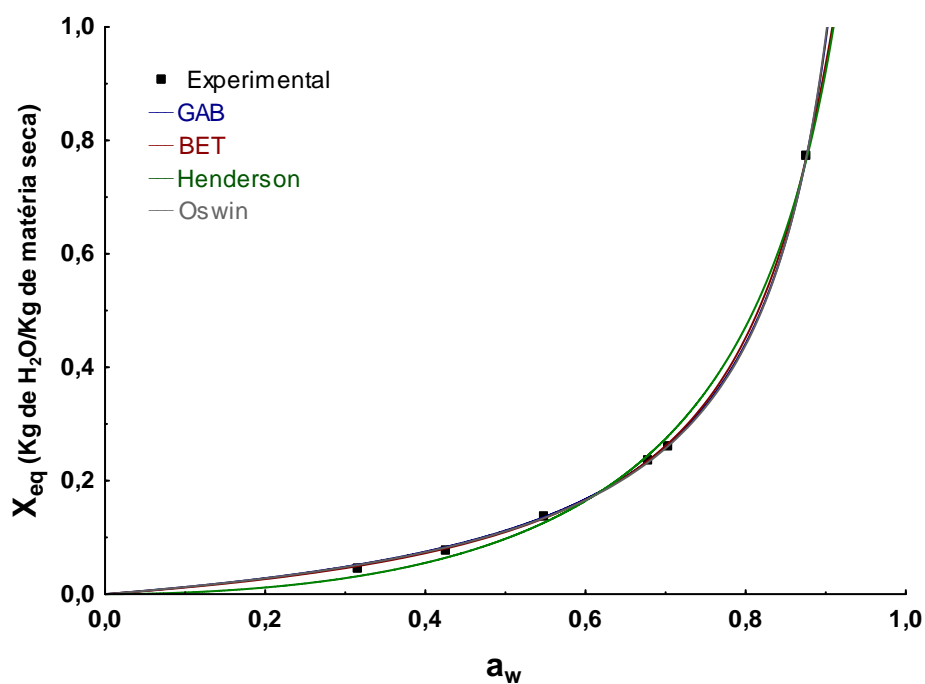
**Figura 9** – Isotermas de adsorção, a 30°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1.



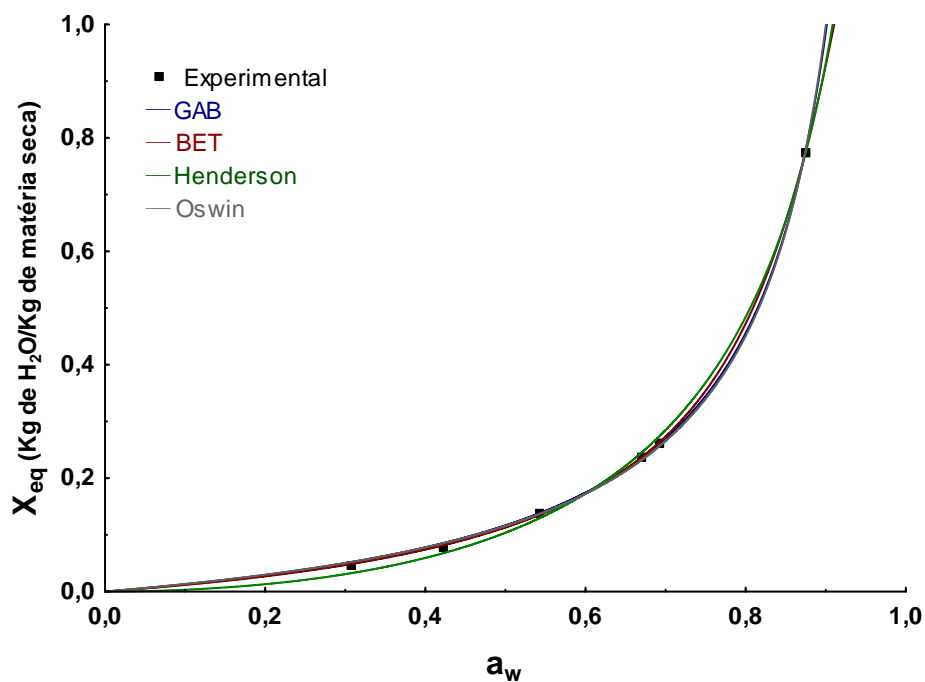
**Figura 10** – Isotermas de adsorção, a 35°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1.



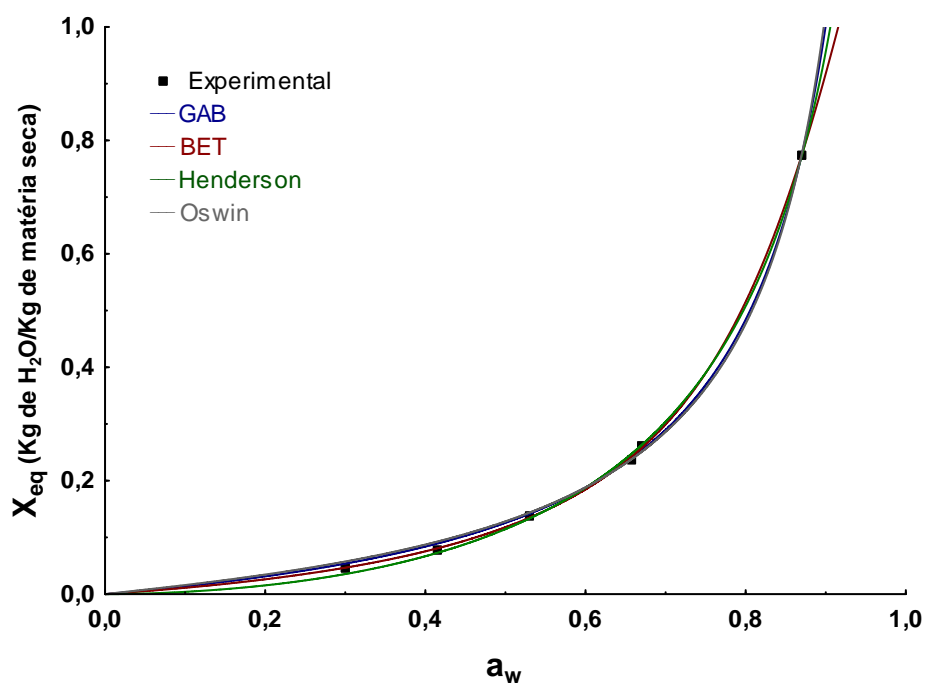
**Figura 11** – Isotermas de adsorção, a 40°C, dos pós de polpa de mamão liofilizada, Ensaio 1.



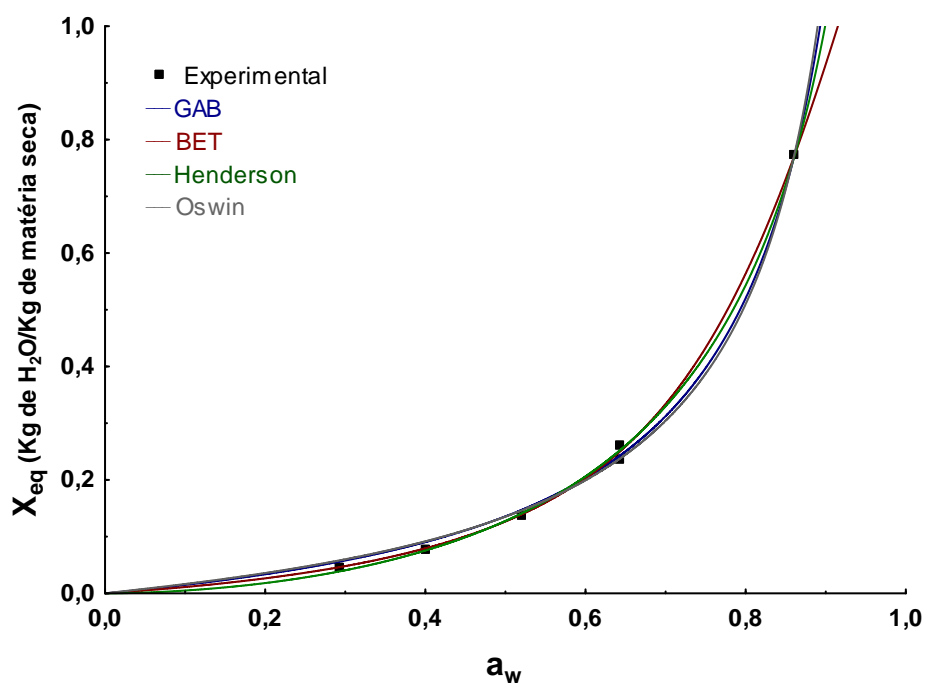
**Figura 12** – Isotermas de adsorção, a 25°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 5% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 2.



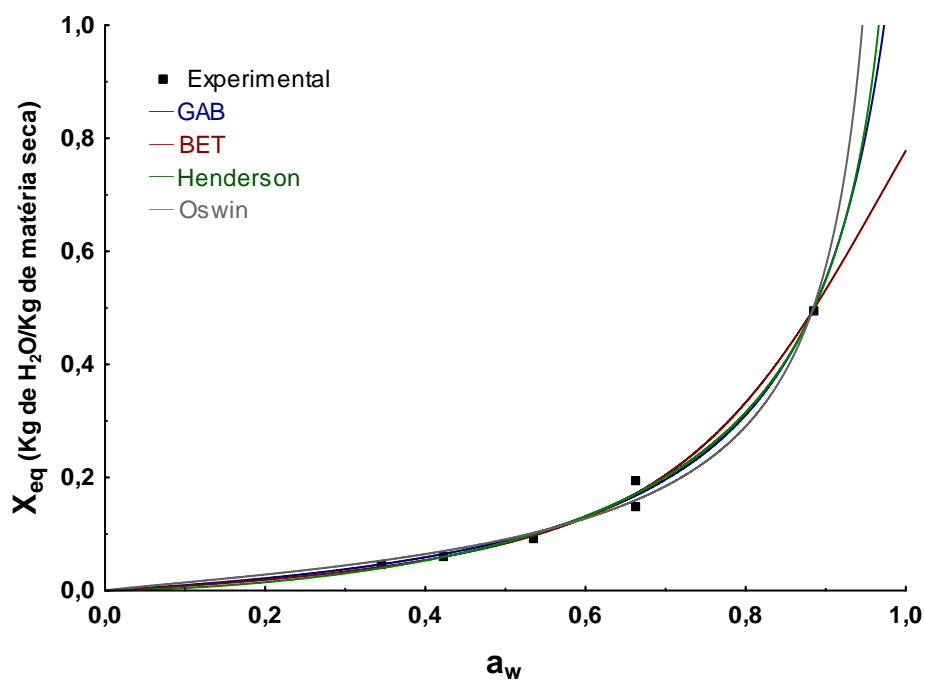
**Figura 13** – Isotermas de adsorção, a 30°C, dos pós de polpa formulada, polpa de mamão + 5% de maltodextrina, liofilizada, Ensaio 2.



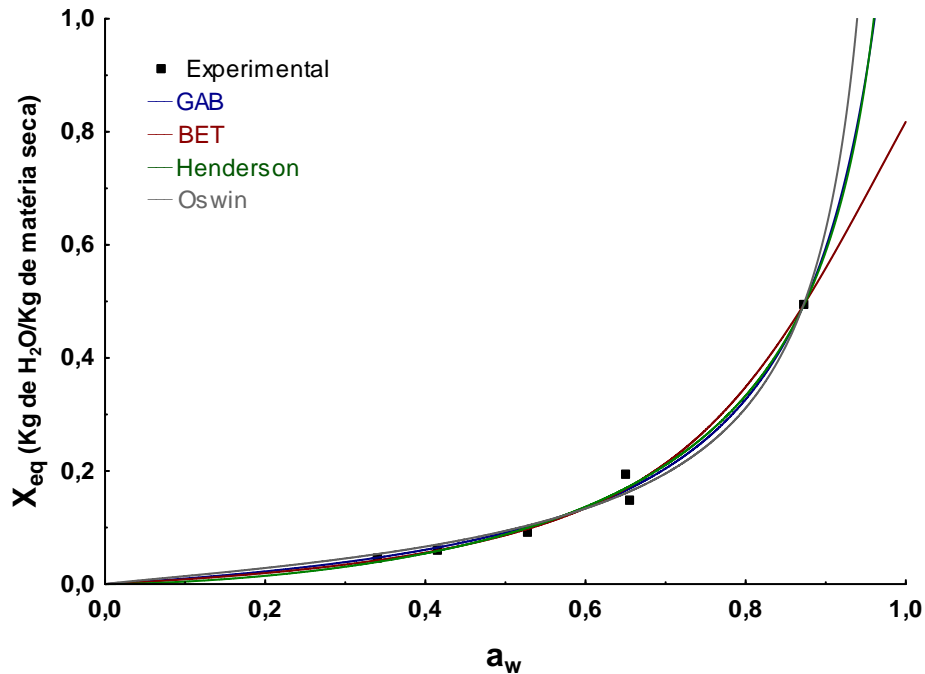
**Figura 14** – Isotermas de adsorção, a 35°C, dos pós de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada, Ensaio 2.



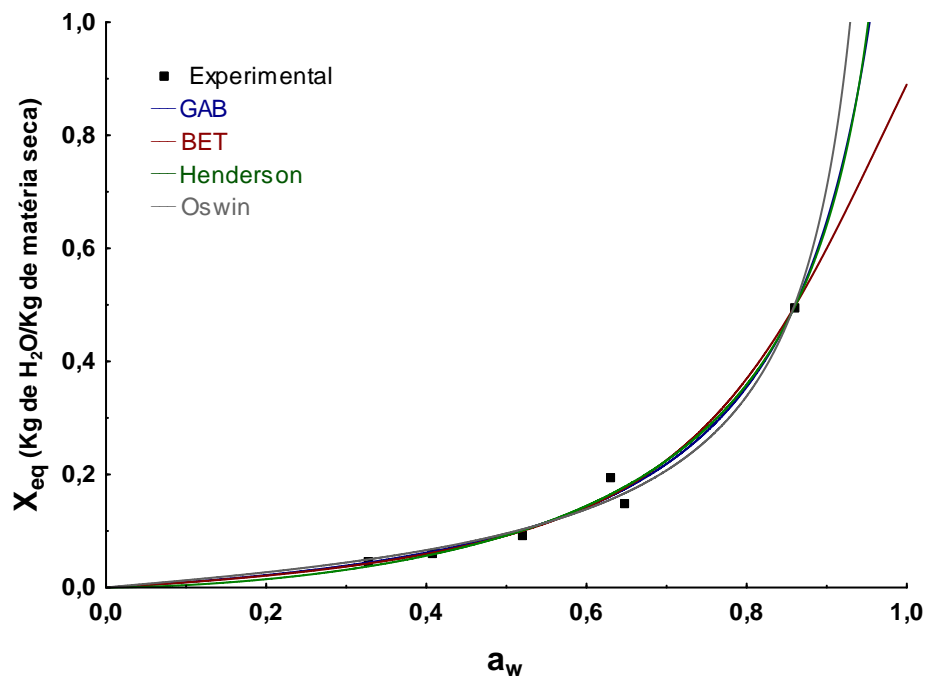
**Figura 15** – Isotermas de adsorção, a 40°C, dos pós de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada, Ensaio 2.



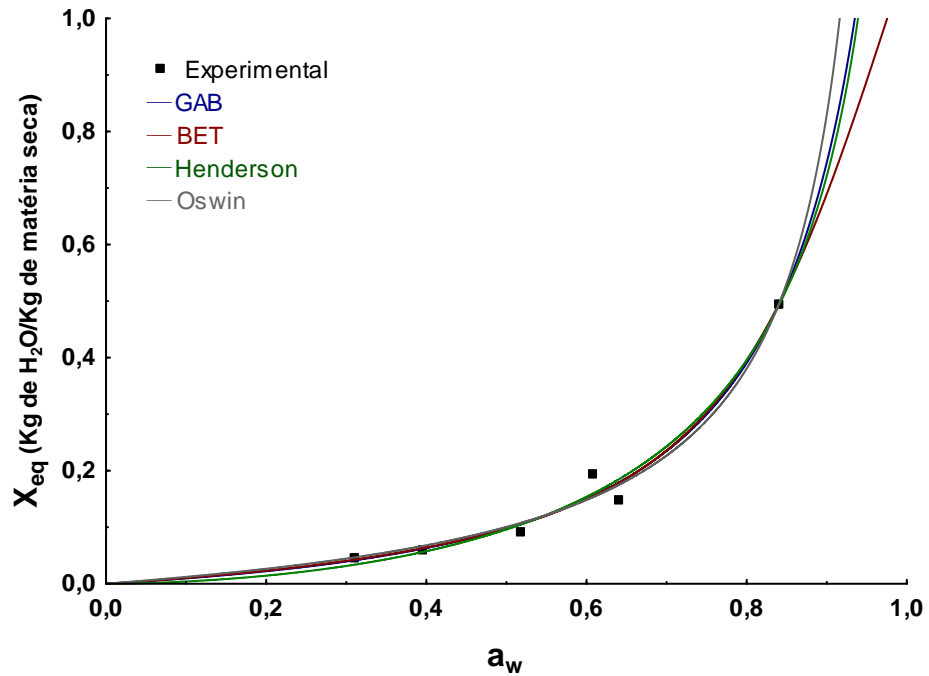
**Figura 16** – Isotermas de adsorção, a 25°C, dos pós de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada, Ensaio 3.



**Figura 17** – Isotermas de adsorção, a 30°C, dos pós de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada, Ensaio 3.

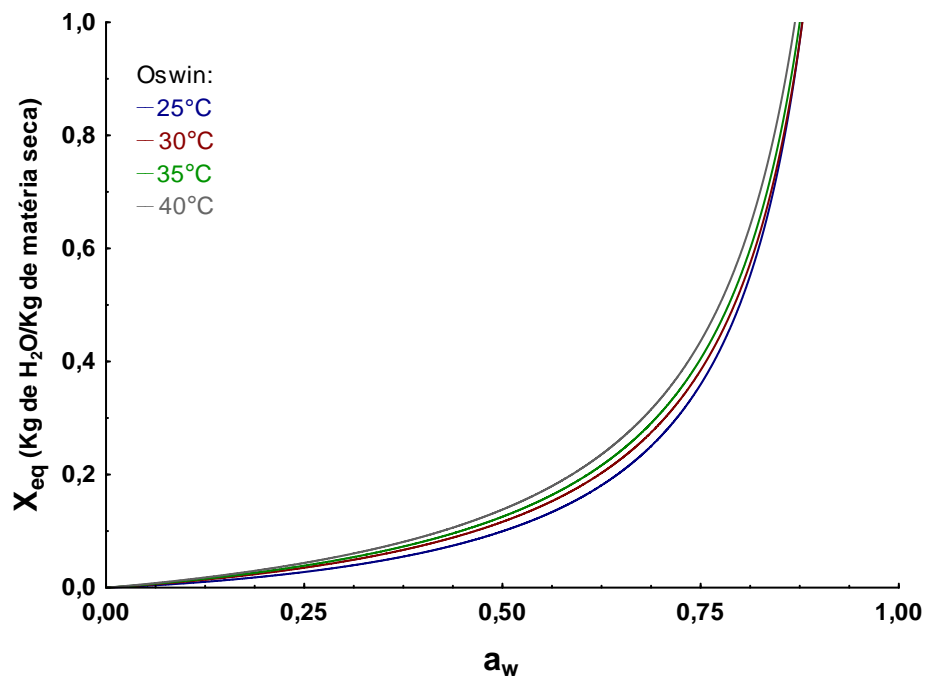


**Figura 18** – Isotermas de adsorção, a 35°C, dos pós de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada, Ensaio 3.

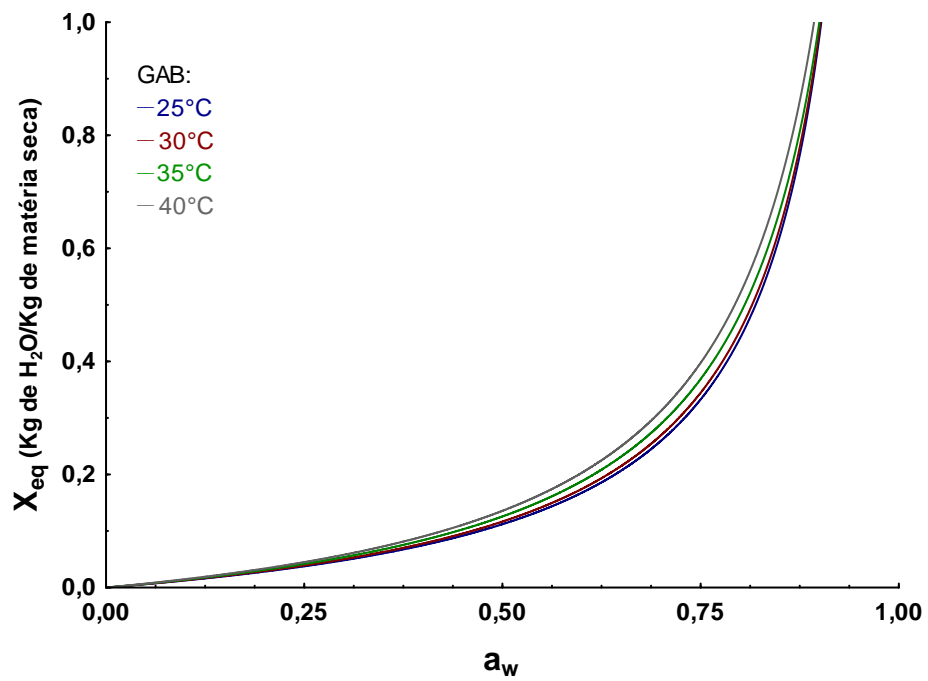


**Figura 19** – Isotermas de adsorção, a 40°C, dos pós de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada, Ensaio 3.

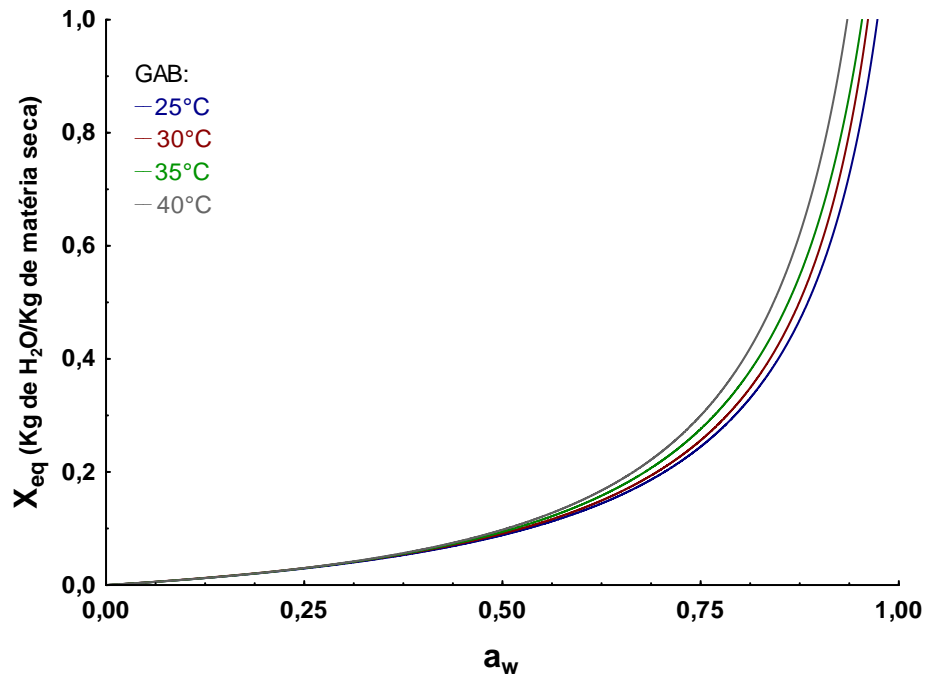
O efeito da temperatura sobre as isotermas no ensaio 1 foi evidenciado a partir da  $a_w$  0,3, sendo observado a partir desse ponto que para uma mesma  $a_w$  há aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura (Figura 20). No ensaio 2 esse efeito foi observado mais claramente a partir da  $a_w$  0,4 (Figura 21). Já no ensaio 3 observa-se tardiamente o efeito da temperatura sobre as isotermas, ou seja, apenas a partir da  $a_w$  0,6 esse efeito começa a ser evidenciado (Figura 22).



**Figura 20** – Isotermas de adsorção em diferentes temperaturas: melhor modelo para o ensaio 1.

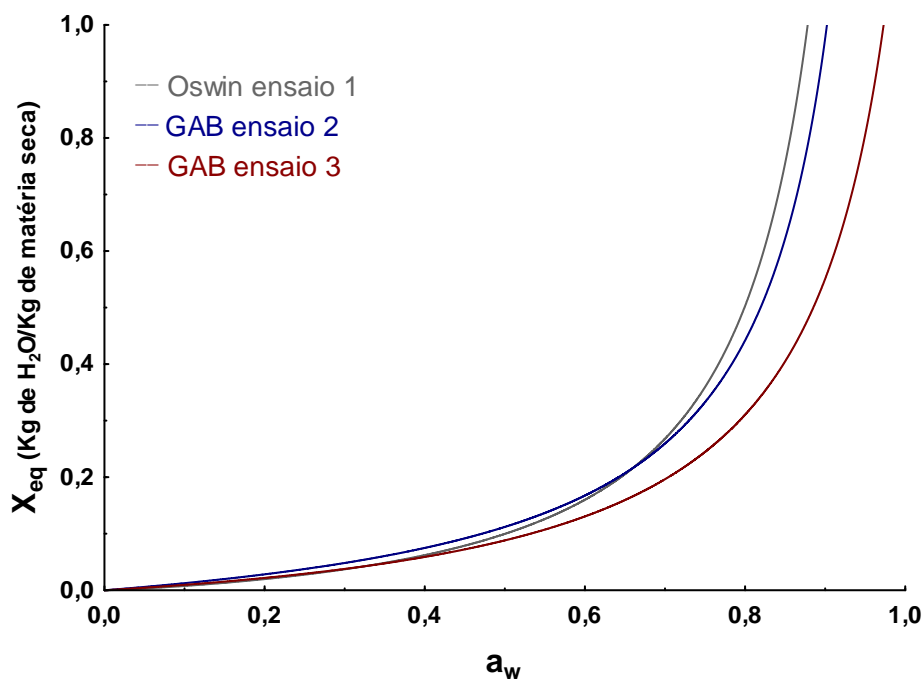


**Figura 21** – Isotermas de adsorção em diferentes temperaturas: melhor modelo para o ensaio 2.

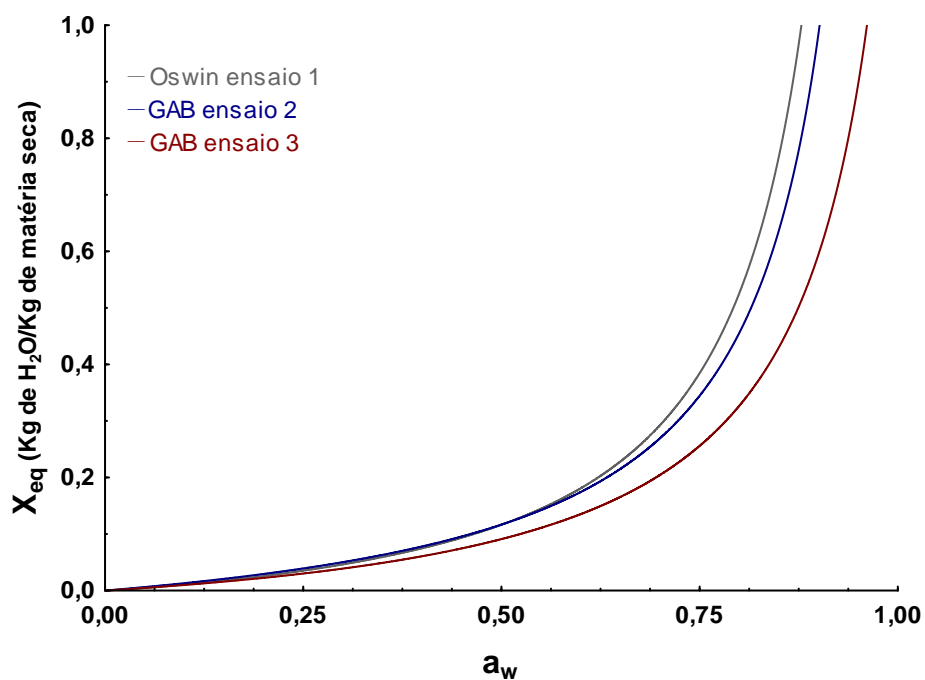


**Figura 22** – Isotermas de adsorção em diferentes temperaturas: melhor modelo para o ensaio 3.

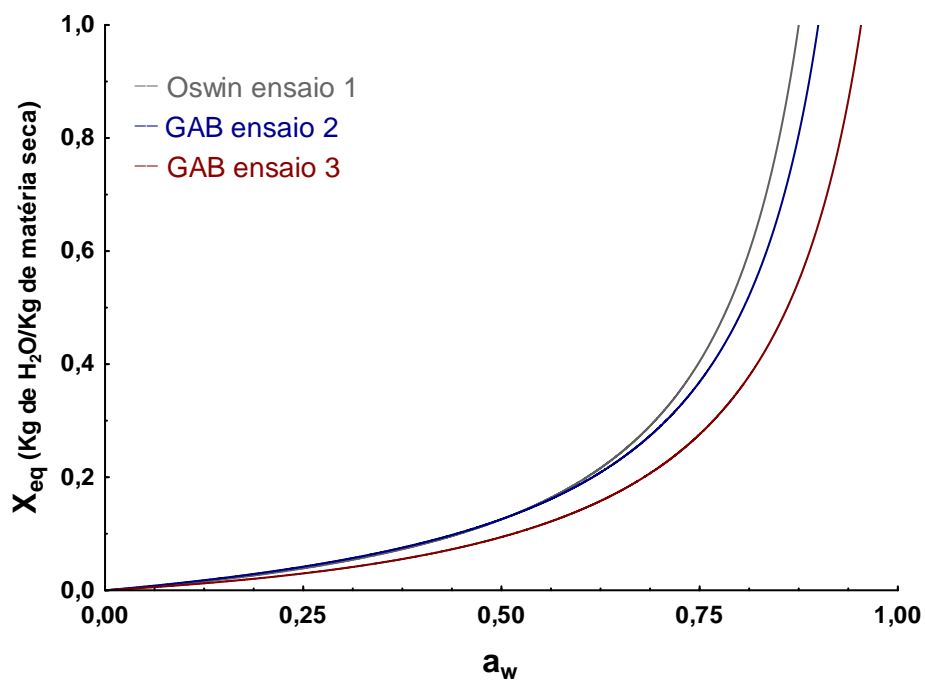
Para uma mesma  $a_w$ , observa-se valores de  $X_{eq}$  consideravelmente menores no ensaio 3, quando comparado aos demais ensaios, sendo esse comportamento mais evidente em valores de  $a_w$  acima de 0,6 (Figuras 23 – 26). Já o ensaio 2 apresentou menores valores de  $X_{eq}$  em relação ao ensaio 1, sendo esse comportamento mais perceptível em valores de  $a_w$  acima de 0,7 (Figuras 23 – 26). Góis e Cal-Vidal (1984) inferiram, através da observação do crescimento exponencial da umidade de equilíbrio com pequenas variações da  $a_w$ , notadamente em níveis acima de 0,7, que o mamão liofilizado é um produto altamente higroscópico. Nos ensaios 1 e 2 foi corroborada essa alta higroscopicidade. Mosquera, Moraga e Martínez-Navarrete (2010), estudando a estabilidade de borojó liofilizado em pó, obtiveram, nas isotermas de sorção em uma dada  $a_w$ , menores valores de  $X_{eq}$  para as amostras que continham maltodextrina (DE 4.0–7.0 ou DE 16.5–19.5) em relação às amostras livre desse adjuvante, atribuindo à adição de maltodextrina, antes da liofilização dessa fruta, melhor estabilidade e menor higroscopicidade e aumento da temperatura de transição vítrea do pó de borojó. Diante disso, infere-se que a adição de maltodextrina (DE 20) reduziu a higroscopicidade do pó de mamão liofilizado de modo proporcional a sua concentração, resultando em menor comportamento higroscópico apresentado pelo ensaio 3, ou seja, o ensaio com maior concentração de maltodextrina (15%).



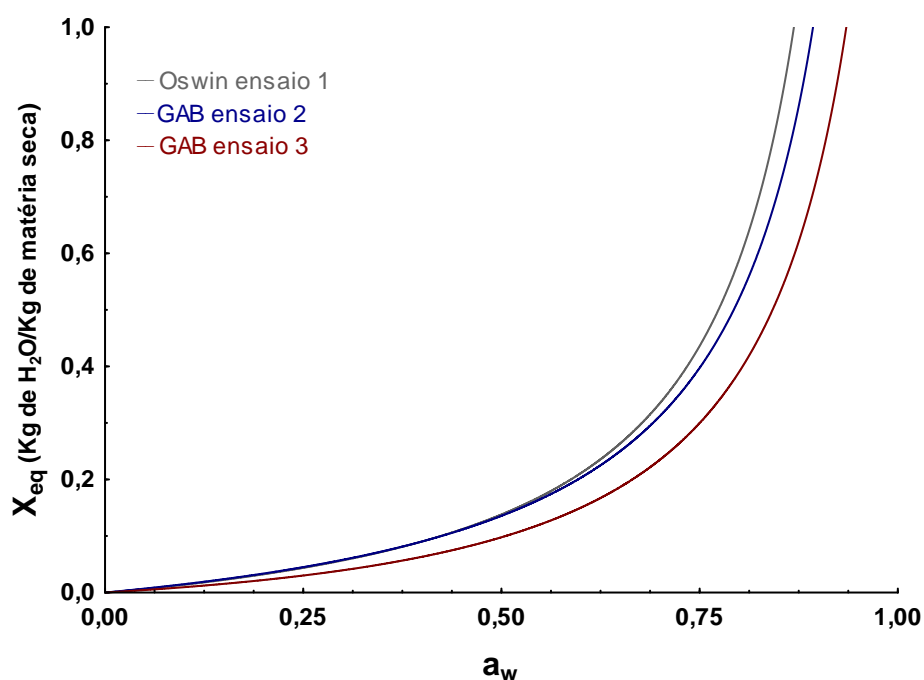
**Figura 23** – Isotermas de adsorção a 25°C: melhor modelo em cada ensaio.



**Figura 24** – Isothermas de adsorção 30°C: melhor modelo em cada ensaio.



**Figura 25** – Isothermas de adsorção a 35°C: melhor modelo em cada ensaio.



**Figura 26** – Isotermas de adsorção a 40°C: melhor modelo em cada ensaio.

Os resultados dos ajustes dos dados experimentais dos três ensaios realizados, utilizando os modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin, são apresentados nas Tabelas 17, 18 e 19.

Segundo Rahman (1995) o modelo de BET é aplicável entre atividades de água de 0,05 e 0,45. Além disso, segundo White (1947), citado por Lewicki, 2009, em valores nos quais o parâmetro  $C_B > 9$  a capacidade da monocamada pode diferir em até 20% do valor real e quando  $c$  é inferior a 9, o desvio entre as duas quantidades é maior quanto menor for o valor de  $C_B$ . Então, torna-se evidente a inadequação do modelo de BET às isotermas dos pós alimentícios em estudo, pois como visto anteriormente, a faixa de  $a_w$  utilizada extrapola o intervalo admitido por esse modelo e os valores de  $C_B$  obtidos são menores que a unidade (Tabelas 17, 18 e 19), ou seja, os valores de  $C_B$  são baixos o suficiente para produzir uma discrepância entre os valores reais de  $X_{mB}$  e os obtidos.

Considerando a explanação acima, assim como utilizando  $E\%$  e  $R^2$  como critério de escolha dos melhores ajustes, para o ensaio 1 (Tabela 17) a equação de Oswin forneceu o melhor ajuste. Do mesmo modo, com a equação de GAB foi obtido o melhor ajuste para os ensaios 2 e 3 (Tabelas 18 e 19 respectivamente). Nas figuras 23–26 estão representadas as isotermas obtidas com os melhores modelos para cada ensaio. No ensaio 2 (Tabela 18), os ajustes obtidos com os modelos de GAB, Henderson e Oswin, exceto a isoterma a 25° C,

foram considerados bons, pois valores de  $E\%$  inferiores a 10% geralmente indicam um ajuste adequado para fins práticos (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985). Já no ensaio 3 (Tabela 19) somente GAB, exceto a isoterma a 40°C, e Henderson (nas temperaturas 25 e 30°C) propiciaram bons ajustes tendo  $E\%$  como parâmetro de avaliação. Jain *et al.*, (2010), estudando isotermas de mamão desidratado osmoticamente, consideraram o modelo de Oswin melhor que o de Henderson, tendo como critério maiores valores de  $R^2$ .

Os ajustes realizados através do modelo de GAB permitiram a avaliação do conteúdo de umidade da monocamada ( $X_m$ ) dos pós obtidos de mamão liofilizado.

O ensaio 3 apresentou os maiores valores de  $X_{mG}$ , contudo não houve diferença significativa em relação ao ensaio 2. No entanto, os valores de  $X_{mG}$  do ensaio 1 foram consideravelmente inferiores aos obtidos nos demais ensaios. O valor do teor de umidade na monocamada é reconhecido como o teor de umidade que proporciona, a uma determinada temperatura, maior período com apenas perdas mínimas de qualidade. Abaixo desse nível de umidade, as taxas de reações deteriorativas, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas (GOULA *et al.*, 2008). Sendo assim, o pó alimentício referente ao ensaio 3 apresentou-se como o mais estável no que tange à exposição à umidade relativa, pois apresentou maiores valores nos teores de umidade na monocamada de GAB ( $X_{mG}$ ) (Tabela 19).

Em todos os ensaios observou-se, em geral, aumento no valor de  $X_{mG}$  com o aumento da temperatura (Tabelas 17, 18 e 19). Segundo Ferreira e Pena (2003), esse comportamento pode ser explicado por modificações na estrutura física do produto, devido ao aumento da temperatura, disponibilizando maior número de sítios ativos com afinidade por moléculas de água, ou um aumento na solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, fazendo com que maior número de moléculas de água fique retido na monocamada.

Segundo Timmermann (2003), a constante  $k$  de GAB aumenta com a força de interação entre adsorvato e adsorvente. Considerando tal fato, pode-se inferir que a força de interação entre o vapor de água e o mamão liofilizado em pó diminui com o aumento da concentração de maltodextrina, sendo observados maiores valores de  $k$  no ensaio 1 (Tabela 17). Contudo, neste ensaio, foram obtidos valores de  $K$  superiores à unidade em valores de  $a_w$  inferiores à unidade, esse fato, conforme Chirife *et al.*, (1992), é fisicamente inadequado, pois significa que a sorção será infinita.

**Tabela 17** – Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção do ensaio 1.

MODELOS	T (°C)	PARÂMETROS			R <sup>2</sup>	E%
		<b>X<sub>mG</sub></b>	<b>C<sub>G</sub></b>	<b>K</b>		
<b>GAB</b>	25	0,085	1,876	1,050	0,976	11,59
	30	0,093	1,855	1,041	0,982	13,73
	35	0,103	1,650	1,035	0,982	14,64
	40	0,111	1,669	1,034	0,982	17,13
		<b>X<sub>mB</sub></b>	<b>C<sub>B</sub></b>	<b>n</b>		
<b>BET</b>	25	0,158	0,452	55,025	0,977	17,78
	30	0,197	0,347	22,476	0,986	15,79
	35	0,235	0,294	18,024	0,988	14,77
	40	0,283	0,263	14,896	0,991	12,19
		<b>a<sub>H</sub></b>	<b>b<sub>H</sub></b>			
<b>Henderson</b>	25	0,445	2,139	—	0,971	29,65
	30	0,477	2,141	—	0,983	22,64
	35	0,494	2,114	—	0,985	19,40
	40	0,514	2,067	—	0,988	16,25
		<b>a<sub>O</sub></b>	<b>b<sub>O</sub></b>			
<b>Oswin</b>	25	0,100	1,167	—	0,977	17,27
	30	0,116	1,088	—	0,985	10,87
	35	0,125	1,066	—	0,985	9,04
	40	0,138	1,046	—	0,986	10,17

\*Ensaio 1: pó de polpa de mamão liofilizada.

\*R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação. E%: erro médio relativo. X<sub>mG</sub>: teor de umidade na monocamada de GAB. X<sub>mB</sub>: teor de umidade na monocamada de BET. C<sub>B</sub> = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular. C<sub>G</sub>: constante de GAB relacionada ao calor de sorção da camada molecular. a<sub>H</sub> e b<sub>H</sub>: parâmetros de ajuste do modelo de Henderson. a<sub>O</sub> e b<sub>O</sub>: parâmetros de ajuste do modelo de Oswin. K: constante de GAB relacionada às multicamadas.

**Tabela 18** – Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção do ensaio 2.

MODELOS	T (°C)	PARÂMETROS			R <sup>2</sup>	E%
		<b>X<sub>mG</sub></b>	<b>C<sub>G</sub></b>	<b>K</b>		
<b>GAB</b>	25	0,112	1,014	0,996	1,000	3,25
	30	0,119	1,000	0,992	1,000	3,76
	35	0,135	0,938	0,980	0,999	5,94
	40	0,149	0,916	0,976	0,998	8,29
		<b>X<sub>mB</sub></b>	<b>C<sub>B</sub></b>	<b>n</b>		
<b>BET</b>	25	0,116	0,895	34,702	1,000	2,15
	30	0,124	0,841	28,648	1,000	1,79
	35	0,149	0,652	20,487	1,000	1,37
	40	0,188	0,509	15,751	0,999	1,80
		<b>a<sub>H</sub></b>	<b>b<sub>H</sub></b>			
<b>Henderson</b>	25	0,535	2,406	—	0,997	11,84
	30	0,547	2,393	—	0,998	9,90
	35	0,566	2,362	—	0,999	6,79
	40	0,582	2,295	—	0,999	5,43
		<b>a<sub>O</sub></b>	<b>b<sub>O</sub></b>			
<b>Oswin</b>	25	0,111	0,993	—	1,000	3,26
	30	0,116	0,980	—	1,000	4,40
	35	0,128	0,947	—	0,999	8,25
	40	0,135	0,957	—	0,997	9,33

\*Ensaio 2: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 5% de maltodextrina) liofilizada.

\*R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação. E%: erro médio relativo. X<sub>mG</sub>: teor de umidade na monocamada de GAB. X<sub>mB</sub>: teor de umidade na monocamada de BET. C<sub>B</sub> = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular. C<sub>G</sub>: constante de GAB relacionada ao calor de sorção da camada molecular. a<sub>H</sub> e b<sub>H</sub>: parâmetros de ajuste do modelo de Henderson. a<sub>O</sub> e b<sub>O</sub>: parâmetros de ajuste do modelo de Oswin. K: constante de GAB relacionada às multicamadas.

**Tabela 19** – Resultados dos ajustes dos dados experimentais das isotermas de adsorção do ensaio 3.

MODELOS	T (°C)	PARÂMETROS			R <sup>2</sup>	E%
		X <sub>mG</sub>	C <sub>G</sub>	K		
<b>GAB</b>	25	0,119	0,780	0,921	0,992	7,44
	30	0,118	0,800	0,933	0,991	7,89
	35	0,144	0,632	0,924	0,987	8,97
	40	0,156	0,570	0,936	0,982	11,36
<b>BET</b>		X <sub>mB</sub>	C <sub>B</sub>	n		
	25	0,099	0,726	16,018	0,992	6,98
	30	0,106	0,693	15,883	0,991	7,17
	35	0,109	0,735	16,733	0,987	8,77
<b>Henderson</b>	40	0,107	0,841	20,828	0,981	11,17
		a <sub>H</sub>	b <sub>H</sub>			
	25	0,645	3,389	—	0,992	8,21
	30	0,632	3,221	—	0,991	8,91
<b>Oswin</b>	35	0,619	3,033	—	0,987	10,71
	40	0,596	2,798	—	0,980	14,46
		a <sub>O</sub>	b <sub>O</sub>			
	25	0,091	0,839	—	0,989	11,23
<b>Oswin</b>	30	0,094	0,863	—	0,989	11,94
	35	0,096	0,910	—	0,986	10,68
	40	0,101	0,960	—	0,981	11,21

\* Ensaio 3: pó de polpa formulada (polpa de mamão + 15% de maltodextrina) liofilizada.

\*R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação. E%: erro médio relativo. X<sub>mG</sub>: teor de umidade na monocamada de GAB. X<sub>mB</sub>: teor de umidade na monocamada de BET. C<sub>B</sub> = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular. C<sub>G</sub>: constante de GAB relacionada ao calor de sorção da camada molecular. a<sub>H</sub> e b<sub>H</sub>: parâmetros de ajuste do modelo de Henderson. a<sub>O</sub> e b<sub>O</sub>: parâmetros de ajuste do modelo de Oswin. K: constante de GAB relacionada às multicamadas.

## 5 CONCLUSÕES

A liofilização reduziu significativamente os teores de carotenóides presentes nas polpas e conseqüentemente afetou consideravelmente a cor das mesmas. Porém, durante o armazenamento as coordenadas sofreram menores variações. Não houve correlação entre essas alterações e a adição de adjuvante, visto que as maiores alterações foram constatadas no ensaio 3, polpa de mamão + 15% de maltodextrina, o qual possuía a maior concentração de adjuvante, sendo as menores alterações observadas ensaio 2, polpa de mamão + 5% de maltodextrina, já o ensaio 1, polpa de mamão, o qual não continha adjuvante, ficou em posição intermediária.

O mamão liofilizado, independente da utilização de adjuvante, é uma excelente fonte de vitamina C. Contudo, a relevância do adjuvante é observada durante o armazenamento, pois se constatou menores perdas percentuais dessa vitamina com o aumento da concentração de maltodextrina.

No estudo das isotermas de adsorção dos pós de mamão liofilizado, observou-se que a utilização de maltodextrina reduziu a higroscopicidade desses pós alimentícios, sendo esse efeito proporcional a concentração desse adjuvante. Os ensaios 1 e 2 apresentaram alta higroscopicidade, enquanto o ensaio 3, apresentou notável redução da higroscopicidade em relação aos demais. Desse fato deriva a maior estabilidade da atividade água no ensaio 3, assim como a manutenção de seus teores de umidades.

O modelo de Oswin forneceu o melhor ajuste aos dados experimentais do ensaio 1, enquanto o melhor modelo para os ensaios 2 e 3 foi o de GAB.

Torna-se, então, evidente a relevância da maltodextrina como adjuvante no processo de liofilização da polpa de mamão Formosa, garantindo um pó de mamão liofilizado mais viável, incluindo aumento da vida de prateleira desses pós alimentícios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, J. M.; VALLE, J. M. DEL.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powders, **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, p. 149-155, 1995.

AI-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**. v. 61, p. 297-307, 2004.

ARAÚJO, L. DE F.; OLIVEIRA, L. DE. S. C.; PERAZZO NETO, A.; ALSINA, O. L. S. DE; SILVA, F. L. H. DA. 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, Campina Grande – PB, 2005.

ARIAS, R.; LEE, T. C.; LOGENDRA, L.; JANES, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomate and the relationship of maturity with color and lycopene content. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, v. 48, p. 1697-1702, 2000.

AYALA A., A. A.; SERNA C., L.; MOSQUERA V., E. S. Liofilización de Pitahaya Amarilla (*Selenicereus megalanthus*). **VITAE, Revista de La Facultad de química Farmacéutica**. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. v. 17, n. 2, p. 121-127, 2010.

BEAUDRY, C.; RAGHAVAN, G. S. V.; RATTI, C.; RENNIE, T. J. Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries. **Drying Technology**, v. 22, n. 3, p. 521-539, 2004.

BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: Fenemma, O.R. (Ed.), **Food Chemistry**, 3<sup>a</sup> ed. Marcel Dekker, New York, pp. 157–224, 1996.

BHANDARI, B. R.; BHESH, R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rice foods. **Drying Technology**, v. 15, p. 671-684, 1997.

BHANDARI, B. R.; SNOUSSI, A.; DUMOULIN, E. D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, 1993.

BORGES, S. V.; CAL-VIDAL, J. Análise higroscópica e microestrutural de frutas desidratadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n.5, p. 815-821, 1994.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais”, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005a.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis”, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005b.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemists' Society**, v. 60, p. 309-319, 1938.

CALORI, I.; GIAROLA, T. M. O.; CAL-VIDAL, J. Cinética-de-caking em mamão liofilizado determinada por microscopia ótica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n.11, p. 1199-1204, 1997.

CHINNAN, M. S.; BEAUCHAT, L. R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, London: Academic Press Ltd., v. 18, p. 83-88, 1985.

CHIRIFE, J.; TIMMERMANN, E. O.; IGLESIAS, H. A.; BOQUET, R. Some features of the parameter k of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food products. **Journal of Food Engineering**, v. 15, n. 1, p. 75-82, 1992.

CHRISTAKIS, N.; WANG, J.; PATEL, M. K.; BRADLEY, M. S. A.; M. C. LEAPER, M. C.; CROSS, M. Aggregation and caking processes of granular materials: continuum model and numerical simulation with application to sugar. **Advanced Powder Technology**, v. 17, n. 5, p. 543-565, 2006.

CHUNG, M.; RUAN, R.; CHEN, P.; KIM, J.; AHN, T.; BAIK, C. Predicting caking behaviors in powdered foods using a low-field nuclear magnetic resonance (NMR) technique. **L.W.T. – Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 8, p. 751-761, 2003.

COUMANS, W. J.; KERKHOF, P. J. A. M.; BRUIN, S. Theoretical and practical aspects of aroma retention in spray drying and freeze drying. **Drying Technology**, v. 12, p. 99-149, 1994.

EL-AOUAR, A. A. **Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya L.*) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 2005. 140f. Tese (doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2005.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de alimentos: Princípios e Prática**. Tradução Florência Cladera Oliveira. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, O. “Water activity at subfreezing temperatures”. In: **Water activity: Influences on food quality**. Academic Press, New York, , 1981, p. 713-732.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

FITZPATRICK, J. J.; O’CALLAGHAN, E.; O’FLYNN, J. Application of a novel cake strength tester for investigating caking of skim milk powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 86, p. 198-203, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Food and Agricultural commodities production**. Disponível em: < <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> > Acesso em: 20 mar. 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Review of the world market situation for bananas and tropical fruits**, FAO, Rome, 2009.

GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 246-252, 2007.

GALMARINI, M.V.; SCHEBOR, C.; ZAMORA, M. C.; CHIRIFE, J. The effect of trehalose, sucrose and maltodextrin addition on physicochemical and sensory aspects of freeze - dried

strawberry puree. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 1869-1876, 2009.

GARCÍA, M.; DÍAZ, R.; MARTÍNEZ, Y.; CASARIEGO, A. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. **Food Research International**, v. 43, p.1656-1660, 2010.

GEORGE, J. P.; DATTA, A. K. Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices, **J. Food Eng**, v. 52, p. 89-93, 2002.

GÓIS, V. A. DE.; CAL-VIDAL, J. Equilíbrio higroscópico do mamão liofilizado em pó e em grânulos a diferentes temperaturas. **Ciência e Prática**, v. 8, n. 2, p. 99-108, 1984.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K.G.. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 73-83, 2008.

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

GREGORY, J. F. Vitamins. In O. R. Fennema (Ed.), **Food chemistry**, 3<sup>a</sup> ed., p. 531 e 616). New York: Marcel Dekker, 1996.

HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 33, n. 1, p. 29-32, 1952.

HORNERO-MÉDEZ, D.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M. I. Bioaccessibility of carotenes from carrots: Effect of cooking and addition of oil. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 8, p. 407-412, 2007.

IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. A model for describing the water sorption behaviour of foods. **Journal of Food Science**, v. 41, p. 984-992, 1976.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**, v. 36, 2009. Disponível em: < [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2009/PAM2009\\_comentarios.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2009/PAM2009_comentarios.pdf) > Acesso em: 10 fev. 2010.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY – IUPAC. Reporting Physisorption data for gas solid. systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. **Pure & Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

JAIN, S. K.; VERMA, R. C.; SHARMA, G. P.; JAIN, H. K. Studies on moisture sorption isotherms for osmotically dehydrated papaya cubes and verification of selected models. **Journal Food Science Technology**, v. 47, n. 3, p. 343-346, maio/jun, 2010.

KOMES, D.; LOVRIC', T.; GANIC', K. K. Aroma of dehydrated pear products. **L.W.T. -- Journal of Food Science and Technology**, v. 40, p.1578-1586, 2007.

KOMUNJER, L.; AFFOLTER, C. Absorption–evaporation kinetics of water vapour on highly hygroscopic powder: Case of ammonium nitrate. **Powder Technology**, v. 157, p. 67-71, 2005.

KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 287-296, 2009.

LABUZA, T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food Technology**, v. 34, n. 4, p. 36-41, 1980.

LEWICKI, P. P. Data and Models of Water Activity. II: Solid Foods. In: RAHMAN, M. S. **Food Properties Handbook**. 2<sup>a</sup> ed, New York: CRC Press, 2009, cap. 4, p. 68-152.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, n. 22, p. 346-382, 1987.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel- Wissenschaft & Technologie**, v. 18, p. 111-117, 1985.

LÓPEZ, H. O. D.; CERNADA, M. A.; FERNÁNDEZ, C. R.; TORRES, A. L. Y.; SANABRIA, G.M. L. Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersión de extracto acuoso de *Calendula officinalis* L. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2006.

MARFIL, P. H. M.; SANTOS, E. M. .; TELIS, V. R. N. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. **L.W.T. – Food Science and Technology**, v. 41, p. 1642-1647, 2008.

MARQUES, L. G. **Liofilização de Frutas Tropicais**. 2008. 293f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

MARQUES, L. G.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, J. T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Chemical Engineering and Processing**. v. 46, p. 451-457, 2007.

MARQUES, L. G.; PRADO, M. M.; FREIRE, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 1232-1237, 2009.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; ALSEMO, G. C. S.; RODRIGUES, E.; GUEDES, M. A.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. C. A. Obtenção de graviola em pó pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2005.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. **Obtenção de frutos em pó**. Universidade Federal de Campina Grande, 2003. Projeto CNPq. 15p.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**. v. 82, p. 61-71, 2003.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 311-316, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Principais produtos do agronegócio brasileiro**/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. Brasília: MAPA, 2008. 32 p.

MOJISOLA, C-O. C.; ANTHONY, E. A.; ALANI, D. M. Antisickling properties of the fermented mixture of *Carica papaya* Linn and *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 3, n. 4. p. 140-143, abr, 2009.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 72-78, 2010.

NEVES, I.P. **Cultivo do mamão**. Dossiê técnico. Rede de Tecnologia da Bahia – RETEC/BA, abr, 2007.

OJIKE, O.; NWOKE, O. O.; OKONKWO, W. I. The influence of different solar drying systems on the vitamin content of Pawpaw (*Carica papaya*). **Australian Journal of Agricultural Engineering**. v. 2, n. 1, p. 8-11, 2011.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, v.1, 2005.

OSWIN, C. R. “The kinetics of package life III the isotherm”. **Journal of Chemical Industry**, v. 65, p. 419-421, 1946.

PACHECO-DELAHAYE, E.; PÉREZ, R.; SCHNELL, M. Evaluación nutricional y sensorial de polvos para bebidas a base de papaya, plátano verde y salvado de arroz. Índice glucémico. **Interciência - INCI**, v. 29, n. 1, p. 46-51, jan, 2004.

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

PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. Modelos para ajuste de isoterma de sorção de alimentos, Engenharia Rural, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 80-86, 1992.

PATERSON, A. H. J.; BRONLUND, J. E.; KELLIE, J. A. **Temperature gradient induced caking of pharmaceutical grade salt**. Fifth World Congress on Particle Technology, 2006.

PATRO, R. **Mamão - Carica papaya**. Disponível em: < [http://www.jardineiro.net/br/banco/carica\\_papaya.php](http://www.jardineiro.net/br/banco/carica_papaya.php) > Acesso em: 22 mar. 2011.

PAULL, R. E. Pineapple and papaya. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. (Ed.) **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 291-323.

- RAHMAN, M. S., 1995. **Food Properties Handbook**. CRC Press, Boca Raton FL.
- RAO, A. V.; RAO, L. G. Carotenoids and human health. **Pharmacological Research**, v. 55, p. 207-216, 2007.
- REINECCIUS, G. A. (1991). Carbohydrates for flavor encapsulation. **Food Technology**, v. 46, n. 3, p. 144-152.
- ROJAS, A. M.; GERSCHENSON, L. N. Ascorbic acid destruction in aqueous model systems: an additional discussion. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1433-1439, 2001.
- ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 69-76, jan./jun., 2003.
- ROTH, T.; LONCIN, M. "Superficial activity of water." In: MCKENNA, B. M. (Eds), **Engineering and Food**, v. 1. London. Elsevier Applied Science, 311 p., 1984.
- SABAREZ, H. T.; PRICE, W. E.; KORTH, J. Volatile changes during dehydration of d'Agen Prunes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 1838-1842, 2000.
- SAGAR, V. R.; KUMAR, P. S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 15-26, 2010.
- SENTANIN, M. A.; AMAYA, D. B. R. Teores de carotenóides em mamão e pêssego determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 27, n. 1, p. 13-19, 2007.
- SERRANO, L. A. L., CATTANEO, L. F. O cultivo do mamoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3 p. 657-959, 2010.
- SHAHIDI, F.; HAN, X.Q. Encapsulation of Food Ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p.501-547, 1993.

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.

SIMPSON, K. L.; CHICHESTER, C. O. Metabolism and nutritional significance of carotenoids. **Annual Review of Nutrition**. v. 1, p. 351-374, 1981.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. 1967. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428p.

TARDOS, G. I.; KHAN, M. I.; MORT, P. R. Critical parameters and limiting conditions in binder granulation of fine powders. **Powder Technology**, v. 94, n. 3, p. 245-258, 1997.

TELIS-ROMERO, J.; GUIZZO-SILVA, L. K.; TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L. Rheological Properties of rehydrated Papaya. **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 221-227, jul./dez., 2003.

THYS, R. C. S.; NOREÑA, C. P. Z.; MARCZAK, L. D. F.; AIRES, A. G.; CLADERA-OLIVERA, F. Adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch and thermodynamic analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 468-473, 2010.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 220, p. 235-260, 2003.

UDDIN, M. S.; HAWLANDER, M. N. A.; DING, L. U. O. MUJUMDAR, A. S. Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 51, p. 21-26, 2002.

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

VEGA-GÁLVEZ, A.; PALACIOS, M.; LEMUS-MONDACA, R. Moisture Sorption isotherms and isosteric heat determination in chilean papaya. (*Vasconcellea pubescens*). **Química Nova**, v. 31, n. 6, p.1417-1421, 2008.

WHITE, L. A limitation of the determination of surface area by the “point B” method. **Journal of Physical Chemistry**, v. 51, p. 644-647, 1947.

WOLF, W.; SPIESS, W. E. L.; JUNG, G. Standarization of isotherm measurements. In: SIMATOS, D.; MULTON, J. L. (Eds.), **Properties of water in foods The Netherlands**: Martinus Nijhoff, 1985, p. 661-679.

YAN, Z.; SOUSA-GALLAGHER, M. J.; OLIVEIRA, F. A. R. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. **Journal of Food Engineering**, v. 86, 2008, p. 342-348, 2008.

YESCAS, G. O.; OLVERA, V. J. R.; JIMENES, G. C. R.; ALVARADO, M. A. G.; CERVANTES, M. A. S. **Efecto de la temperatura, velocidad del aire y espesor del producto sobre la degradacion del acido ascorbico durante el secado convectivo de mango y papaya**. In: V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, 2007.

ZAKI, N. A. M.; MUHAMAD, I. I. SALLEH, L. M. Drying characteristics of papaya (Carica papaya L.) during microwave-vacuum treatment. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 4, n. 1, p. 15-21, 2007.