



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

BRENA KELLE MOREIRA RODRIGUES

**LIOFILIZAÇÃO DE POLPA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA L.*) c.v TOMMY
ATKINS: CONDIÇÕES DE SECAGEM E ESTABILIDADE**

FORTALEZA

2017

BRENA KELLE MOREIRA RODRIGUES

LIOFILIZAÇÃO DE POLPA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA L.*) c.v TOMMY ATKINS:
CONDIÇÕES DE SECAGEM E ESTABILIDADE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Co-orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

FORTALEZA
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R6111 Rodrigues, Brena Kelle Moreira.
Liofilização de polpa de manga (*Mangifera indica* L.) c.v tommy atkins : condições de secagem e estabilidade / Brena Kelle Moreira Rodrigues. – 2017.
139 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.
Coorientação: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

1. Manga. 2. Produtos liofilizados. 3. Armazenamento. 4. Morfologia. 5. Pó de fruta. I. Título.

CDD 664

BRENA KELLE MOREIRA RODRIGUES

LIOFILIZAÇÃO DE POLPA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA L.*) c.v TOMMY ATKINS:
CONDIÇÕES DE SECAGEM E ESTABILIDADE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de produtos de origem vegetal.

Aprovada em: 19 / 04 / 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador)
Departamento de Engenharia de Alimentos – CCA - UFC

Prof. Dr. José Maria Correia da Costa
Departamento de Engenharia de Alimentos – CCA - UFC

Profa. Dra. Andrea Cardoso de Aquino
Departamento de Engenharia de Alimentos – CCA - UFC

Pesquisador Dr. Nedio Jair Wurlitzer
Embrapa Agroindústria Tropical

Profa. Dra. Kaliana Sitonio Eça
Departamento de Engenharia de Alimentos – CCA - UFC

À Deus por sempre está presente me dando forças e regindo meu caminho, aos meus pais por toda paciência e carinho, e ao meu querido companheiro por todo incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e discernimento para realizar esse trabalho.

Ao CNPq pelo apoio financeiro durante todo o período do mestrado com a bolsa.

A Embrapa Agroindústria Tropical pelo intermédio e obtenção das frutas (mangas).

Ao Prof. Marcos Rodrigues Amorim Afonso por toda dedicação e orientação prestada, pelos inúmeros conselhos e soluções para tornar mais fácil a realização do meu trabalho, pela paciência e competência durante a trajetória do mestrado.

Ao Prof. José Maria Correia Costa por me permitir participar do laboratório para realização da minha pesquisa e análises, por toda ajuda e esclarecimentos.

Aos professores que ministraram disciplinas durante a pós-graduação, contribuindo da sua forma para minha formação. Ao Departamento de Engenharia de Alimentos pela oportunidade de participação da pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, a coordenação e funcionários (Paulo Mendes e Sr Luís), pela ajuda e informações concedidas.

A minha querida turma de mestrado, que me proporcionou experiências maravilhosas e momentos únicos, aos amigos que fiz e pelos quais eu tenho muito carinho e admiração, de modo especial Amanda Leal e Luan Costa.

Aos colegas do laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem - LACONSA da Universidade Federal do Ceará que me salvaram diversas vezes, me mostrando o funcionamento do laboratório, me ajudando nas análises, por todas as experiências vividas, pois o Laconsa se tornou minha segunda casa durante esse período. Em especial Luciana, Diácomo, Janaína, Jovan e Laiana pelo companheirismo, pela ajuda que me fizeram caminhar na longa estrada desse mestrado, por todas as brincadeiras que tornavam o dia cansativo, mais divertido.

A minha amiga Francisca que tanto me ajudou, mostrando-se uma ótima colega de laboratório e de vida também, pelo conhecimento compartilhado e ajuda nos momentos necessários.

Ao laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará que me permitiu realizar parte do meu experimento.

Aos meus pais e irmã, que tanto me apoiaram durante essa longa jornada, me permitindo chegar até aqui.

Ao meu querido namorado por estar sempre presente, me incentivando a prosseguir.

A todos que de forma direta ou indireta me ajudaram meu muito obrigado.

“A sabedoria para o espírito é como a comida para o corpo.” (Textos Judaicos)

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi avaliar a secagem em liofilizador da polpa de manga c.v Tommy Atkins, determinando suas condições de secagem, parâmetros de qualidade e estabilidade. A condição de secagem foi avaliada através da influência da concentração de maltodextrina e do tempo de liofilização sobre a umidade, rendimento, higroscopicidade, concentração de ácido ascórbico, solubilidade e cor dos pós, utilizando um planejamento fatorial completo 2². Caracterizou-se a polpa integral e os pós quanto aos parâmetros físico-químicos (umidade, atividade de água, higroscopicidade, ácido ascórbico, solubilidade, carotenoides, compostos fenólicos), colorimétricos e morfológicos (fluidez, densidade e ângulos efetivo e de atrito com a parede). A partir dos resultados do planejamento determinou-se o uso de 10% de maltodextrina e 24 h de liofilização, como melhor condição de secagem. O estudo da morfologia revelou diferenças na superfície e forma das partículas com maiores concentrações do adjuvante de secagem e que os pós obtidos são amorfos. Os pós de manga com 5% de maltodextrina foram coesivos e os de 10% e 15% de fácil fluxo. A densidade aumentou chegando a 691,3 kg/m³, em razão do aumento da maltodextrina, enquanto que os ângulos de atrito interno e de fricção com a parede diminuíram para as três concentrações (5, 10 e 15%), melhorando o escoamento dos pós. O modelo de GAB foi o que melhor se ajustou as isotermas de adsorção do pó de polpa de manga, e o aumento da adição de maltodextrina levou a pós menos higroscópicos. A estabilidade realizada durante 90 dias do pó liofilizado e armazenado em duas embalagens diferentes (polietileno e laminada) permitiram identificar que o de polietileno não evitou a absorção de água, com um aumento de 94% para a umidade e 68% para atividade de água. A coordenada de cor b* sofreu reduções de até 29% durante o período, porém a predominância da cor amarela foi mantida. Houve reduções em média de 50% nos teores de ácido ascórbico das amostras para ambas as embalagens. O uso da embalagem laminada a vácuo mostrou-se eficaz como barreira contra a absorção de umidade durante o armazenamento dos pós. De modo geral, pode-se concluir a secagem em liofilizador resulta em pó de polpa de manga com características físicas e físico-químicas satisfatórias e que o uso da maltodextrina melhora as características morfológicas das partículas, diminui a higroscopicidade e possibilita um melhor escoamento dos pós.

Palavras-chave: Manga. Produtos liofilizados. Armazenamento. Morfologia. Pó de fruta.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the drying in freeze dryer of Tommy Atkins mango pulp, determining its drying conditions, quality parameters and stability. The drying condition was evaluated by the influence of the maltodextrin concentration and the lyophilization time on the moisture, yield, hygroscopicity, ascorbic acid concentration, solubility and color of the powders, using a complete factorial design 22. The whole pulp was characterized (Moisture, water hygroscopicity, ascorbic acid, solubility, carotenoids, phenolic compounds), colorimetric and morphological parameters (fluidity, density and effective angles and attrition angles with the wall). From the results of the planning, the use of 10% of maltodextrin and 24 hours of lyophilization was determined as the best drying condition. The morphology study revealed differences in the surface and shape of the particles with higher concentration of the drying adjuvant and that the powders obtained are amorphous. Mango powders with 5% maltodextrin were cohesive and 10% and 15% easy flow. The density increased to 691.3 kg / m³, due to the increase in maltodextrin, whereas the internal friction and friction angles with the wall decreased for the three concentrations (5, 10 and 15%), improving the flow of the Powders. The GAB model was the one that best adjusted the adsorption isotherms of the mango pulp powder, and the increased addition of maltodextrin led to less hygroscopic powders. The stability of the lyophilized powder stored in two different containers (polyethylene and laminate) during 90 days allowed to identify that polyethylene did not prevent the absorption of water, with a 94% increase in humidity and 68% in water activity. The color coordinate b* suffered reductions of up to 29% during the period, but the predominance of yellow color was maintained. There was an average reduction of 50% in the ascorbic acid contents of the samples for both packages. The use of the vacuum-laminated package proved to be effective as a barrier against moisture absorption during storage of the powders. In general, drying can be concluded in lyophilizer resulting in mango pulp powder with satisfactory physical and chemical-physical characteristics and that the use of maltodextrin improves the morphological characteristics of the particles, decreases the hygroscopicity and allows a better flow of powders.

Keywords: Mango. Freeze-dried Products. Storage. Morphology. Powder Fruit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fases da água e ponto triplo.....	28
Figura 2	– Esquema de um liofilizador do laboratório de refrigeração da Universidade Federal do Ceará.....	29
Figura 3	– Transmissão de calor na liofilização: a) pela camada seca; b) pela camada congelada; c) geração interna do calor por microondas	29
Figura 4	– Microscopia Eletrônica de Varredura	35
Figura 5	– Função de fluxo (FF) de um produto.....	37
Figura 6	– Histerese das isotermas de sorção.....	39
Figura 7	– Fluxograma da análise de determinação das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizado.....	52
Figura 8	– Embalagens de polietileno (a) e laminada (b) em forma de sachê utilizado para o armazenamento do pó de polpa de manga liofilizado.....	54
Figura 9	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável rendimento (%) do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	60
Figura 10	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade (%) do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	61
Figura 11	– Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável ácido ascórbico (%) do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	62
Figura 12	– Fotomicrografias da polpa de manga em pó produzida sem maltodextrina (a) (Controle) e adicionada de (b) 5%, (c) 10%, (d) e 15% e da (e) maltodextrina pura (5000x).....	73
Figura 13	– Manga em pó liofilizada aumento de 300x.....	74
Figura 14	– Pós de acerola liofilizada sem maltodextrina (a) e com 19,1% (b).....	75
Figura 15	– Estrutura cristalina de fatias de manga desidratada por ar quente.....	76

Figura 16	– Função de fluxo para os pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos pelo processo de secagem em liofilizador, adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	78
Figura 17	– Densidade Aparente para os pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos pelo processo de secagem em liofilizador, adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	80
Figura 18	– Ângulo de atrito interno com a parede (ϕ_w), para os pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos pelo processo de secagem em liofilizador, adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	83
Figura 19	– Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25 e 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 5% de maltodextrina (DE 20).....	87
Figura 20	– Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25 e 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 10 % de maltodextrina (DE 20).....	87
Figura 21	– Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25 e 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 15 % de maltodextrina (DE 20).....	88
Figura 22	– Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina (DE 20).....	89
Figura 23	– Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina (DE 20).....	90
Figura 24	– Polpa de manga Tommy Atkins utilizada na pesquisa em embalagem de polietileno (a) e em placa de petri (b).....	97
Figura 25	– Umidade (%) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	100

Figura 26	– Atividade de água (a_w) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	102
Figura 27	– Grau de <i>caking</i> (%) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagen.....	103
Figura 28	– Grau de <i>caking</i> (%) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	104
Figura 29	– Acidez (%) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	105
Figura 30	– pH da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	107
Figura 31	– Solubilidade (%) da polpa de manga Tommy Atkins desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	108
Figura 32	– Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de manga Tommy Atkins desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	109
Figura 33	– Concentração de ácido ascórbico (mg/100g) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	111
Figura 34	– Cor das amostras de polpa de manga Tommy Atkins em pó durante o período de estabilidade (90 dias) acondicionado em embalagens: (LCV) – laminada com vácuo; (LSV) – laminada sem vácuo; (PCV) – polietileno com vácuo e (PSV) – polietileno sem vácuo.....	112
Figura 35	– Parâmetro a^* (intensidade de verde) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	113
Figura 36	– Parâmetro b^* (intensidade de amarelo) do pó de manga desidratado em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	114
Figura 37	– Parâmetro L^* (luminosidade) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens.....	115

LISTA DE TABELA

Tabela 1	– Composição media centesimal da Manga (<i>Mangifera indica</i> L.) através das análises realizadas entre as cultivares Tommy Atkins, Keitt, Kent e Haden.....	24
Tabela 2	– Classificação do tipo de fluxo de produtos sólidos armazenáveis.....	37
Tabela 3	– Planejamento fatorial completo 2^2 para a secagem de polpa de manga Tommy Atkins em Liofilizador.....	47
Tabela 4	– Planejamento dos experimentos para a secagem de polpa de manga Tommy Atkins em Liofilizador.....	47
Tabela 5	– Atividade de água das soluções salinas saturadas.....	51
Tabela 6	– Modelos matemáticos que foram testados para avaliar qual deles melhor se ajusta para descrever os dados experimentais das isotermas de adsorção.....	53
Tabela 7	– Respostas obtidas no planejamento experimental para as variáveis dependentes após processo de liofilização.....	56
Tabela 8	– Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a umidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	57
Tabela 9	– Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a umidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	57
Tabela 10	– Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para o rendimento do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	58
Tabela 11	– Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o rendimento do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	59
Tabela 12	– Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a higroscopicidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	61

Tabela 13 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a higroscopicidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	62
Tabela 14 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para o ácido ascórbico do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	64
Tabela 15 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o ácido ascórbico do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	65
Tabela 16 – Respostas obtidas do planejamento experimental para as variáveis dependentes após processo de liofilização.....	68
Tabela 17 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a solubilidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	69
Tabela 18 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a solubilidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	70
Tabela 19 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a cor parâmetro a* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	71
Tabela 20 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a cor parâmetro a* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	71
Tabela 21 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a cor parâmetro b* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.....	71
Tabela 22 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a cor parâmetro L* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador....	72
Tabela 23 – Valores da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) e a tensão de consolidação principal (σ_1) para o pó da polpa de manga adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	72
Tabela 24 – Valores da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) e a tensão de consolidação principal (σ_1) para o pó da polpa de manga adicionados de 5,	

10 e 15% de maltodextrina.....	76
Tabela 25 – Valores dos índices de fluxo (ffc) dos pós de polpa de manga Tommy Atkins adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	77
Tabela 26 – Valor dos Ângulos Efetivo de Atrito Interno δ (°) dos pós de polpa de manga Tommy Atkins adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.....	81
Tabela 27 – Valores Médios dos Ângulos de Atrito Interno com a parede dos pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos com diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10 e 15%).....	83
Tabela 28 – Resultados das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga Tommy Atkins.....	84
Tabela 29 – Parâmetros para secagem em liofilizador para polpa de manga Tommy Atkins.....	91
Tabela 30 – Caracterização físico-química da polpa de manga integral e liofilizada.....	92

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo geral	20
2.2	Objetivos específicos	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	Produção de frutas com ênfase na produção de Manga	21
3.2	Manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	22
3.2.1	<i>Características químicas, físico-químicas e nutricionais da manga</i>	23
3.3	Secagem de Alimentos	26
3.3.1	<i>Secagem por liofilização</i>	27
3.3.2	<i>Secagem de polpa de fruta</i>	31
3.3.3	<i>Adjuvantes de secagem</i>	32
3.3.4	<i>Características dos alimentos em pó</i>	33
3.4	Microscopia Eletrônica de Varredura	35
3.5	Propriedades reológicas do pó	36
3.6	Isotermas de sorção	38
3.6.1	<i>Modelo BET</i>	40
3.6.2	<i>Modelo GAB</i>	41
3.6.3	<i>Modelo HENDERSON</i>	42
3.6.4	<i>Modelo OSWIN</i>	42
4	MATERIAL E METODOS	43
4.1	Obtenção da polpa de manga	43
4.2	Caracterização físico-química da polpa de manga integral	43
4.2.1	<i>pH</i>	43
4.2.2	<i>Umidade</i>	43
4.2.3	<i>Acidez total titulável</i>	44

4.2.4	<i>Açúcares redutores, não-redutores e totais</i>	44
4.2.5	<i>Sólidos solúveis totais</i>	44
4.2.6	<i>Cor</i>	44
4.2.7	<i>Ácido ascórbico</i>	45
4.2.8	<i>Carotenoides Totais</i>	45
4.2.9	<i>Atividade de água</i>	46
4.2.10	<i>Compostos fenólicos</i>	46
4.3	Secagem de polpa de manga	46
4.3.1	<i>Rendimento</i>	48
4.4	Caracterização da polpa de manga liofilizada	48
4.4.1	<i>Higroscopicidade</i>	48
4.4.2	<i>Grau de caking</i>	49
4.4.3	<i>Solubilidade</i>	49
4.5	Análises físicas do pó	50
4.5.1	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	51
4.5.2	<i>Fluidez, densidade aparente, ângulos (efetivo de atrito interno e atrito com a parede)</i>	53
4.6	Determinação das isotermas de adsorção dos pós	55
4.7	Avaliação da estabilidade dos pós obtidos	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	Resultados do planejamento experimental	55
5.1.1	<i>Resultados das variáveis dependentes: umidade, rendimento, higroscopicidade e ácido ascórbico</i>	55
5.1.1.1	<i>Análise da variável resposta umidade</i>	57
5.1.1.2	<i>Análise da variável resposta rendimento</i>	58

5.1.1.3	<i>Análise da variável resposta higroscopicidade.....</i>	61
5.1.1.4	<i>Análise da variável resposta ácido ascórbico.....</i>	64
5.1.2	<i>Resultados das variáveis dependentes: solubilidade e cor (L*, a* e b*).....</i>	67
5.1.2.1	<i>Análise da variável resposta solubilidade</i>	69
5.1.2.2	<i>Análise das respostas de cor (L*, a*, b*).....</i>	70
5.1.2.2.1	<i>Análise da variável resposta cor parâmetro a*</i>	70
5.1.2.2.2	<i>Análise da variável resposta cor parâmetro b*</i>	71
5.1.2.2.3	<i>Análise da variável resposta Cor parâmetro L*</i>	72
5.2	<i>Avaliação da adição de diferentes proporções de maltodextrina à polpa de manga</i>	73
5.2.1	<i>Resultados da morfologia dos pós</i>	73
5.2.2	<i>Resultados das análises físicas (reológicas) dos pós de polpa de manga Tommy Atkins</i>	76
5.2.2.1	<i>Densidade Aparente.....</i>	79
5.2.2.2	<i>Ângulo Efetivo de Atrito Interno δ (°).....</i>	81
5.2.2.3	<i>Ângulo de Atrito Interno com a Parede (ϕ_w).....</i>	82
5.2.3	<i>Resultados das isotermas de adsorção dos pós de polpa de manga Tommy Atkins.....</i>	84
5.3	<i>Condições adotadas para secagem de polpa de manga Tommy Atkins em liofilizador</i>	91
5.4	<i>Avaliação das condições de secagem escolhida (24 h e 10 % de maltodextrina) na caracterização físico-química (polpa integral e liofilizada) e estabilidade dos pós</i>	92
5.4.1	<i>Caracterização físico-química da polpa integral e liofilizada de manga Tommy Atkins</i>	92
5.4.2	<i>Resultados da estabilidade do pó da polpa de manga Tommy</i>	99

<i>Atkins</i>	
5.4.2.1 <i>Umidade</i>	99
5.4.2.2 <i>Atividade de água</i>	101
5.4.2.3 <i>Higroscopicidade</i>	102
5.4.2.4 <i>Grau de Caking</i>	104
5.4.2.5 <i>Acidez</i>	105
5.4.2.6 <i>pH</i>	106
5.4.2.7 <i>Solubilidade</i>	107
5.4.2.8 <i>Sólidos Solúveis Totais (°Brix)</i>	109
5.4.2.9 <i>Ácido Ascórbico</i>	110
5.4.2.10 <i>Análise de Cor</i>	111
5.4.2.10.1 <i>Parâmetro colorimétrico (a*)</i>	112
5.4.2.10.2 <i>Parâmetro colorimétrico (b*)</i>	113
5.4.2.10.3 <i>Parâmetro colorimétrico (L*)</i>	115
CONCLUSÃO	117
REFERÊNCIAS	118
APÊNDICE	133

1 INTRODUÇÃO

Uma das variedades mais populares e apreciadas de manga é a Tommy Atkins, tem sua origem na Flórida, EUA, sendo uma das mais cultivadas mundialmente para exportação (COSTA; SANTOS, 2004). É a variedade (Tommy Atkins) que melhor atende às exigências do mercado internacional para consumo doméstico, em razão de sua coloração, sabor e aroma, tornando-a atraente para o consumidor e é um dos cultivares mais plantado e exportado pelo Brasil (MARQUES *et al.*, 2010).

Uma das formas de garantir e aumentar a estabilidade e a segurança dos alimentos é através da secagem, que reduz o conteúdo de umidade, no produto final, impossibilitando certas reações de deterioração. Para tornar esse processo eficiente, os adjuvantes de secagem, como a maltodextrina, são adicionados ao processo, para reduzirem a pegajosidade e aglomeração. Os alimentos em pó são bastante utilizados nas indústrias, por serem convenientes práticos e seguros, com menores custos no transporte, e fácil armazenamento. Devendo ser desidratados por processos que mantenham suas características nutricionais e sensoriais.

O processo de secagem por meio da liofilização, ocorre sob condições de pressão e temperatura controladas, e as vantagens desse processo de secagem em relação aos outros são inúmeros, como a manutenção das propriedades químicas e sensoriais do alimento. O que favorece a aceitação do produto por parte do consumidor, por gerar semelhança às características sensoriais (cor, sabor e aroma) do produto integral.

Diante de sua boa aceitação por parte dos consumidores e da grande comercialização no mercado interno e externo da manga variedade Tommy Atkins e de suas características fisiológicas (rápido amadurecimento), a industrialização por meio da liofilização é uma alternativa eficaz para o seu aproveitamento, agregando valor ao produto. A polpa na forma de pó pode ser utilizada como matéria-prima para a produção de diversos produtos (sucos, sorvetes, iogurtes etc), podendo ser comercializada em larga escala, aumentando seu consumo, já que não pode ser prolongado quando se encontra em estado integral.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a secagem da polpa de manga c.v Tommy Atkins em liofilizador utilizando a maltodextrina como adjuvante de secagem, para obtenção da polpa em pó, realizar sua caracterização físico-química, morfológica, determinar as propriedades reológicas, isotermas de adsorção, além do estudo de sua estabilidade (90 dias).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi estudar e avaliar a obtenção pó da polpa de manga (c.v Tommy Atkins) através da secagem em liofilizador adicionando a maltodextrina como adjuvante de secagem, realizar caracterização físico-química, morfológica, determinar as propriedades reológicas, isotermas de adsorção, e estudo da estabilidade (90 dias).

2.2 Objetivos específicos

- Determinar as melhores condições de secagem em liofilizador para polpa de manga, avaliando o efeito do tempo de liofilização e a adição de maltodextrina;
- Avaliar a morfologia dos pós adicionados de maltodextrina;
- Avaliar as propriedades reológicas dos pós adicionados de maltodextrina;
- Avaliar os modelos matemáticos (GAB, BET, HENDERSON e Oswin) para a representação das isotermas de adsorção dos pós de manga obtidos;
- Caracterizar química e físico-química a polpa de manga integral e a polpa em pó liofilizada;
- Avaliar a estabilidade físico-química da polpa de manga em pó durante 90 dias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Produção de frutas com ênfase na produção de Manga

O Brasil é o maior produtor de frutas tropicais do mundo, sendo considerado um imenso celeiro agrícola com bastante solo, disponibilidade hídrica, luminosidade e tecnologia. Dessa forma, é preciso aproveitar esses fatores positivos para acelerar o desenvolvimento regional, com ganhos econômicos e sociais, além de geração de emprego e renda (LIRIO, 2004; ANDRADE, 2012). A produção brasileira de frutas ocupa o 3º lugar no mundo e concentra-se, principalmente, nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, onde as condições de clima são bem distintas, ocorrendo um cultivo diversificado de plantas frutíferas, que são exploradas economicamente pela qualidade sensorial e interesse do mercado por produtos com determinadas propriedades nutricionais (MATTIETTO *et al.*, 2013).

A região Nordeste é a principal área de produção e exportação da manga brasileira e em 1988, foi criada a Associação dos Produtores e Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco (Valexport) como forma de organizar os produtores dando-lhes condições de atuarem no mercado internacional. As condições de logística e infraestrutura para exportação apresentam dificuldades, com os portos de Santos e de Salvador. Dessa forma, foram criados o Porto de Suape em Recife no ano de 1984 e o Terminal Portuário do Pecém em Fortaleza no ano de 2001, atendendo a demanda crescente da exportação de frutas (PINTO, 2008).

A manga tem um período de produção e um tempo de armazenamento curto, fazendo com que seus preços aumentem após sua estação de safra (SIVAKUMAR; JIANG; YAHIA, 2011). Mesmo rica em nutrientes, os consumidores têm relatado ao longo do tempo que a qualidade deste fruto é inconstante por causa da variabilidade de estádios de maturação na colheita e das condições de amadurecimento durante o armazenamento (NASSUR *et al.*, 2013a).

O Brasil apresenta grande produção de manga, existindo uma desigualdade de safra de um ano para o outro, como mostra os dados obtidos do Instituto Brasileiro de Estatística, que em 2012 ocorreu uma produção de 1 517 696 toneladas (IBGE, 2012), enquanto que em 2013 esse rendimento caiu para 1 163 000 toneladas, representando 23,37 % de redução (IBGE, 2013). O submédio do vale do São Francisco, composto por Bahia, Pernambuco, Minas Gerais, Alagoas

e Sergipe é responsável por cerca de 80 % das mangas brasileiras exportadas, produzindo durante todo ano (LIMA, 2013).

Dados do anuário 2014 apontam receitas de 106,7 milhões em relação à exportação de manga, sendo uma das frutas que mais arrecadou divisas no período de janeiro a novembro de 2014, no entanto apresentou uma queda na produção de 30 % na região do submédio Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) e de 14,3 % na área plantada em Livramento de Nossa Senhora (Bahia) neste mesmo ano, sendo consequências da seca que prejudicaram a irrigação (ANUÁRIO, 2014). A manga é um fruto cultivado em mais de 90 países (FAO, 2015), sendo o Brasil um grande exportador, alcançando a segunda posição e ocupando a sétima em termos de produção (NOVAGRIM, 2015).

3.2 Manga (*Mangifera indica* L.)

A mangueira é frondosa, porte médio a grande, copa arredondada, podendo variar de baixa e densa a ereta e aberta. As folhas podem chegar a 40 cm de comprimento e apresentam coloração que varia do verde-claro ao arroxeadado, quando jovens, e verde-normal a escuro, quando maduras. Seu fruto possui casca frágil e macia, em geral de cor amarela, chegando a obter várias tonalidades. Na polpa encontra-se o caroço ou semente, que é fibroso e possui tamanhos diferentes dependendo das variedades cultivadas (NETO; CUNHA, 2002).

A Manga (*Mangifera indica* L.) pertence à família das Anacardiáceas, é uma das frutas mais produzidas do mundo, sendo proveniente da Ásia e tendo a Índia como maior produtora apresenta uma alta capacidade de adaptação, podendo ser cultivada sob condições tropicais e subtropicais, sendo o Brasil o primeiro da América a realizar seu cultivo, herança adquirida dos portugueses após o descobrimento, por volta do século XVI, sendo difundida para todo o país, posteriormente (FILHO; ALVES; MAZZEI, 2004).

Em relação à temperatura, para crescimento e desenvolvimento, apresenta boa adaptação, podendo ser produzida numa faixa de 0 a 48 °C. Contudo, a temperatura ótima fica entre os níveis de 24 a 26 °C. Com relação ao solo, é considerada uma espécie rústica que frutifica tanto nos solos arenosos como nos argilosos, variando de ácidos ou alcalinos (CUNHA, 2002). Mudanças metabólicas importantes acabam ocorrendo durante a maturação e amadurecimento, sendo utilizadas como indicadores de qualidade. Sua casca pode apresentar

cores variadas entre verde, amarelo, laranja e vermelho, de acordo com a variedade cultivada (NASSUR *et al.*, 2013a).

Dentre os cultivares de manga de importância comercial, temos a cultivar Tommy Atkins, que é a mais plantada e exportada pelo Brasil (MARQUES *et al.*, 2010). A cultivar Tommy Atkins produz frutos médios a grandes, chegando a 13 cm de comprimento e 400 a 600 g de peso, são resistentes ao manuseio e ao transporte, apresentam casca grossa, lisa e coloração vermelha. A polpa apresenta textura firme, cor amarela, sabor doce (17 % de açúcares) com poucas fibras e uma semente pequena. (PINTO; MATOS; CUNHA, 2002).

A manga é uma importante matéria-prima no mercado nacional, é comercializada quase exclusivamente na forma integral, embora também possa ser encontrada nas formas de suco integral, polpa congelada e conservas, sendo possível armazená-las e reprocessá-las em períodos mais propícios. A polpa pode ser utilizada na elaboração de doces, geleias, sucos e néctares, além disso, adicionada a sorvetes, misturas de sucos, licores e outros produtos (BENEVIDES *et al.*, 2008; CORREIA; ARAUJO, 2010).

3.2.1 Características químicas, físico-químicas e nutricionais da manga

A manga, além de muito apreciada pelo sabor, cor e aroma, apresenta muitos nutrientes, como compostos bioativos (antioxidantes), elevado teor de potássio e fibras (MARQUES *et al.*, 2010) alguns carotenoides, como β -caroteno (ORNELAS-PAZ; YAHIA; GARDEA-BEJAR, 2010) além de ser rica em compostos fenólicos (YAHIA, 2010) e vitamina C, (FARAONI; RAMOS; STRINGHETA, 2009).

Nassur *et al.*, (2013b) estudando o teor de sólidos solúveis em mangas da variedade Ataulfo, Haden e Tommy Atkins, observaram que enquanto o teor de ácido cítrico (acidez) diminuiu, houve aumento dos sólidos solúveis em 12 dias de armazenamento, sendo analisados como parâmetros de qualidade na aceitação da fruta.

Dados da composição média centesimal da polpa de manga encontra-se na Tabela 1, obtidos do estudo realizado pela United States Department of Agriculture – USDA (2012).

Tabela 1- Composição media centesimal da Manga (*Mangifera indica* L.) através das análises realizadas entre as cultivares Tommy Atkins, Keitt, Kent e Haden

Manga	USDA (2012)
Componentes	Polpa
Água (%)	83,46
Energia Kcal	60,00
Proteína (g/100 g)	0,82
Lipídeos Totais (gordura) (g/100 g)	0,38
Carboidratos por diferença (g/100 g)	14,98
Fibra dietética total (g/100 g)	1,60
Açúcares totais (g/100 g)	13,66
Colesterol (mg/100 g)	0,00
Vitamina C, ácido ascórbico (mg/100 g)	36,40
Magnésio (mg/100 g)	10,00
Cálcio (mg/100 g)	11,00
Ferro (mg/100 g)	0,16
Fósforo (mg/100 g)	14,00
Potássio (mg/100 g)	168,00
Sódio (mg/100 g)	1,00
Zinco (mg/100 g)	0,09
Tiamina (mg/100 g)	0,03
Riboflavina (mg/100 g)	0,04
Niacina (mg/100 g)	0,67
Vitamina B-6 (mg/100 g)	0,12
Folato, DFE (mg/100 g)	43,00
Vitamina B-12 (µg/100 g)	0,00
Vitamina A (µg/100 g)	54,00
Vitamina E (alfa-tocoferol) (mg/100 g)	0,90
Vitamina D (D2 + D3) (µg/100 g)	0,00
Vitamina K (µg/100 g)	4,20
Ácidos graxos saturados (g/100 g)	0,09
Ácidos graxos monoinsaturados (g/100 g)	0,14
Ácidos graxos polinsaturados (g/100 g)	0,07

Fonte: United States Department of Agriculture – USDA (2012).

O Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Manga (BRASIL, 2000) estabelece parâmetros físico-químicos e microbiológicos que determinam a qualidade do produto que deve ser oferecido ao consumidor como: pH mínimo de 3,3 e máximo de 4,5; sólidos solúveis totais em °Brix a 20 °C mínimo de 11; acidez total expressa em ácido cítrico (g.100 /g): mínimo de 0,32; açúcares totais naturais da manga (g.100 g⁻¹): máximo de 17; sólidos totais (g.100 /g): mínimo de 14; bolores e leveduras: máximo de 5×10^3 .g⁻¹ para polpa in natura e de 2×10^3 /g para polpa conservada quimicamente ou que sofreu tratamento térmico; coliforme fecal: máximo 1 /g e *Salmonella*: ausência em 25 g.

As frutas e hortaliças apresentam atividade protetora para o organismo por possuírem compostos antioxidantes, dentre os quais se destacam os compostos fenólicos, carotenoides, vitamina C e vitamina E. Esses compostos estão associados com uma redução na possibilidade de se contrair doenças crônicas como o câncer (ORNELLAS, 2007; SILVA *et al.*, 2010; TOLEDO *et al.*, 2013). A importância desses componentes promove diversas pesquisas, realizadas ao longo dos anos, para alcançar um aproveitamento tecnológico de forma otimizada dos vegetais (MATTIETTO *et al.*, 2013). Esses compostos podem ser encontrados na polpa de manga em quantidades consideráveis.

As mangas são frutos climatéricos que apresentam alta taxa de respiração e curto período de vida útil, alcançando rápido amadurecimento (SERT; KERN; CORTEZ, 2006) são conhecidas por mudar de cor durante a maturação, principalmente por causa da degradação da clorofila onde ocorre a síntese de carotenoides (TADMOR *et al.*, 2010). Possuem sacarose e ácido cítrico como o açúcar e o ácido predominante, respectivamente. Alguns fatores podem afetar esses compostos como, por exemplo, a variedade, o estágio de maturação, os tratamentos pós colheita e as condições em que as frutas são armazenadas. No entanto, o aumento no conteúdo de sacarose no amadurecimento, tornando a fruta mais doce, é resultante da hidrólise do amido, pela enzima amilase (NASSUR *et al.*, 2013a).

Segundo Chitarra; Chitarra (2005) durante o amadurecimento de maioria das frutas tropicais ocorre diminuição dos ácidos orgânicos presentes, devido à utilização desses ácidos, no processo respiratório ou de sua conversão em açúcares. A diminuição na acidez e desaparecimento da adstringência depende da variedade e em que estágio de maturação a fruta encontrasse.

Foi constatado que, durante a maturação da manga, o pH aumenta com o amadurecimento, diminuindo a acidez e alcançando um teor ácido agradável, que junto com teor de açúcares solúveis presentes, proporciona o sabor característico da fruta (EVANGELISTA *et al.*, 2002). Com relação ao aroma dos frutos, são formados por compostos voláteis, que são em maior parte hidrocarbonetos monoterpênicos influenciados pelo estágio de maturação (FRANCO; RODRIGUEZ-AMAYA; LANÇA, 2004; CANUTO; NETO; GARRUTI, 2009).

3.3 Secagem de Alimentos

A secagem foi uma das primeiras formas de conservação de alimentos utilizada pelo homem (TANAKA, 2007) e tem a finalidade de eliminar o líquido volátil presente no material (PARK *et al.*, 2007). O alimento seco apresenta praticidade e facilidade de uso, além de maior estabilidade (FELLOWS, 2006). Em qualquer processo de secagem ocorre a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto (RIBEIRO, 2008).

As vantagens associadas ao processo também se encontram na possibilidade de um alimento nutritivo, facilidade no transporte e comercialização por proporcionar um alimento leve e compacto, além de baixo custo de armazenagem, entretanto, é importante salientar que nos processos de secagem realizados com altas temperaturas podem-se ocorrer perdas nutricionais de vitaminas e proteínas (CELESTINO, 2010). Sendo fundamental a escolha do método de secagem para se alcançar produtos com as características desejadas (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2012). Além disso, essa escolha irá depender do tipo de alimento que se deseja desidratar (MOURA, 2010).

Existem diversos tipos de secadores (equipamentos) usados para a redução da água presente nos alimentos, como secador de bandeja, *spray-dryer*, *freeze-dryer* (liofilizador), leito de jorro, solar e outros. De forma que, quando comparados, o processo realizado por liofilização apresenta maior vantagem devido a maior manutenção das características sensoriais e menor impacto no teor nutricional (GAVA, 2008).

A secagem pode ocorrer sob pressão atmosférica ou pressão abaixo da atmosférica por meio de secadores à vácuo. O processo pode utilizar ar quente (transferência de calor) para remover a água presente através de vapor (CELESTINO, 2010), sendo necessário considerar alguns fatores, como taxa e tempo total do processo, pois são influenciados pelos constituintes

dos produtos, tamanhos de partícula e geometria, meio secante e suas propriedades físicas, assim como as características do equipamento usado (MACHADO, 2006).

A secagem possibilita obter a fruta na forma de pó, fazendo com que o fruto, que poderia ser consumido somente em sua época de safra, possa ser consumido em qualquer época do ano (MATA *et al.*, 2005) com mais praticidade de manuseio, permitindo a elaboração de novos produtos com alto valor agregado e propriedades funcionais. Esses produtos podem ser consumidos diretamente, como produtos prontos para o consumo ou como ingredientes (SOUZA NETO *et al.*, 2005).

Durante a secagem ocorre a redução da atividade de água (a_w), que é a relação da pressão parcial de vapor de água sobre a pressão de vapor de água saturada, representando a água livre do produto (FELLOWS, 2006). A atividade de água dos alimentos pode contribuir para a atividade metabólica, resistência e sobrevivência dos microrganismos presentes, e sua redução permite reduzir as reações enzimáticas e químicas, contribuindo para uma maior conservação do produto final (CELESTINO, 2010) sendo assim, a conservação de um alimento depende da quantidade da água presente disponível (PARK *et al.*, 2007).

3.3.1 Secagem por liofilização

A liofilização, também conhecida como criodesidratação (ORDÓÑEZ, 2005) ou criosecagem, é um processo que ocorre em condições de pressão e temperatura controladas, onde a água congelada do produto sofre sublimação (FELLOWS, 2006; GAVA, 2008; GARCIA, 2009). Os produtos liofilizados apresentam facilidade de armazenamento, capacidade de se conservar em temperatura ambiente (em embalagem adequada), facilidade de reconstituição (hidratação) e longo período de vida de prateleira, mantendo as propriedades originais, além de inibir a contaminação microbológica (MARTINS *et al.*, 2011).

Conforme Baruffaldi; Oliveira (1998) a palavra liofilização surgiu de outra palavra e remete as características dos produtos obtidos, sendo o termo “*liófilo*” entendido como afinidade com o solvente, dessa forma, produtos obtidos por esse processo apresentam alta capacidade de absorver umidade (higroscópicos) e fácil solubilidade na água. O processo de liofilização se destacou durante a Segunda Guerra mundial, onde foram desenvolvidos estudos sobre o processo,

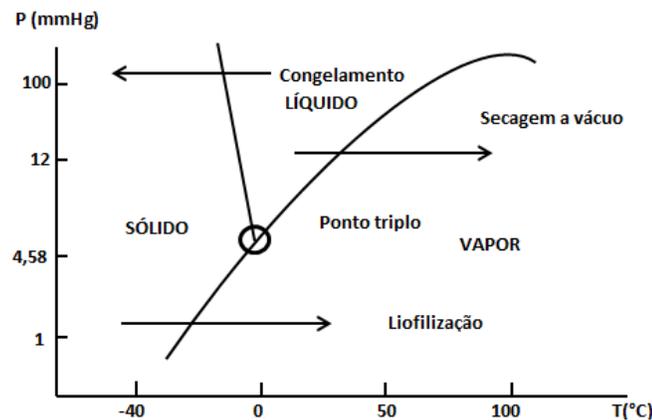
surgindo o programa Apollo da NASA, que elucidou os mecanismos de liofilização dos alimentos, contribuindo para os produtos atuais desenvolvidos (GARCIA, 2009).

Esse processo apresenta eficiência quando comparado com outros métodos de desidratação em relação às características como diminuição do volume do produto, retenção de voláteis, diminuição da decomposição térmica, além de reações enzimáticas e desnaturação proteica (GARCIA, 2009). Diversos produtos atualmente são liofilizados, como sopas, leite, café, mariscos, peixes, ervas aromáticas, algumas frutas e hortaliças, sendo empregado a produtos caros (ORDÓÑEZ, 2005; GAVA, 2008).

O estado físico (agregação) das moléculas depende das condições ao qual são expostas, como temperatura e pressão, apresentando-se na forma sólida, líquida ou gasosa. Em determinadas condições podem coexistir duas fases e em condições fixas possibilita a coexistência das três fases, conhecido como ponto triplo das substâncias (GAVA, 2008).

Dessa forma, segundo Ordóñez (2005), a água apresenta o ponto tríplice (Figura 1) a partir de uma determinada temperatura próxima de $0,0099\text{ }^{\circ}\text{C}$ e pressão $610,5\text{ Pa}$ ($4,58\text{ mmHg}$) capaz de atingir os três estados físicos da matéria. Quando submetida a temperatura e pressão mais baixas do que a do seu ponto triplo, a água não consegue atingir a fase líquida, essa questão é levada em consideração no processo de liofilização, realizado em pressão inferior.

Figura 1- Fases da água e ponto triplo



Fonte: Adaptado de Oetterer (2006).

Calor pode ser fornecido ao material sobre pressão e temperatura controlada para que a água presente passe do estado sólido para o estado de vapor (BARUFFALDI; OLIVEIRA,

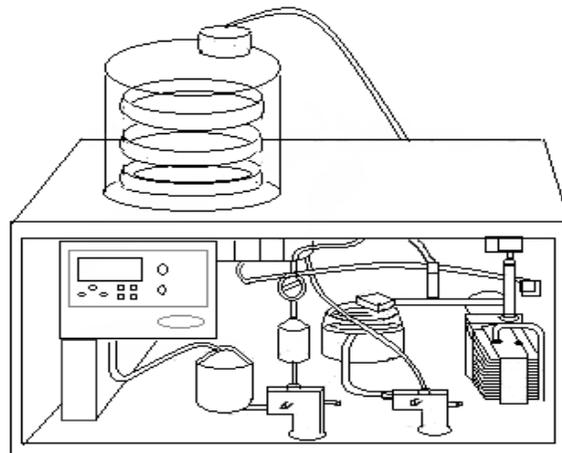
1998). Com o fornecimento de calor, e mantendo constantes as condições, ocorre à emissão de vapores dentro da câmara de secagem, fazendo com que a pressão interna aumente, efeito que pode evitar que a água atinja a sublimação, assim é necessário que esses vapores sejam retirados por meio de um condensador.

É necessário, inicialmente, que ocorra o congelamento da amostra, este deve ser rápido no caso de alimentos vegetais, para formar uma rede de cristais responsáveis por produzir canais que proporcionam a saída do vapor d'água do alimento (FELLOWS, 2006). A secagem pode ser descrita por meio de duas etapas, em que a primeira remove praticamente toda água que foi congelada, através da sublimação, enquanto a segunda, onde parte da água residual que não havia sido congelada é removida através da evaporação (dessorção), dessa forma ao final do processo de secagem a temperatura é elevada até próximo a do ambiente, de modo a ser realizado sempre com pressão reduzida.

O estado vítreo que se forma no congelamento de sucos de frutas e extratos concentrados deve ser evitado, pois torna difícil a retirada de vapor, podendo ser realizado o congelamento dos mesmos na forma de espuma ou com polpa para alcançar as condições necessárias de saída do vapor (FELLOWS, 2006).

O liofilizador é formado de uma bomba de vácuo, câmara de vácuo, sistema de aquecimento do produto, seja por condução ou radiação e condensador para converter o vapor produzido durante a sublimação em gelo (Figura 2) (ORDÓÑEZ, 2005; RODRIGUES, 2008).

Figura 2- Esquema de um liofilizador do laboratório de refrigeração da Universidade Federal do Ceará

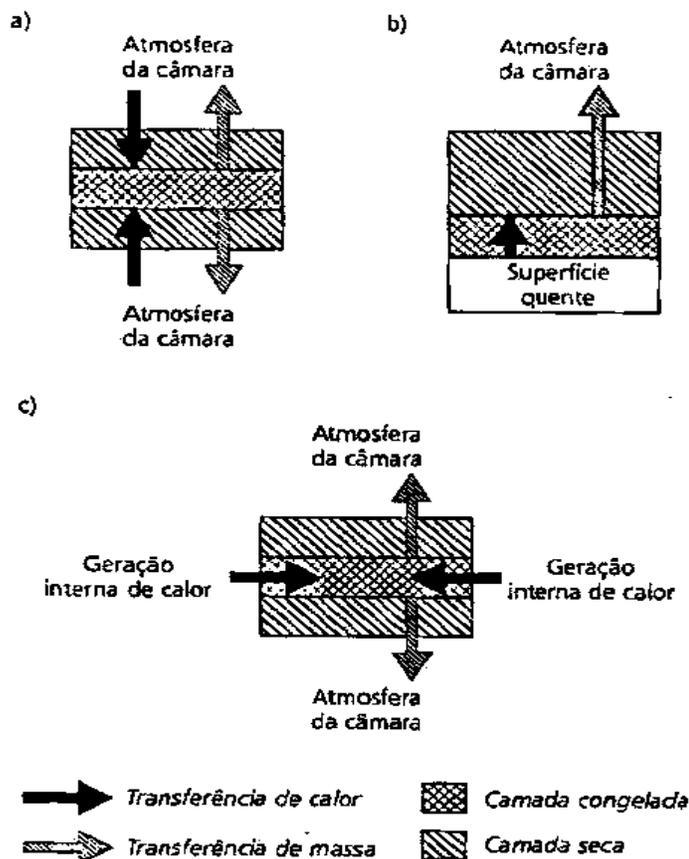


Fonte: Adaptado de Laboratório de Refrigeração (2015).

No processo de secagem ocorre simultaneamente a transferência de calor e transferência de massa (vapor que sai do alimento) durante a sublimação (GARCIA, 2009). Ambas influenciam a temperatura e a umidade no alimento durante a liofilização (RODRIGUES, 2008). A taxa de congelamento influencia a forma de distribuição dos poros no material a ser seco e, dessa forma, a consequente taxa de transferência de massa (VIEIRA; NICOLETI; TELIS, 2012).

O calor latente necessário para que ocorra a sublimação, conduzido através do alimento, tanto pela camada seca como pela congelada ou produzido por microondas (geração interna de calor), sendo necessário levar em consideração a espessura da camada de gelo ou da camada seca do alimento e a condutividade térmica para a velocidade de transferência (Figura 3). O vapor d'água sai do alimento através de poros formados pelo gelo sublimado, e assim, acaba sendo removido (ORDÓÑEZ, 2005).

Figura 3- Transmissão de calor na liofilização: a) pela camada seca; b) pela camada congelada; c) geração interna do calor por microondas



A transferência de calor por meio da camada seca depende da espessura, da área superficial do alimento e da condutividade, essa se encontra muito baixa, oferecendo resistência ao calor, que aumenta à medida que a camada fica mais espessa (Figura 3a) à medida que a secagem ocorre a camada de gelo (espessura) diminui aumentando a transferência de calor e avançando a frente de sublimação (Figura 3b). No aquecimento por microondas a espessura e a condutividade não são relevantes, não sendo eficiente, podendo superaquecer o produto (figura 3c) (FELLOWS, 2006).

Com relação à transferência de massa existem fatores que controlam sua velocidade, como a temperatura máxima ao qual o gelo pode ser submetido, temperatura do condensador e pressão da câmara. Essa transferência ocorre sempre pela camada seca do produto e depende da espessura, área superficial, assim como da permeabilidade e das diferenças de pressões entre a superfície e a frente de congelamento. A permeabilidade e a condutividade estão intimamente influenciadas pela estrutura do alimento (compacto ou poroso) variando de forma inversa (FELLOWS, 2006; GAVA, 2008).

3.3.2 Secagem de polpa de fruta

Existem diversos estudos sobre alternativas para produção de polpas de frutas em pó que buscam melhores técnicas de secagem para aumentar o rendimento da produção de forma a não danificar a qualidade do produto (PONTES JUNIOR *et al.*, 2015).

A secagem é um processo aplicado na indústria de polpas de frutas como uma forma de remover grande parte da água presente e agregar os componentes da matéria-prima, evitando as perdas na pós-colheita, sendo necessário o uso de embalagens adequadas para conservação (GOMES; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2004). Os sucos de frutas e as polpas são constituídos por soluções aquosas com grandes quantidades de carboidratos, como sacarose, glicose e frutose, que representam cerca de 95 % dos sólidos presentes. Essa quantidade de açúcares determina o quão higroscópico é o estado amorfo dos pós obtidos desses alimentos, quando liofilizados (CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005).

O produto em pó obtido de polpa de fruta apresenta muitos nutrientes, fácil solubilidade, podendo ser utilizado para reconstituição de sucos em água, para um ou dois litros, de modo que, não pode ser confundido com os refrescos que apresentam apenas corantes e

aromatizantes artificiais. O suco em pó obtido da desidratação deve possuir, em sua embalagem para a comercialização, que é um suco integral desidratado. E pode ser usado na indústria na elaboração de bebidas, assim como para pastas de frutas e outros produtos (biscoitos e barras de cereais) (FAVERO, 2008).

3.3.3 Adjuvantes de secagem

Durante a elaboração de polpa de frutas em pó, ocorre geralmente adição de adjuvantes de secagem, que realizam um revestimento das partículas evitando a caramelização dos açúcares presentes (ANSELMO *et al.*, 2006). O processo de secagem de matérias-primas que apresentam grandes quantidades de sólidos e açúcares resulta em produtos com alta capacidade de absorver umidade, ou seja, higroscópicos. Portanto, é fundamental a utilização desses adjuvantes, antes do processo de secagem, visando facilitar a desidratação e as operações de transporte e armazenamento (CAI; CORKE, 2000).

Alguns dos adjuvantes utilizados na elaboração de pós alimentícios, objetivando evitar perdas nutricionais, reações com outros agentes, interação com a umidade (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2012) são os carboidratos de alto peso molecular (amidos, maltodextrina, dextranas, etc.), celuloses, gomas, lipídios e proteínas (BARBOSA, 2010).

Esses agentes proporcionam uma barreira física de proteção contra o oxigênio, luz e umidade, evitando reações químicas e destruição enzimática, além de facilitar o manuseio, e a retenção de compostos voláteis responsáveis por caracterizar o sabor e aroma (TANAKA, 2007; TONON; BRABET; HUNBINGER, 2009). Existe uma variedade desses agentes, no entanto a maltodextrina é o mais utilizado, principalmente em produtos com sabor e pigmento sensível (CAI; CORKE, 2000).

As maltodextrinas são produtos convertidos da hidrólise do amido, são utilizados com várias finalidades, entre elas podem proporcionar viscosidade desejável em emulsões, melhorando a textura. Possui uma dextrose equivalente inferior a 20, esse valor em dextrose (DE) é considerado a medida de açúcares redutores presentes no produto em percentagem total da substância. Quanto maior a hidrólise do produto, maior seu teor de DE. Cada maltodextrina possui características físico-químicas diferentes, mesmo possuindo o valor DE igual, esse fato está relacionado com o procedimento de hidrólise, o tipo de origem botânica do amido (milho,

batata, arroz), além de sua composição em amilose – amilopectina, etc (DOKIC-BAUCAL; DOKIC; JAKOVLJEVIC, 2004).

Silva *et al.* (2013) avaliaram os efeitos do uso de diferentes agentes como a maltodextrina e goma arábica na obtenção de pós de frutas com alta retenção de compostos como as antocianinas. Houve mínima perda de cor, além de melhores características físico-químicas, como acidez e pH, além de diminuição da capacidade higroscópica destes, evitando problemas no produto final.

Dokic-baucal; Dokic; Jakovljevic (2004) observaram, em estudo com uso de diferentes maltodextrinas, que o valor de sua DE, que significa a medida do grau hidrólise de amido, ou seja, o tamanho das moléculas de maltodextrina podem influenciar as características de dispersão e propriedades de viscosidade e estabilidade das emulsões. Enquanto que Sierra; Rosa; Gabas (2013) realizaram a comparação do uso de maltodextrina com valores de (DE) diferentes. Assim a maltodextrina 20 DE (dextrose equivalente) mostrou melhores resultados quanto aos parâmetros de umidade, cor, grau de aglomeração, higroscopicidade. Não houve diferenças nas características sensoriais do pó produzido em relação à maltodextrina 10 DE.

Oliveira; Costa; Afonso (2014) obtiveram a diminuição da higroscopicidade, do grau de *caking* e aumento do conteúdo de água na monocamada, obtendo um pó mais estável, adicionando uma concentração maior de maltodextrina à polpa de cajá. No entanto, Rodrigues *et al.* (2014), ao utilizar diferentes concentrações de maltodextrina, obtiveram bons resultados quanto a luminosidade e diminuição da acidez do produto, mais não houve diminuição significativa da umidade e da higroscopicidade.

3.3.4 Características dos alimentos em pó

Produtos desidratados em pó apresentam uma extensa aplicação em diversas formulações alimentícias, utilizados no processo de adição e mistura em escala industrial, possuem um elevado teor de sólidos solúveis e um estado vítreo, tornando-os susceptíveis a absorção de umidade (higroscópicos) e as mudanças físicas indesejadas ao produto (FELLOWS, 2006). Os pós alimentícios possuem vantagens de serem mais facilmente usados, estão sujeitos a menos danos térmicos, e têm relativa vida de prateleira (XU; PEGG; KERR, 2015). Conhecer as

propriedades, química e físico-química dos alimentos se torna essencial para aperfeiçoar processos, torna-los funcionais e reduzir custos (SANTANA, 2013).

Quando se trata dos pós produzidos ou utilizados nas indústrias, seja farmacêutica, alimentícia, entre outras, as principais propriedades são físicas forma da partícula, densidade, porosidade, características superficiais, dureza, pegajosidade, fluidez, tamanho e diâmetro médio das partículas, já a propriedades químicas leva-se em consideração a composição do alimento e suas interações com outras substâncias, como solventes (água) ou outros componentes do meio (BARBOSA- CÁNOVAS; JULIANO, 2005).

O estado amorfo (vítreo) ocorre pela rápida retirada de água do material, não apresenta estabilidade nem equilíbrio, influenciando nas características do produto desidratado, como formação de aglomerados em pó e o fenômeno de *caking* (BARBOSA, 2010). O grau de *caking* é um fenômeno que envolve o pó de fluxo livre que se transforma em aglomerados, depois em um aglomerado sólido e no final num material pegajoso, capaz de inutilizar o pó e reduzir sua qualidade. Pode ser formado também pela recristalização, sendo resultado do aumento da umidade de equilíbrio (AGUILERA *et al.*, 1995).

Os pós possuem alta higroscopicidade, dessa forma apresenta dificuldade de utilização do produto provocada pela alta afinidade por água e em razão da sua composição complexa (CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005).

Levando-se em consideração que os pós de frutas apresentam muitos açúcares como glicose, sacarose e frutose, estes apresentam fortes interações com a molécula de água por apresentarem características polares, tornando-se mais fácil a aglomeração dos mesmos num ambiente de umidade relativa mais alta (JAI; DAS, 2004).

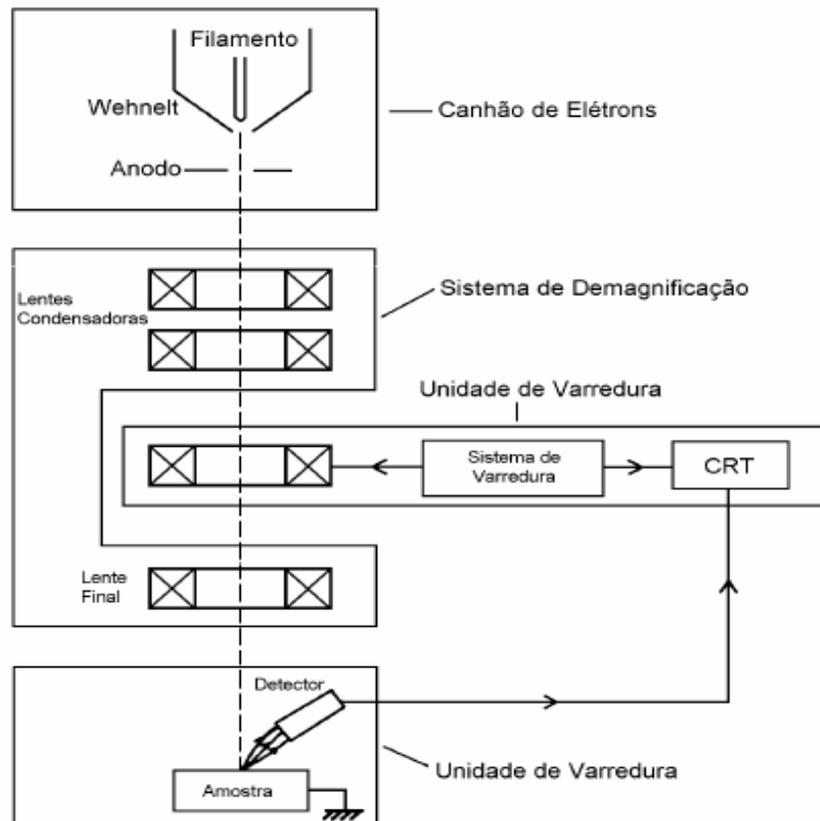
Uma característica importante a ser considerada quando se trata de alimentos em pó é a capacidade de reidratação de produtos secos como uma forma de caracterizar a qualidade dos produtos que serão reconstituídos, assim deve ocorrer rápida absorção e, em maior volume possível de água, aumentando o rendimento dos produtos. Ocorrem três etapas ao mesmo tempo, que são a embebição do material seco em água, o inchaço dos componentes hidrofílicos pela absorção do solvente e a lixiviação de sólidos solúveis; absorção de água é maior durante a fase inicial, depois diminui gradualmente, se aproximando do equilíbrio, com o preenchimento de quase todos os poros, e recuperação de uma percentagem considerável do seu teor de umidade (SOUZA *et al.*, 2011).

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

Diversos foram os avanços realizados no campo da pesquisa na visualização das microestruturas de partículas, chegando hoje a fornecer informações preciosas nas mais diversas linhas de trabalho.

Segundo Maliska (2012) o microscópio eletrônico de varredura – MEV possui elementos essenciais para a realização das análises, apresentando coluna composta por um canhão de elétrons, sistema de demagnificação e unidade de varredura, como pode ser visualizado na Figura 4. O canhão de elétrons é responsável pela produção do feixe de elétrons, captado pelos detectores, o qual é demagnificado por várias lentes eletromagnéticas com o objetivo de produzir um feixe de elétrons focado com um pequeno diâmetro numa determinada região da amostra (MALISKA, 2012).

Figura 4- Microscopia Eletrônica de Varredura



Fonte: Maliska (2012).

Conforme Dedavid *et al.* (2007) o MEV apresenta uma alta resolução de suas imagens sendo um instrumento bastante versátil, alcançando resoluções menores do que 1 nm, podendo obter imagens tridimensionais, mostrando o quanto o equipamento é eficiente. O princípio de funcionamento do mesmo é através dos feixes de elétrons produzidos, como mencionado anteriormente, que acaba explorando a superfície da amostra de forma que o detector incide na tela catódica sinal fazendo uma varredura sincronizada ao feixe incidente.

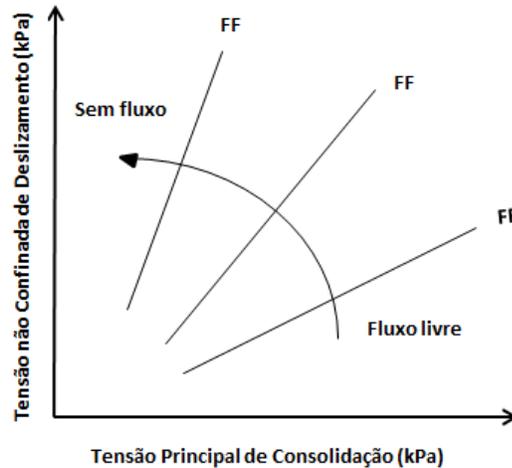
Por meio do sistema de bobinas de deflexão, o feixe é conduzido de modo a varrer a superfície da amostra segundo uma malha retangular. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra. O sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor, permitindo a observação. O feixe passa por lentes condensadoras e pela lente objetiva. Assim a formação de imagens do MEV depende da aquisição de sinais produzidos pela interação entre o feixe de elétrons e a amostra.

3.5 Propriedades reológicas do pó

As propriedades de escoamento dos pós são essenciais para se conhecer as melhores formas de armazenamento dos produtos (FIZTPATRICK *et al.*, 2004). A fluidez é um parâmetro importante que determina como o processador ou consumidor vai interagir com um produto em pó. De forma que pós muito coesos podem ser problemáticos durante a formulação (THALBERG *et al.*, 2004). Os pós que não fluem bem podem ser mal vistos pelos consumidores, sendo que a fluidez depende do tamanho das partículas, da densidade e também das forças coesivas entre as partículas (XU; PEGG; KERR, 2015).

Conforme Lopes Neto *et al.* (2009) o produto possui uma função de fluxo, e a partir do uso de uma célula de cisalhamento, pode-se obter os dados da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) sobre tensão principal de consolidação (σ_1), que são utilizadas de forma gráfica, podem representar as condições do produto com relação a sua fluidez, de forma que se pode classifica-lo como sendo: sem fluxo, muito coesivo, coesivo, fácil fluxo e de fluxo livre, dependendo da posição da reta gerada. O gráfico da função de fluxo (Figura 5) apresenta as condições do produto com relação a sua fluidez, de forma que a reta para a horizontal significa que o mesmo possui fluxo livre e vertical seguindo sentido anti-horário sem fluxo.

Figura 5- Função de fluxo (FF) de um produto



Fonte: Adaptado de Lopes Neto *et al.* (2007).

A classificação de Jenike (Tabela 2), é baseada no índice de fluxo, obtido através das médias entre as tensões não confinada de deslizamento e principal de consolidação (Equação 1), determinando o tipo de fluxo do produto (LOPES NETO *et al.*, 2009; MEIRA *et al.*, 2014).

$$ffc = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (1)$$

Onde:

ffc - índice de fluxo do pó;

σ_1 - valor médio da tensão principal de consolidação (kPa);

σ_c - valor médio da tensão não confinada de deslizamento (kPa).

Tabela 2- Classificação do tipo de fluxo de produtos sólidos armazenáveis

Tipo de fluxo	Índice de Fluxo - ffc
Sem fluxo	$ffc < 1$
Muito coesivo	$1 < ffc < 2$
Coesivo	$2 < ffc < 4$
Fácil	$4 < ffc < 10$
Livre	$ffc > 10$

Fonte: Jenike (1964).

Segundo Medeiros (2012) com as tensões principais de consolidação e tensão não confinada de deslizamento sobre um produto armazenado diante de uma condição de consolidação é construído os círculos de Mohr, e a reta formada que tangencia todos os círculos é denominada lugar geométrico de deslizamento do produto e o seu ângulo de inclinação é chamado ângulo de atrito interno do produto (\emptyset). No entanto, se um produto não é de fluxo livre, a reta obtida não passa pela origem, nesse caso a reta que tangencia o círculo de Mohr definido pela maior e menor tensão principal, passa a ser denominado agora lugar geométrico efetivo de deslizamento e de ângulo efetivo de atrito interno (δ).

Oliveira *et al.* (2014) relatam que quanto menor for o ângulo efetivo de atrito interno (δ) formado entre as partículas menor é a resistência do material ao deslizamento. Isso também acontece para o ângulo de fricção da parede, sendo a relação deste até mais importante do que o ângulo formado pelas interações entre as partículas, o mesmo representa a resistência adesiva do pó e do material da parede aonde ele se encontra, quanto maior é o valor desse ângulo mais difícil é o escoamento do pó ao longo da superfície da parede (FIZTPATRICK *et al.*, 2004).

3.6 Isotermas de sorção

A umidade de equilíbrio é alcançada quando o alimento é exposto por um determinado período a uma temperatura e umidade relativa do ar que o cerca, fazendo com que a pressão de vapor da água na superfície do produto seja igual à pressão de vapor da água no ar (CELESTINO, 2010). Para se conhecer de forma experimental a umidade de equilíbrio deve-se ter um ambiente com umidade relativa controlada. Esse método é feito utilizando compostos químicos (soluções de sais). Cada uma dessas substâncias possui um grau de ajuste de umidade relativa variando-se a concentração a diferentes temperaturas (PARK; BIN; BROD, 2001).

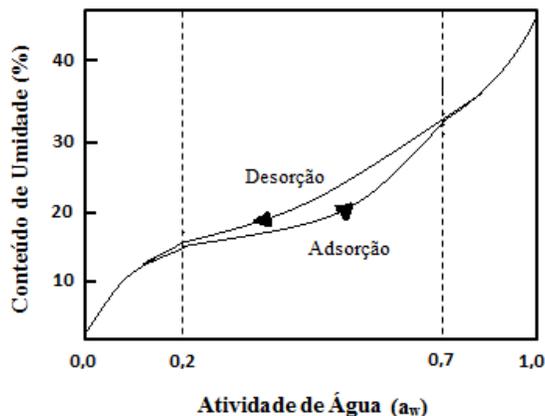
Dados obtidos de experimentos da umidade de equilíbrio em função de diferentes umidades relativas do ambiente a uma dada temperatura podem ser utilizados através de cálculos matemáticos para obtenção das curvas chamadas de isotermas de sorção ou curvas de equilíbrio higroscópico (REZENDE *et al.*, 2006; CELESTINO, 2010). Importantes na determinação da conservação dos alimentos desidratados e estabelecendo o teor de umidade que estabiliza o produto, de modo que o conhecimento destas curvas de sorção mostra a disponibilidade de água

no produto final, que pode favorecer ou não o crescimento de micro-organismos e possibilitar o acontecimento de outras reações que danifiquem o produto (COSTA, 1989; PARK *et al.*, 2008).

O processo de sorção d'água nos alimentos é complexo e depende de muitos fatores, estando intimamente relacionada com as características inerente ao alimento, assim como ao ambiente ao qual ele está exposto. Sendo assim, a taxa de vapor d'água do alimento para o ambiente e vice-versa, depende do teor de umidade, dos componentes do alimento, da temperatura e umidade do ar, fazendo com que cada alimento apresente uma isoterma específica (JARDIM; GERMER, 1997).

Existem duas formas de se apresentar a curva de uma isoterma, a primeira é a isoterma de adsorção, obtida quando um alimento seco é colocado à exposição de atmosferas a certa umidade relativa, onde posteriormente é medido o ganho de água no material. Já a isoterma de desorção é obtida quando o alimento ainda úmido é colocado sob as mesmas condições citadas anteriormente, agora é medida a diminuição de peso do alimento provocada pela perda de água. Quando estas curvas não coincidem, a diferença entre elas é conhecida como o fenômeno de histerese (Figura 6) (PARK *et al.*, 2008).

Figura 6- Histerese das isotermas de sorção



Fonte: Adaptado de Park ; Nogueira (1992).

Diversos modelos de ajuste de isotemas de sorção já foram propostos por vários autores, estes descrevem o comportamento das isotermas, sendo úteis no conhecimento das características do produto (PARK; BIN; BROD, 2001). Esses modelos permitem a obtenção de pontos nas regiões de baixa ou alta atividade de água, mesmo esses de difícil determinação. De

forma que não existe apenas uma equação que possa descrever todas as isotermas dos alimentos, pois a atividade de água é influenciada pela composição do alimento e da interação de todos esses constituintes com a água em condições de equilíbrio (OLIVEIRA; COSTA; AFONSO, 2014a). Modelos matemáticos mais utilizados para isotermas de adsorção destacam-se:

3.6.1 Modelo BET

Langmuir propôs um modelo matemático em 1918 para descrever as isotermas baseado nas propriedades físicas da matéria, partindo do pressuposto de que havia uma relação entre os gases de adsorção e as superfícies adsorvíveis, ou seja, a mesma taxa em que elas se adsorvem elas também se evaporam (ALMEIDA; FONSECA; GOUVEIA, 1999, PARK *et al.*, 2008) anos depois um novo modelo baseado na propriedade de adsorção foi criado por Brunauer, Emmet e Teller, chamada de BET (Equação 2) levando-se em consideração os estudos de Langmuir. Esse modelo descreve a forma de sorção de água através de camadas de vapor ou gases na superfície do alimento (PRADO, 1998; PARK *et al.*, 2008).

$$Xe = \frac{Xm \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad (2)$$

Onde:

n - número da camada molecular da água;

a_w - atividade de água;

C - $B \exp (H_1 - H_L) / RT$

B - coeficiente que engloba as energias de policamadas moleculares;

H_1 - calor de adsorção da primeira camada;

H_L - calor de liquefação;

R - constante universal de gases;

T - temperatura absoluta.

É importante ressaltar que essa equação apresenta duas características peculiares, quando o $n = 1$ a equação fica idêntica à proposta por Lungmuir e quando n tende ao infinito a

equação tende a linearização de BET (Equação 3), de forma que os próprios autores da equação acreditavam que $n = 1$ representaria a região com baixa atividade de água, $a_w < 0,35$, enquanto que $n = \infty$ seria a de alta atividade de água segundo Park *et al.* (2008):

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot X_0} = \frac{1}{X_m \cdot C} + \frac{a_w(C - 1)}{X_m \cdot C} \quad (3)$$

Sugerem que o caso de $n = 1$ corresponderia à região de baixa atividade de água, $a_w < 0,35$, e o caso de $n = \infty$ corresponderia a de alta atividade de água.

3.6.2 Modelo GAB

É um modelo criado por Guggenheim, Anderson e Boer determinada como GAB (Equação 4), ampliando o que já havia sido fundamentado na teoria de BET, estes descreveram uma equação composta por três parâmetros de forma a permitir um bom ajuste aos dados de sorção de produtos com ampla atividade de água 0,1- 0,9 (PRADO, 1998).

Para Prado *et al.* (1999) relacionam C e K como constantes de adsorção que mostram às interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as posteriores a ela, em um determinado sítio de sorção. Essa equação pode ser reduzida a de BET quando a constante K (constante) for igual à unidade (PRADO, 1998). Conforme Vieira; Figueirêdo; Queiroz, (2007) a determinação dos valores da monocamada (X_m) obtidos através do modelo de GAB, pode prever a quantidade de umidade que proporciona uma armazenagem segura, permitindo uma alta estabilidade, sendo menos sujeito a alterações que venham a comprometer o produto.

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (4)$$

Onde:

X_e - conteúdo de umidade de equilíbrio, kg kg^{-1} ;

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, kg kg^{-1} ;

a_w - atividade de água;

C e K - constantes de ajustes do modelo.

3.6.3 Modelo HENDERSON

Segundo Bezerra (2009) é um modelo empírico proposto por Henderson em 1952, que utiliza as constantes de sorção a e b , é um dos modelos mais utilizados para ajuste das isotermas dos alimentos, pois apresenta um bom ajuste aos dados de produtos com atividade de água de 0,10 – 0,75 representado pela Equação 5.

$$Xe = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad (5)$$

Onde:

Xe - umidade de equilíbrio (g/g), base seca;

a_w - atividade de água;

n - número de camadas moleculares;

a, b - constantes de ajustes dos modelos.

3.6.4 Modelo OSWIN

É uma Equação (6) composta de dois parâmetros e através destes é possível descobrir o equilíbrio higroscópico dos materiais biológicos, possui vantagens sobre outros modelos como o de BET e GAB, e é utilizado para analisar isotermas de sorção de diversos alimentos (ALMEIDA; FONSECA; GOUVEIA, 1999; PARK; BIN; BROD, 2001).

$$Xe = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b \quad (6)$$

Onde:

a_w - atividade de água;

Xe - umidade de equilíbrio (g/g), base seca;

a, b - constantes de ajustes dos modelos.

4 MATERIAL E METODOS

4.1 Obtenção da polpa de manga

Para a realização da pesquisa, foram utilizadas mangas cultivar Tommy Atkins, cedida pela Embrapa Agroindústria Tropical Fortaleza - CE. As frutas passaram pelo processo de higienização com solução clorada (100 ppm), em seguida foram despulpadas em despulpadora da marca Bonina 0.25 df empresa ITAMETAL. As polpas obtidas foram então acondicionadas em sacos de polietileno seladas e armazenadas sob congelamento a -18 °C até o início das análises.

Para o processo de formulação e realização das análises, as polpas foram descongeladas sob temperatura de refrigeração. Foi utilizada, como adjuvante de secagem na formulação da polpa de manga, a maltodextrina com dextrose equivalente (DE 20), adquirida no comércio local de Fortaleza – CE.

4.2 Caracterização físico-química da polpa de manga integral

No Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da Universidade Federal do Ceará foram realizadas as análises físico-químicas das amostras. Os resultados em triplicata foram expressos através da média e desvio padrão.

4.2.1 pH

Seguindo as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando potenciômetro, soluções padrão de pH 4,1 e 7,0. Foi realizada uma diluição de 1 g da amostra, em pó, em 10 mL de H₂O destilada.

4.2.2 Umidade

Foi determinada em balança de diferença de umidade Marte modelo ID50 programada para aquecimento a 105 °C, e por tempo de aproximadamente 20 min, para amostra líquida (polpa) e de 5 min para amostra em pó. As amostras foram colocadas em cápsulas de

alumínio, com massas previamente pesadas de aproximadamente 1 g, mantendo-se na balança até a estabilidade da pesagem.

4.2.3 Acidez total titulável

Foi determinada segundo normas do Instituto Adolfo Lutz (2008) por meio do método titulométrico, utilizando 1 g da amostra, solução padrão de NaOH (0,1 N) e fenolftaleína (1 %) como indicador, o cálculo da acidez foi realizado usando o fator do ácido cítrico.

4.2.4 Açúcares redutores, não-redutores e totais

Utilizando o método do DNS (3,5-Dinitrosalicílico), descrito por Miller (1959). Foram determinados os valores de açúcares redutores e açúcares totais. Primeiro foi realizado a obtenção da curva padrão utilizando solução de glicose e o reagente DNS, após essa etapa foi obtida a equação da reta, utilizada para se chegar aos valores de açúcares totais e redutores, após três etapas.

4.2.5 Sólidos solúveis totais

Através da refratometria, método usado para frutas e seus produtos, seguindo normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008), com leitura direta da solução contendo 1 g do pó diluído em 10 mL de H₂O destilada em refratômetro INSTRUTEMP index 1 3330 - 1.4098, o cálculo dos sólidos solúveis foi realizado utilizando o valor determinado multiplicado pelo valor da diluição, os resultados foram expressos em °Brix.

4.2.6 Cor

A determinação dos parâmetros colorimétricos de L* (luminosidade), a* (intensidade de verde) e b* (intensidade de amarelo) foi realizada usando colorímetro Konica Minolta spectrophotometer modelo CR410, através da escala CIE L*a*b*. Com o iluminante D65 e um ângulo de observação 10°.

4.2.7 Ácido ascórbico

Foi realizado conforme o método de Tillman (STROHECKER; HENNING, 1967). Utilizando 2 g da amostra, diluída em ácido oxálico (0,5 %) em becker, transferido para balão volumétrico (100 mL) e aferido com ácido oxálico (0,5 %). Em seguida 5 mL dessa solução foi transferida para um erlenmeyer com 45 mL de água destilada. A titulação foi feita com o 2,6 dicloro-fenol indofenol - DFI (0,02 %) até atingir coloração rósea. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de produto.

4.2.8 Carotenoides Totais

Segundo a metodologia de Rugby (1962), foram pesados 10 g de polpa (5 g para pó), e diluídos em 30 mL de álcool isopropílico e 10 mL de hexano, homogeneizando por 1 min. A mistura foi transferida para funil de separação de 125 mL, coberto em papel alumínio, sendo o conteúdo do funil completado com água destilada e levado para repouso por 30 min. Em seguida, foi realizada a lavagem da fase aquosa, deixando apenas a fase de cor amarela.

Após 3 descansos de 30 minutos cada, foi filtrado todo o conteúdo em um algodão pulverizado com sulfato de sódio anidro (p.a. para um balão de cor âmbar de 50 mL), assim todo o resíduo amarelo do algodão foi filtrado com hexano e adicionado de 5 mL de acetona, sendo transferido para balão com hexano e aferido. O branco foi feito com 45 mL de hexano e 5 mL de acetona e lido em espectrômetro sob o comprimento de onda de 450 nm. O cálculo foi realizado por meio da Equação 7:

$$\text{Carotenoides totais (mg/100g)} = \frac{(A_{450} \cdot 50)}{125 \cdot \frac{P}{V}} \quad (7)$$

Onde:

A_{450} = absorvância;

P = peso da amostra (g);

V = volume do balão utilizado (mL).

4.2.9 Atividade de água

A atividade de água das amostras foi determinada na temperatura de 25 °C utilizando o equipamento Decagon Devices (Pullman, Washington, EUA), modelo Aqualab 4TE, que determina o resultado pelo ponto de orvalho com controle interno da temperatura da amostra.

4.2.10 Compostos fenólicos

Utilizou-se a metodologia de Larrauri *et al.* (1997), sendo elaborado algumas soluções, como álcool, acetona, Folin Ciocalteu, carbonado de sódio anidro a 20 %, ácido gálico, assim como uma curva padrão, usando ácido gálico, nas concentrações de 0,1 a 0,5 mL.

A princípio, foram utilizadas 3, 5 e 7 g de polpa de fruta, e alíquotas de 0,1; 0,3 e 0,5 mL para determinar qual teria absorvância próxima ao valor mediano da curva padrão de ácido gálico, identificando a concentração de 5 g e alíquota de 0,3 mL. A partir da absorvância e utilizando a equação da reta obtida na curva, determinou-se a concentração das amostras. O resultado foi expresso em mg de GAE (equivalente em ácido gálico)/100 g, através da Equação 8:

$$mg\ de\ \frac{GAE}{100g} = res\ 1\ \left(\frac{peso \cdot alíquota\ de\ leitura}{volume\ do\ balão} \right) \cdot 1000 = \left(\frac{100 \cdot concentração}{res\ 1} \right) \quad (8)$$

4.3 Secagem de polpa de manga

Antes da realização da secagem, as polpas foram descongeladas sob temperatura de refrigeração e formuladas com adição de maltodextrina (DE 20), obtida do comércio local de Fortaleza – CE, em porções de 620g (polpa + maltodextrina), utilizando um agitador de soluções (TE – 120 TURATEC) por 3,30 min à 5 rpm. Após as formulações, as amostras foram colocadas em bandejas metálicas, sendo submetidas ao congelamento a -38 °C utilizando ultra freezer da empresa Terroni modelo CL90 – 40V.

As amostras congeladas foram liofilizadas através do liofilizador da empresa Terroni modelo LS 3000. A polpa de manga desidratada foi removida das bandejas através de raspagem e submetida à moagem em moinho de bancada MA 048, empresa Marconi, para a obtenção do

produto em pó. Os pós obtidos foram pesados em uma balança semi-analítica SHIMADZU AY220 e em seguida, acondicionados em embalagens laminadas. As análises foram realizadas no mesmo dia de obtenção do produto.

Para determinar a melhor condição de secagem foi realizado um planejamento experimental do tipo fatorial completo de dois níveis 2^2 , com variação do tempo de liofilização e concentração de maltodextrina (m/m), sendo admitidos como variáveis independentes, apresentando pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$), conforme apresentado na Tabela 3. Como variáveis respostas foram analisados no pó: umidade, higroscopicidade, rendimento do processo (liofilização), teor de ácido ascórbico, solubilidade e cor (L^* , a^* , b^*).

Tabela 3 – Planejamento fatorial completo 2^2 para a secagem de polpa de manga Tommy Atkins em Liofilizador

Variáveis	Níveis					
	Código	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Tempo de Secagem (min)	X ₁	16,9	19	24	29	31,1
Concentração do Agente de secagem (%)	X ₂	2,9	5	10	15	17,1

Foram realizados 11 ensaios, sendo quatro ensaios fatoriais (combinações entre os níveis ± 1), três centrais (duas variáveis independentes no nível 0) e quatro axiais (uma variável independente no nível $\pm \alpha$ e outra em 0) de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Planejamento dos experimentos para a secagem de polpa de manga Tommy Atkins em Liofilizador

Ensaio	Tempo de secagem (h) – X ₁	Concentração do agente de secagem (%) – X ₂	Tempo de liofilização (h)	Maltodextrina (%)
1	+1	+1	29	15
2	-1	+1	19	15
3	+1	-1	29	5
4	-1	-1	19	5
5	0	0	24	10
6	0	0	24	10
7	0	0	24	10
8	-1,41	0	16,9	10
9	1,41	0	31,1	10
10	0	-1,41	24	2,9
11	0	1,41	24	17,1

Os efeitos da concentração (%) de maltodextrina e tempo de liofilização sobre as variáveis respostas foram estudados, através do planejamento. Os resultados foram avaliados por meio do programa Statistica versão 7.0, através dos modelos de regressão.

Para avaliar o processo de secagem (capacidade de retirar água do produto), foi realizado o rendimento de cada ensaio, através dos valores de sólidos que entrava no sistema e os sólidos obtidos ao final.

4.3.1 Rendimento

Foi calculado através da divisão entre a massa dos sólidos do pó coletada ao final da secagem e a massa de sólidos da amostra inicial. Foi utilizada a Equação 9:

$$R = \frac{X}{X_a} \cdot 100 \quad (9)$$

Onde:

R = rendimento (%);

X = massa dos sólidos do pó obtido (g);

X_a = massa dos sólidos da amostra (g).

4.4 Caracterização da polpa de manga liofilizada

A avaliação das amostras em pó da polpa de manga obtidas em liofilizador, a partir da melhor condição de secagem determinada no planejamento experimental, foi realizada por meio das análises descritas para polpa integral: umidade, atividade de água, pH, acidez total titulável, açúcares redutores e totais, sólidos solúveis totais, concentração de ácido ascórbico, cor (L^* , a^* , b^*), carotenoides e compostos fenólicos (item 4.2), além das descritas a seguir:

4.4.1 Higroscopicidade

Determinou-se pesando 1 g de pó, posteriormente espalhado de forma uniforme sobre uma placa de Petri e colocado em dessecador por 90 min à 24 °C e umidade relativa de 75 % (solução saturada com NaCl), conforme Goula; Adamopoulos (2008). Os resultados foram expressos em g de água adsorvida por 100 g de sólidos secos.

4.4.2 Grau de caking

Foi obtido após determinar a higroscopicidade, levando-se a amostra úmida à estufa (105 °C) por 2 horas. Após esse período, a amostra foi resfriada em dessecador, sendo novamente pesada e transferida para peneira 500 µm (35 *meshs*), onde foi agitada por 5 min em agitador de peneiras eletromagnético. O pó retido na peneira foi pesado e o grau de *caking* calculado. De acordo com Goula; Adamopoulos (2008), conforme mostrado na Equação 10:

$$GC = \frac{100 \cdot a}{b} \quad (10)$$

Onde:

GC - representa o grau de *caking* (%) da amostra;

a - massa do pó que ficou retido na peneira (g);

b - massa inicial de pó utilizado na peneiração (g).

4.4.3 Solubilidade

Utilizando o método de Eastman e Moore (1984), adaptado por Cano-Chauca *et al.* (2005), foi determinado a solubilidade, o qual foi adicionado 1 g do pó da amostra em 100 mL de água destilada, sofrendo agitação por 5 min em agitador magnético com velocidade de 2000 rpm.

Após isso, a solução centrifugada a 3000 rpm por mais 5 min, desta solução foi retirada uma alíquota de 25 mL e colocada em uma placa de Petri, previamente tarada e pesada, assim foi realizada a secagem em estufa a 105 °C por 5 h. O resultado foi obtido através da Equação 11:

$$S = \frac{Y}{X} \cdot 100 \quad (11)$$

Onde:

S – solubilidade (%);

X – massa da amostra, em base seca (g);

Y – massa da amostra solubilizada e seca (g).

4.5 Análises físicas do pó

4.5.1 *Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)*

Foi realizada no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará – UFC, por meio de microscópio eletrônico de varredura – MEV (Quanta FEG 450) nas resoluções 100, 50 e 20 μm . As amostras dos pós utilizados foram adicionadas de 5, 10 e 15 % de maltodextrina, amostra controle (sem maltodextrina) e da maltodextrina pura. Essas concentrações foram utilizadas, como uma forma de avaliar o uso da maltodextrina como adjuvante de secagem, na microestrutura das partículas dos pós de manga.

O material foi colocado sobre fita adesiva dupla face, e fixados em suporte metálico. A placa metálica com os pós foi recoberta com platina e ouro em metalizadora (Quorum Q 1550T ES) e operada a 5m e 10 kV, fornecendo uma cobertura de aproximadamente 25 μm .

4.5.2 *Fluidez, densidade aparente, ângulos efetivo de atrito interno e atrito com a parede*

No estudo das propriedades físicas da polpa de manga em pó obtida na secagem em liofilizador, foram realizadas análises em amostras de pós de manga adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina, respectivamente, como uma forma de comparação dos pós utilizando concentrações diferentes de maltodextrina, portanto não foi realizado com uma amostra controle (sem maltodextrina). Para realização das análises as amostras foram colocadas, separadamente, no equipamento Powder Flow Test (PFT) da empresa Brookfield.

Para a determinação do ângulo de atrito com a parede (θ_w), utilizou-se uma placa de aço lisa, por ser um material de grande utilização na construção de silos para armazenamento de

alimentos em pó. Foi utilizado, para determinar os índices de fluxo (ff_c), a Equação 1. Os dados foram coletados através do software do fabricante e então analisados.

4.6 Determinação das isotermas de adsorção dos pós

Utilizou-se um método gravimétrico estático para obtenção das isotermas de adsorção dos pós obtidos adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina, respectivamente, como uma forma de comparação dos pós utilizando concentrações diferentes de maltodextrina, portanto não foi realizado com uma amostra controle (sem maltodextrina).

As amostras, em triplicata, com 1 g dos pós de manga foram colocadas em cadinhos e encaminhadas para células de vidro (ambiente fechado) contendo soluções salinas saturadas com umidade conhecida (Tabela 5), estas células foram colocadas em estufa B. O. D em temperaturas de 25 e 35 °C. Essas temperaturas foram utilizadas para simularem possíveis temperaturas de armazenamento em condições reais de estocagem.

Tabela 5 – Atividade de água das soluções salinas saturadas

Soluções Salinas	Atividade de água (a_w)
CH ₃ COOK	0,21
K ₂ CO ₃	0,44
NaBr	0,58
SnCl ₂	0,76
KCl	0,84
BaCl ₂	0,90

Fonte: Greespan (1977).

As amostras permaneceram a cada temperatura até atingirem o equilíbrio, ou seja, até que houvesse < 1% de variação de massa, detectada através de pesagem numa balança analítica. As pesagens foram realizadas a cada 24 horas até atingirem o equilíbrio. As massas das amostras foram medidas antes e depois do equilíbrio, para que fosse determinada a umidade de equilíbrio (X_o) usando-se a Equação 12.

$$X_o = \frac{m_{eq} \cdot m_s}{m_s} \quad (12)$$

Onde:

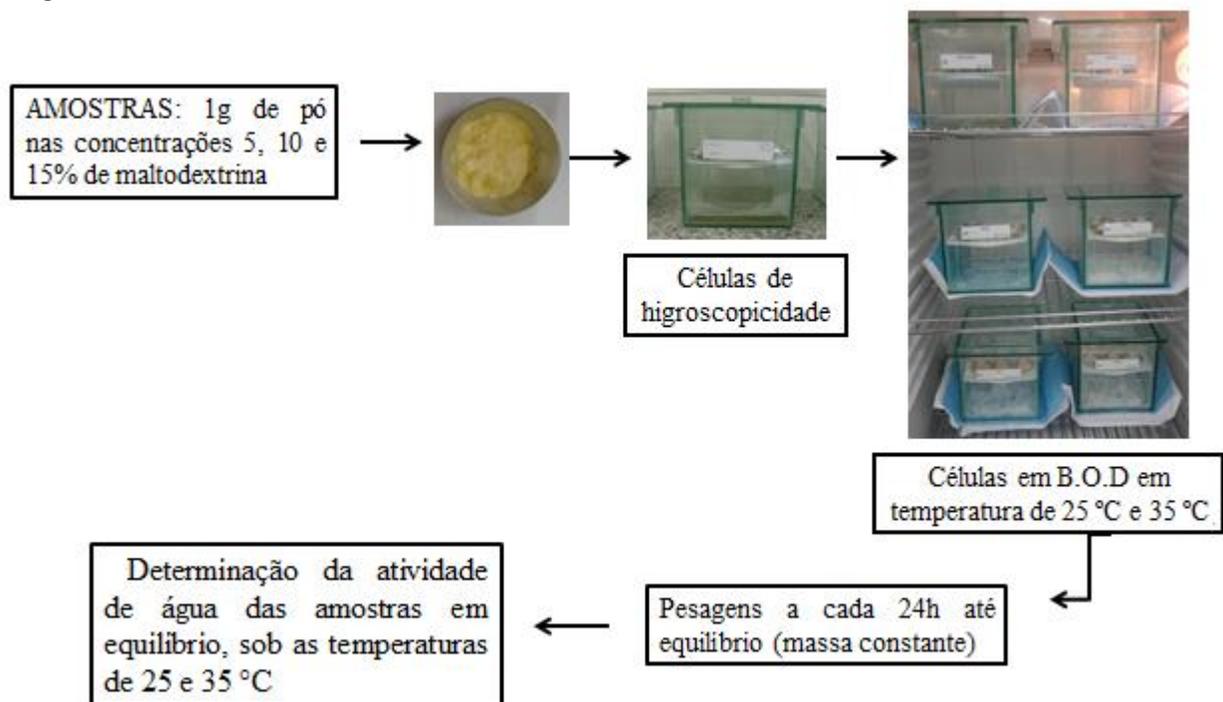
X_o - umidade de equilíbrio (g/g);

m_{eq} - massa de água em equilíbrio (g);

m_s - massa seca da amostra (g).

Após equilíbrio (Figura 7), a atividade de água foi medida através do aqualab modelo 4TEV. Com os dados da umidade de equilíbrio e atividade de água determinados, foi possível ajustar um modelo matemático que melhor descrevesse as isotermas do pó.

Figura 7 - Fluxograma da análise de determinação das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizado



Os modelos matemáticos que foram testados pelo Statistica versão 7.0 de ajustes são: GAB, BET, HENDERSON e Oswin representados pelas equações da Tabela 6. Nas avaliações dos modelos ajustados foram utilizados os coeficientes de correlação entre as respostas

observadas e as previstas pelos modelos, além do desvio médio relativo (E) (média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e previstos) Equação 13 (KUROZAWA *et al.*, 2005):

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - Mp_i)|}{M_i} \quad (131)$$

Onde:

E - erro médio relativo (%);

M_i - valor experimental;

Mp_i - valores previstos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

Tabela 6 – Modelos matemáticos que foram testados para avaliar qual deles melhor se ajusta para descrever os dados experimentais das isotermas de adsorção

Modelo	Equações
GAB	$Xe = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
BET	$Xe = \frac{Xm \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$
HENDERSON	$Xe = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}}$
OSWIN	$Xe = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$

a_w - atividade de água (adimensional); X_e - umidade de equilíbrio (g/g), base seca; n - número de camadas moleculares; X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, (g/g); a, b - constantes de ajustes dos modelos; C, K - constantes de sorção.

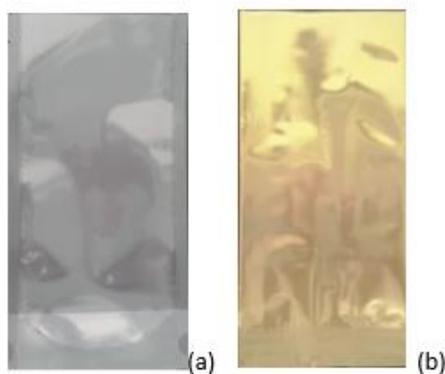
Fonte: Greespan (1997).

4.7 Avaliação da estabilidade dos pós obtidos

Após definida a melhor condição de secagem através do planejamento experimental, a polpa de manga liofilizada passou por moagem em moinho de bancada MA 048, empresa Marconi, para a obtenção do produto em pó.

O produto em pó foi armazenado em temperatura ambiente (25 ± 2 °C) utilizando-se dois tipos de embalagem (Figura 8), com e sem vácuo para o acondicionamento: polietileno (modelo BR 2205, composta por uma combinação de material de polietileno e poliamida, com gramatura 100 g/m^2) e laminada (modelo ESA 038, confeccionada por uma combinação de material PET, alumínio e poliamida, e de gramatura 122 g/m^2).

Figura 8 – Embalagens de polietileno (a) e laminada (b) em forma de sachê utilizado para o armazenamento do pó de polpa de manga liofilizado



O estudo da estabilidade do pó de manga ocorreu a cada 15 dias durante 90 dias. Para a avaliação dos parâmetros físico-químicos do pó foram realizadas as análises de umidade, pH, acidez, cor (L^* , a^* , b^*), concentração de ácido ascórbico, atividade de água (item 4.2) e ainda as análises de higroscopicidade (item 4.4.1), grau de *caking* (item 4.4.2), e solubilidade (item 4.4.3). Os resultados foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e teste de diferença de *Tukey* a 5 % de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados do planejamento experimental

5.1.1 Resultados das variáveis dependentes: umidade, rendimento, higroscopicidade e ácido ascórbico

Diante da realização do planejamento experimental (11 ensaios) para a secagem de polpa de manga em liofilizador, puderam-se obter resultados para as variáveis dependentes estudadas (Tabela 7). Foi observada uma variação de valores de umidade entre 2,98 a 8,66%. Ribeiro (2014) realizando a liofilização de polpa de acerola com o uso de adjuvante de secagem (maltodextrina) na proporção de 19,1% encontrou valores inferiores a 2,10%. Notou-se que o tempo de secagem usado pelo referido autor foi de 24 h, e que a concentração do adjuvante utilizada possibilitou uma menor umidade.

Os resultados para a higroscopicidade apresentaram valores entre 5,30 e 11,85 (g/100g). No estudo de cajá em pó obtido por liofilização formulado sem maltodextrina e com maltodextrina (17%) realizado por Oliveira *et al.* (2014a), foi determinado menor valor de higroscopicidade para o pó obtido com a maltodextrina (8,51%), estando esse valor próximo aos determinados nos ensaios 1, 4, 5, 7, 8, 9 do presente trabalho.

Com relação aos valores obtidos para o ácido ascórbico (32,58 – 73,56 mg/100g), foram observados que alguns ensaios favoreceram sua manutenção, obtendo-se valores maiores. Bezerra *et al.* (2011) ao realizarem a desidratação de polpa de manga em estufa obteve valores de 52,11 e 36,22 mg/100g para cultivar Rosa e Tommy Atkins, respectivamente, estando próximos aos valores determinado no planejamento.

Constatou-se uma grande variação dos valores para o rendimento do processo de liofilização, diante dos 11 ensaios realizados, gerando valores entre 23,47 até 93,12%, tendo como principal efeito o uso da maltodextrina em maiores concentrações, para os menores valores. Resultado semelhante foi obtido por Caparino *et al.* (2012) para polpa de manga em pó liofilizada, sem o uso de maltodextrina (97,8%). A partir dos resultados obtidos através do planejamento (Tabela 7) foram gerados modelos de regressão, que foram avaliados para descrever o comportamento das variáveis independentes sobre as variáveis respostas.

Tabela 7 – Respostas obtidas no planejamento experimental para as variáveis dependentes após processo de liofilização

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes			
	Tempo de liofilização (h)	Concentração de maltodextrina (%)	Umidade (%)	Rendimento (%)	Higroscopicidade (g/100g)	Ácido Ascórbico (mg/100g)
1	29 (+1)	15 (+1)	4,01 ± 0,26	59,63 ± 0,95	8,26 ± 0,76	42,30 ± 5,60
2	19 (-1)	15 (+1)	7,50 ± 0,38	26,89 ± 0,14	5,30 ± 0,44	73,56 ± 5,54
3	29 (+1)	5 (-1)	3,79 ± 0,31	92,80 ± 0,98	11,73 ± 0,95	32,58 ± 5,64
4	19 (-1)	5 (-1)	8,66 ± 0,73	23,47 ± 0,17	8,51 ± 0,01	60,55 ± 5,52
5	24 (0)	10 (0)	4,42 ± 0,32	66,10 ± 0,43	8,49 ± 0,86	63,91 ± 5,52
6	24 (0)	10 (0)	3,37 ± 0,12	64,20 ± 0,42	9,50 ± 0,35	60,78 ± 5,55
7	24 (0)	10 (0)	5,13 ± 0,44	73,83 ± 0,41	8,57 ± 0,76	57,54 ± 0,05
8	16,9 (-1,41)	10 (0)	5,00 ± 0,08	43,88 ± 0,57	8,09 ± 0,10	41,34 ± 5,43
9	31,1 (+1,41)	10 (0)	4,33 ± 0,21	86,57 ± 1,13	8,68 ± 0,21	37,49 ± 2,83
10	24 (0)	2,9 (-1,41)	2,98 ± 0,39	93,12 ± 0,69	11,85 ± 0,30	54,39 ± 5,55
11	24 (0)	17,1 (+1,41)	4,74 ± 0,19	41,67 ± 0,88	9,40 ± 1,15	63,97 ± 5,55

5.1.1.1 Análise da variável resposta umidade

Na Tabela 8 observam-se os efeitos sobre a variável umidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador, sendo possível verificar que o efeito do tempo (L) de liofilização foi significativo ao nível de confiança de 10% sobre a variável umidade, mostrando que o aumento do tempo de liofilização levou a obtenção de um pó com menor umidade, independente da variação da concentração de maltodextrina.

Tabela 8 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a umidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	-2,31	0,62	0,06*
Tempo (Q)	1,20	0,74	0,25
Maltodextrina (L)	0,39	0,62	0,60
Maltodextrina (Q)	0,40	0,74	0,64
Tempo x Maltodextrina	0,69	0,89	0,52

*Significativo a ($p < 0,10$).

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado pelo Statistica são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a umidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

	SQ	GL	QM	F _{calc}	F _{tab}	R ²
Regressão	10,77	1	10,77	5,16*	3,36	0,36
Resíduo	18,79	9	2,09			
Falta de ajuste	17,22	7	2,46	3,13 ^{ns}	9,35	
Erro puro	1,573	2	0,79			
Total	29,56	10	2,96			

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática.

De acordo com os dados da Tabela 9 o modelo de regressão gerado obteve um F_{calc} foi superior ao F_{tab}, apresentando valores respectivos de 5,16 e 3,36. Apesar disso, o coeficiente

de determinação (R^2) foi muito baixo, mostrando pouco ajuste do modelo aos dados experimentais. Dessa forma não foram gerados os gráficos de superfície de resposta e curva de contorno para a variável umidade.

5.1.1.2 Análise da variável resposta rendimento

Analisando os efeitos gerados sobre o rendimento obtido do pó da polpa de manga descrito na Tabela 10, notou-se que o efeito do tempo (L) e concentração de maltodextrina (L), bem como a interação entre esses fatores apresentaram significância estatística sobre a variável do pó em um nível de 90% de confiança, podendo ser explicado pelas variáveis estudadas.

Tabela 10 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para o rendimento do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	40,47	3,60	0,01*
Tempo (Q)	-10,49	4,27	0,13
Maltodextrina (L)	-25,60	3,60	0,02*
Maltodextrina (Q)	-8,29	4,27	0,19
Tempo x Maltodextrina	-18,29	5,10	0,07*

*Significativo a ($p < 0,10$).

O parâmetro tempo (L) apresentou efeito positivo, indicando que o aumento do tempo de liofilização aumentou o rendimento, já o parâmetro concentração de maltodextrina (L) obteve efeito negativo, ou seja, à medida que diminui a concentração houve um aumento do rendimento do pó da polpa de manga entre os intervalos estudados.

Fato observado em razão do uso de uma maior quantidade de maltodextrina, dificultando a remoção de água durante o processo de secagem, resultando num material mais difícil de ser removido da bandeja após o processo de secagem. Esse efeito pode ser confirmado quando se verifica os valores da Tabela 7 nos ensaios (1 e 3) e (10 e 11) utilizando o mesmo tempo de liofilização e concentrações diferentes do adjuvante, onde se constata maiores umidades.

Adhikari *et al.* (2004) e Goula; Admapoulos (2010) em suas pesquisas, relataram uma menor difusividade da água na amostra pela maior quantidade de adjuvante usado, o qual

prejudicou a retirada da água presente, resultando num produto com muita umidade.

Observou-se que a interação entre as variáveis (tempo e maltodextrina) foi significativa, possivelmente pela concentração dos constituintes presentes na polpa proporcionada pelo processo de secagem, e também por que menores concentrações do adjuvante (maltodextrina) resultaram em maiores rendimentos para o processo.

Avaliando os dados obtidos pelo modelo de regressão para a análise de variância apresentados na Tabela 11, o modelo foi preditivo para a variável rendimento do pó de manga Tommy Atkins, já que o F_{calc} foi superior ao F_{tab} .

Tabela 11– Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o rendimento do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

	SQ	GL	QM	F_{calc}	F_{tab}	R^2
Regressão	4946	3	1648	9,68*	3,07	0,80
Resíduo	1192	7	170,3			
Falta de ajuste	1140	5	228,1	8,78 ^{ns}	9,29	
Erro puro	51,98	2	25,99			
Total	6134	10	613,4			

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática.

O coeficiente de determinação (R^2) foi elevado (0,80), indicando que o modelo gerado conseguiu descrever bem os dados observados. Dessa forma, pôde-se gerar a curva de contorno e superfície de resposta, apresentados na Figura 9 (a e b), e também foi possível obter a Equação (14) que representa o modelo estatístico ajustado aos dados experimentais, considerando todos os efeitos para a variável rendimento do pó da polpa de manga.

$$R = -98,26 + 7,71X_1 + 6,22X_2 - 0,36X_1X_2 \quad (14)$$

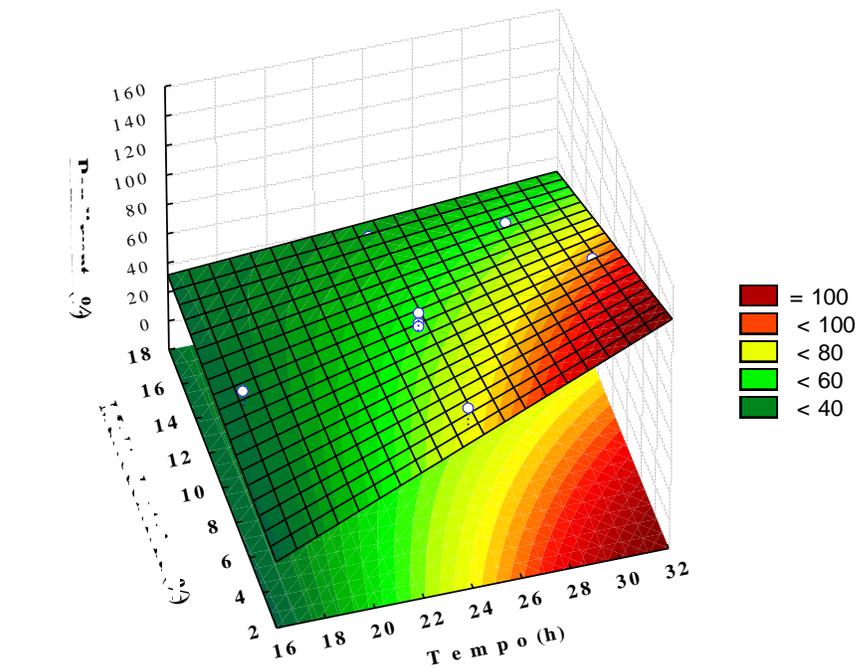
Onde:

R - rendimento (%);

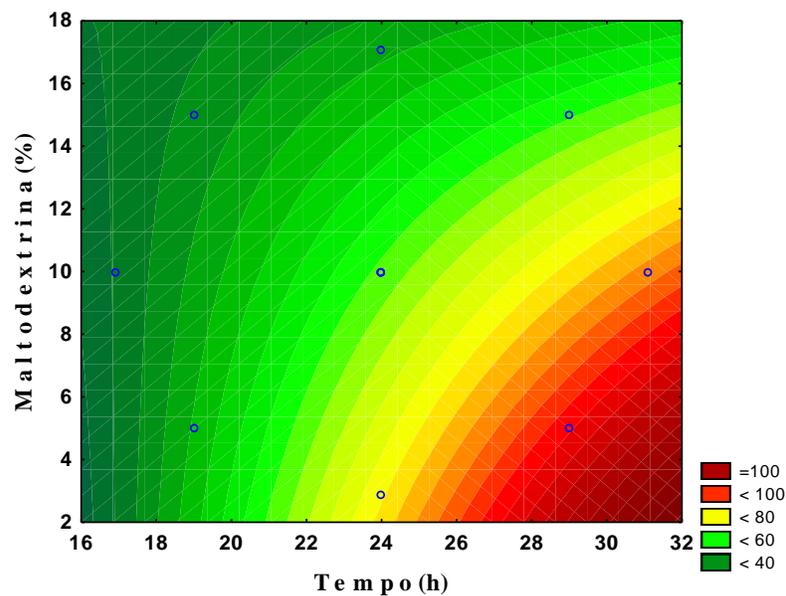
X_1 - tempo de liofilização (h);

X_2 - concentração de maltodextrina (%).

Figura 9 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável rendimento (%) do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador



(a)



(b)

Por meio da Figura 9 (a) foi possível perceber que os maiores teores de rendimento foram obtidos para maiores tempos de secagem (liofilização) e menores concentrações de maltodextrina, confirmando o que já havia sido mencionado anteriormente na análise dos efeitos

(Tabela 10). Isso se confirma ainda mais quando observamos a Figura 9 (b) que mostra de forma mais visível à zona de maior rendimento.

5.1.1.3 Análise da variável resposta higroscopicidade

Analisando os efeitos das variáveis independentes sobre a higroscopicidade, apresentados na Tabela 12, notou-se que o efeito do tempo (L) e da concentração de maltodextrina (L), foram significativos que ($p < 0,10$). Sendo assim, o efeito para o tempo (L) foi positivo, significando que quanto maior o tempo mais higroscópico é o pó final obtido.

Tal resultado é atribuído ao processo de secagem (liofilização) resultando em pó com baixa umidade e amorfo, tornando-se mais propício ao ganho de água. Isso acontece, por que os sistemas biológicos tendem ao equilíbrio com o ambiente ao qual se encontram, fazendo com que a pressão de vapor da água na superfície do produto se torne igual à pressão de vapor da água no ar (CELESTINO, 2010).

Tabela 12 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a higroscopicidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	1,75	0,39	0,05*
Tempo (Q)	-0,98	0,47	0,17
Maltodextrina (L)	-2,53	0,39	0,02*
Maltodextrina (Q)	1,24	0,47	0,12
Tempo x Maltodextrina	-0,13	0,56	0,84

*Significativo a ($p < 0,10$).

Observou-se na Tabela 12 que o parâmetro da concentração de maltodextrina (L) obteve um efeito negativo, indicando que quanto menos maltodextrina maior é a capacidade do pó em absorver água. Isso aconteceu por que o adjuvante de secagem usado apresenta como característica principal envolver as moléculas tornando-as menos suscetíveis as variações de O_2 , luz e umidade. Assim, pode conferir uma maior qualidade e preservação dos constituintes presentes na polpa desidratada (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

Os mesmos autores relataram ainda em polpa de açaí desidratado e formulado com

10, 20 e 30% de maltodextrina, obtido por aspersão (170 °C), partículas menos higroscópicas com o aumento da concentração usada, chegando aos valores de 17,56, 15,15 e 14,15%, respectivamente. Assim, o uso do adjuvante de secagem e sua concentração levaram a uma menor capacidade de absorção de água pelo pó, bem como, uma possível aglomeração.

A Tabela 13 mostra os resultados da análise de variância para a higroscopicidade sendo possível observar uma razoável porcentagem do coeficiente de determinação (R^2), ou seja, variável explicada, que foi de 0,60.

Tabela 13 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a higroscopicidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

	SQ	GL	QM	F_{calc}	F_{tab}	R^2
Regressão	18,99	2	9,49	6,06*	3,11	0,60
Resíduo	12,54	8	1,57			
Falta de ajuste	11,99	6	2,00	7,30 ^{ns}	9,33	
Erro puro	0,55	2	0,27			
Total	31,53	10	3,15			

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática.

Observou-se na Tabela 13 que o valor do F_{calc} é maior que o do F_{tab} , sendo a variável resposta higroscopicidade significativa para o modelo de regressão gerado. Para a falta de ajuste pode-se constatar que o F_{calc} é menor que o F_{tab} , então não foi significativa. Deste modo, a superfície de resposta e curva de contorno para tal variável foi gerada Figura 10 (a e b).

O modelo estatístico ajustado aos dados experimentais testados, considerando todos os efeitos estimados, para a variável resposta higroscopicidade do pó da polpa de manga está representado na Equação 15:

$$H = 7,27 + 0,17 X_1 - 0,25 X_2 \quad (15)$$

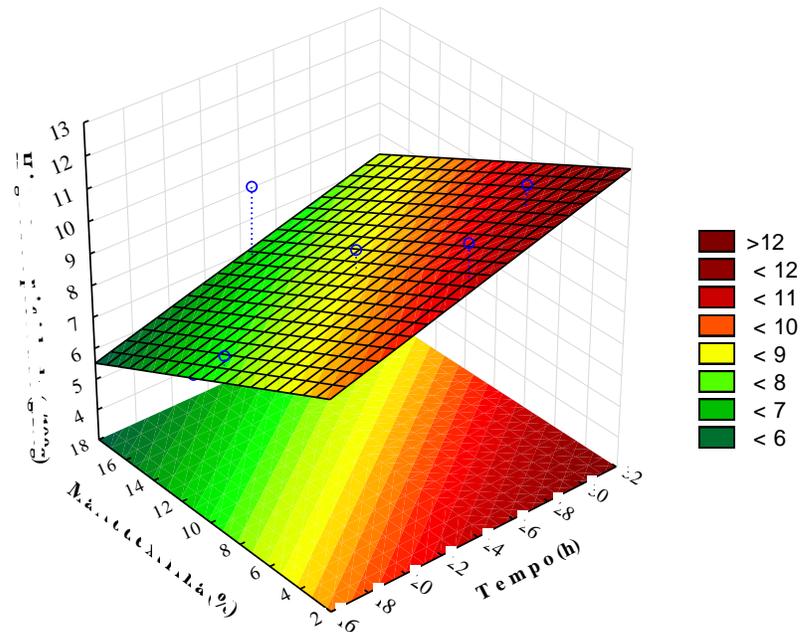
Onde:

H - higroscopicidade;

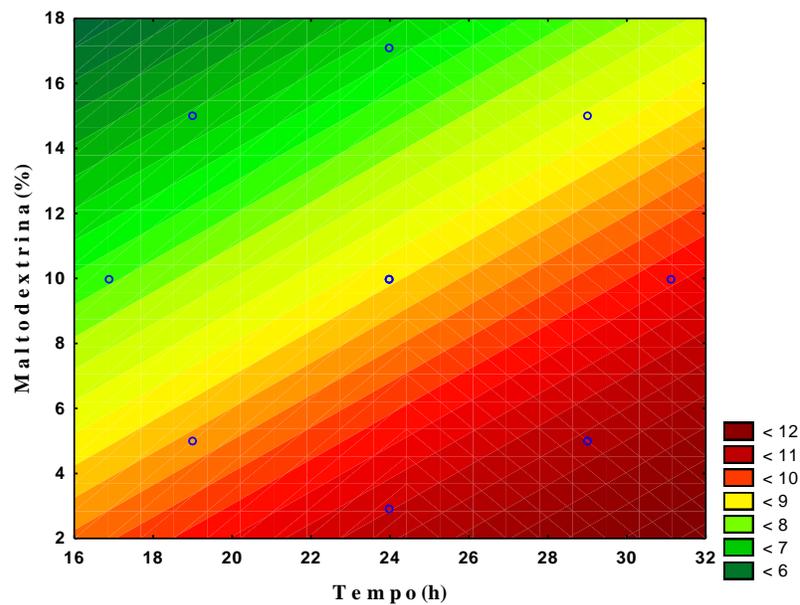
X_1 - tempo de liofilização (h);

X_2 - concentração de maltodextrina (%).

Figura 10 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável higroscopicidade (%) do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador



(a)



(b)

Onde se observou o aumento da higroscopicidade (Figura 10 a e b) dos pós submetidos a um maior tempo de liofilização e a menores quantidades de maltodextrina. Na Tabela 7 (resultados do planejamento experimental) para os ensaios 3 (29 h e 5% de

maltodextrina) e 10 (24 h e 2,9% de maltodextrina) obtendo-se, respectivamente, valores de 11,73 e 11,85 % de higroscopicidade.

Os resultados encontrados indicam que os pós após o processo de secagem apresentam sítios de ligação disponíveis para interagir com moléculas de água tornando o produto higroscópico. E que o uso da maltodextrina em maiores concentrações proporciona melhores resultados para o pó de polpa de manga, visto que, o mesmo é um açúcar de alto peso molecular. De acordo com Barbosa (2010), o uso desse adjuvante promove o aumento da temperatura de transição vítrea (T_g) de forma a reduzir o comportamento pegajoso e higroscópico dos pós.

5.1.1.4 Análise da variável resposta ácido ascórbico

No estudo das variáveis que possuem efeito sobre a concentração de ácido ascórbico (Tabela 14) verificou-se que os fatores (L) e (Q) do tempo de liofilização são negativos, indicando que quanto maior o tempo de liofilização, maior é a perda do ácido ascórbico e quanto menor o tempo de secagem menor é a perda da variável estudada, respectivamente. Já a maltodextrina (L) possui efeito positivo, indicando que quanto maior a concentração menor é a perda da variável.

Tabela 14 – Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para o ácido ascórbico do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	-16,11	2,25	0,02*
Tempo (Q)	-19,75	2,67	0,02*
Maltodextrina (L)	9,05	2,25	0,06*
Maltodextrina (Q)	-0,15	2,67	0,96
Tempo x Maltodextrina	-1,64	3,19	0,66

*Significativo a ($p < 0,10$).

A análise de variância da variável em estudo (Tabela 15) indicou que o modelo foi representativo, pois, o $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$, e a falta de ajuste não foi significativa. Enquanto que o valor da porcentagem da variável explicada (R^2) foi elevado (0,73). Sendo assim, houve um bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

Tabela 15 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para o ácido ascórbico do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

	SQ	GL	QM	F _{calc}	F _{tab}	R ²
Regressão	1242	3	414,1	6,23*	3,07	0,73
Resíduo	465,4	7	66,49			
Falta de ajuste	445,0	5	89,01	8,75 ^{ns}	9,29	
Erro puro	20,35	2	10,18			
Total	1707	10	170,78			

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática.

O modelo estatístico obtido a partir do ajuste aos dados experimentais para a variável ácido ascórbico da polpa de manga está na Equação 16:

$$A = -136,7 + 17,31 X_1 - 0,39 X_1^2 + 0,90 X_2 \quad (16)$$

Onde:

A - ácido ascórbico;

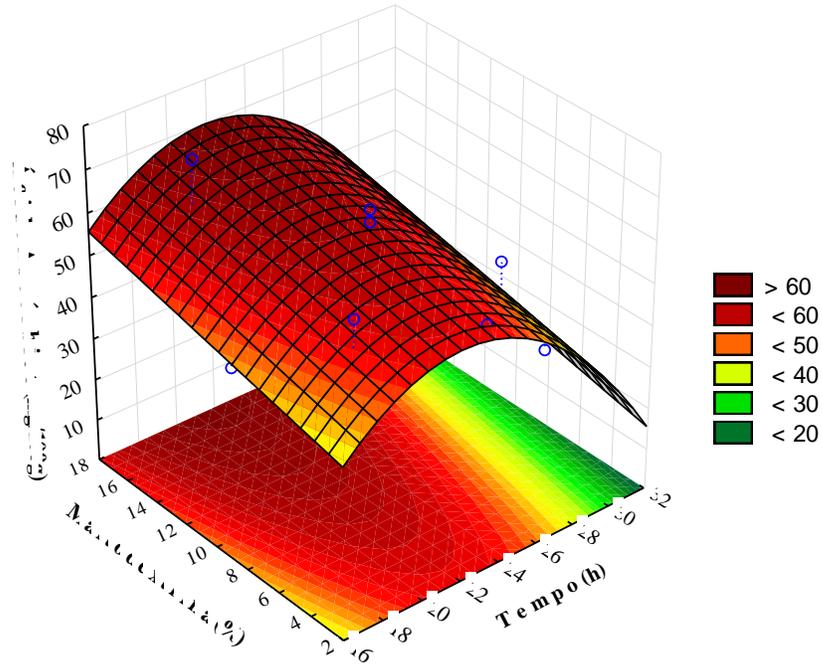
X_1 - tempo de liofilização (h);

X_2 - concentração de maltodextrina (%).

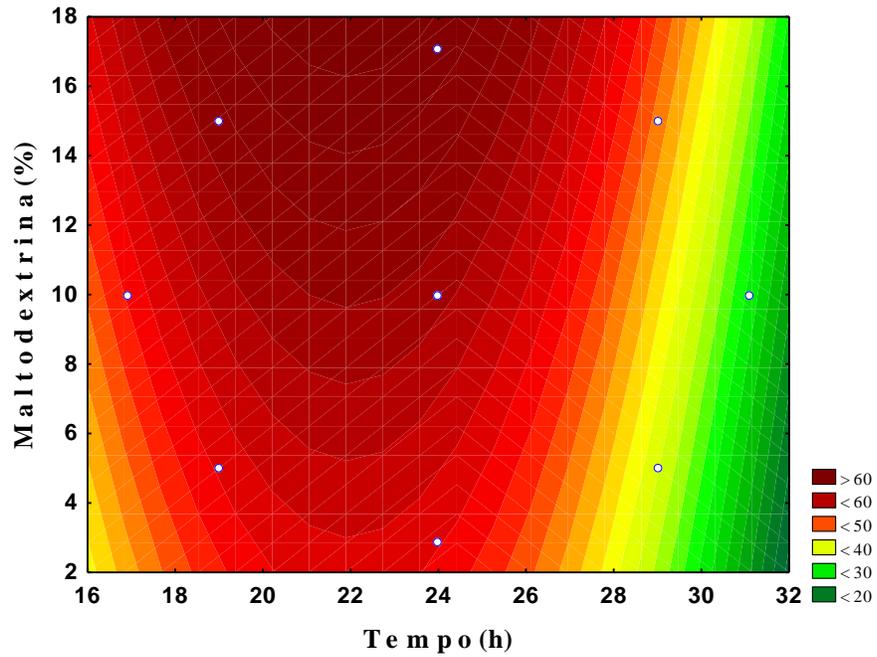
Portanto, considerando o modelo preditivo para a variável ácido ascórbico, foram geradas superfícies de resposta e curvas de contorno Figura 11 (a e b), e através destas percebeu-se um aumento dos valores de ácido ascórbico, em relação ao aumento da maltodextrina, no entanto a partir do aumento do tempo de liofilização esse parâmetro começou a decrescer, confirmando os efeitos observados.

Bezerra *et al.* (2011) ao analisarem os parâmetros físico-químicos de mangas das variedades Rosa e Tommy Atkins identificaram menores valores de ácido ascórbico para as amostras após as secagens em relação as amostras integrais, com decrescimentos de 71,87 e 81,77%, respectivamente, levando-se em consideração que a secagem foi em estufa.

Figura 11 – Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) da variável ácido ascórbico (%) do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador



(a)



(b)

5.1.2 Resultados das variáveis dependentes: solubilidade e cor (L^* , a^* e b^*)

São apresentados, na Tabela 16, os resultados dos ensaios realizados para a secagem de polpa de manga em liofilizador com as variáveis dependentes solubilidade e cor (L^* , a^* e b^*).

Com relação aos valores obtidos para a solubilidade das amostras nos 11 ensaios realizados no planejamento experimental, obtiveram-se valores elevados para praticamente todos os ensaios, variando-se entre 69,80 e 99,04%. Caparino *et al.* (2012) em estudo dos efeitos de diferentes secagens sobre a polpa de manga em pó obtiveram 89,70% de solubilidade para o pó liofilizado.

Com relação aos valores obtidos para a cor, coordenadas a^* , b^* e L^* , observou-se que o parâmetro de cromaticidade a^* , obteve valores mínimo de -0,53 e máximo de -3,99, os resultados para o parâmetro b^* variaram entre 20,73 – 27,85. A análise colorimétrica da polpa de tamarindo em pó realizada por Muzaffar; Kumar (2016) identificou valores de a^* de 10,87 e b^* de 27,21, obtendo valor próximo ao máximo obtido para a intensidade de amarelo do presente estudo. Já para a coordenada L^* obtida no planejamento experimental, observou-se que a maior luminosidade encontrada foi de 66,42. Os mesmos autores, citados anteriormente, também relataram valor semelhante para a mesma variável (66,56).

Diante dos resultados obtidos para todas as variáveis foi possível construir superfícies de respostas e curvas de contorno, como uma forma de avaliar o efeito do tempo de secagem (h) e concentração de maltodextrina sobre as variáveis solubilidade e cor (L^* , a^* , b^*).

Tabela 16 - Respostas obtidas do planejamento experimental para as variáveis dependentes após processo de liofilização

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes		
	Tempo de liofilização (h)	Maltodextrina adicionada à polpa (%)	Solubilidade (%)	Cor		
				a*	b*	L*
1	29 (+1)	15 (+1)	96,59 ± 5,60	-3,30 ± 0,01	21,29 ± 0,01	61,00 ± 0,01
2	19 (-1)	15 (+1)	83,57 ± 5,54	-3,22 ± 0,01	21,33 ± 0,57	60,23 ± 0,01
3	29 (+1)	5 (-1)	97,44 ± 5,64	-2,96 ± 0,01	21,44 ± 0,01	60,47 ± 0,01
4	19 (-1)	5 (-1)	89,47 ± 5,52	-0,53 ± 0,01	21,43 ± 0,06	21,63 ± 0,06
5	24 (0)	10 (0)	98,50 ± 5,52	-3,79 ± 0,01	27,85 ± 0,06	66,42 ± 0,00
6	24 (0)	10 (0)	99,04 ± 5,55	-3,99 ± 0,03	27,63 ± 0,01	66,33 ± 0,03
7	24 (0)	10 (0)	93,75 ± 0,05	-3,37 ± 0,03	21,54 ± 0,15	61,48 ± 0,14
8	16,9 (-1,41)	10 (0)	83,48 ± 5,43	-3,19 ± 0,01	21,75 ± 0,01	60,84 ± 0,01
9	31,1 (+1,41)	10 (0)	69,80 ± 2,83	-3,50 ± 0,01	21,19 ± 0,01	61,36 ± 0,01
10	24 (0)	2,9 (-1,41)	97,12 ± 5,55	-3,09 ± 0,00	21,95 ± 0,03	60,34 ± 0,04
11	24 (0)	17,1 (+1,41)	97,23 ± 5,55	-3,55 ± 0,01	20,73 ± 0,01	61,40 ± 0,02

5.1.2.1 Análise da variável resposta solubilidade

Através dos efeitos observados (Tabela 17) para a variável resposta solubilidade, verificou-se que o tempo de liofilização (Q) foi significativo ($p < 0,10$). Indicando que uma quantidade menor de horas de secagem aumenta a solubilidade do pó obtido, independente da concentração de maltodextrina.

Tabela 17 - Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a solubilidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	0,39	2,05	0,87
Tempo (Q)	-17,95	2,44	0,02*
Maltodextrina (L)	-1,64	2,05	0,51
Maltodextrina (Q)	2,42	2,44	0,42
Tempo x Maltodextrina	2,52	2,91	0,48

*Significativo a ($p < 0,10$).

O modelo estatístico obtido a partir do ajuste aos dados experimentais para a variável solubilidade da polpa de manga está representado pela Equação 17:

$$S = 92,83 - 0,002 X_1^2 \quad (17)$$

Onde:

S - solubilidade;

X_1 - tempo de liofilização (h);

A análise de variância (ANOVA) Tabela 18 mostrou que o $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$, indicando que o modelo gerado foi preditivo, no entanto, apesar de ser significativo o tempo (Q) e ter se obtido um modelo estatístico, este não apresenta efeito prático, pois aplicando o modelo temos uma variação somente de 90 a 92%, variando o tempo de liofilização de 1 h até 31 h que são os limites deste processo. Desse modo não foram geradas as figuras de superfície de resposta e curva de contorno.

Tabela 18 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a solubilidade do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

	SQ	GL	QM	F _{cal}	F _{tab}	R ²
Regressão	459,8	1	459,8	10,92*	3,36	0,55
Resíduo	378,8	9	42,09			
Falta de ajuste	361,9	7	51,70	6,10 ^{ns}	9,35	
Erro puro	16,95	2	8,47			
Total	838,687	10	83,87			

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática.

5.1.2.2 Análise das respostas de cor (L^* , a^* , b^*)

A análise colorimétrica foi utilizada para avaliar o processo de liofilização sobre a cor da polpa em pó. Os resultados encontrados excetuando-se o do ensaio 4 (19 h e 5% de maltodextrina) indicam que o processo, tornou as amostras com tendência para a cor verde, a intensidade de cor amarela praticamente não diferiu entre os ensaios, e os valores de luminosidade estiveram muito próximos.

5.1.2.2.1 Análise da variável resposta cor parâmetro a^*

Diante dos efeitos (Tabela 19) do parâmetro cor (a^*), foi possível observar que todas as variáveis (L) e (Q) foram significativas. Indicando que a diminuição do tempo de liofilização e concentração de maltodextrina levou o pó a apresentar a cor vermelha (escala CIE L^* a^* b^*).

Tabela 19 - Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a cor parâmetro a^* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	-0,73	0,22	0,08*
Tempo (Q)	0,78	0,26	0,10*
Maltodextrina (L)	-0,92	0,22	0,05*
Maltodextrina (Q)	0,80	0,26	0,09*
Tempo x maltodextrina	1,17	0,31	0,06*

*Significativo a ($p < 0,10$).

A Tabela 20 apresenta a análise de variância para a variável cor a*. Por meio dela foi possível observar que houve valor elevado para variável explicada (R^2) 0,70, no entanto $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$, indicando que o modelo de regressão gerado pelo Statística não foi significativo.

Tabela 20 - Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a cor parâmetro a* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

	SQ	GL	QM	F_{calc}	F_{tab}	R^2
Regressão	5,94	5	1,19	2,44 ^{ns}	3,45	0,70
Resíduo	2,44	5	0,49			
Falta de ajuste	2,24	3	0,75	7,49 ^{ns}	9,16	
Erro puro	0,20	2	0,10			
Total	8,38	10	0,83			

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática.

5.1.2.2.2 Análise da variável resposta cor parâmetro b*

Os efeitos observados para o parâmetro de cor b* (intensidade de amarelo) do pó da polpa de manga obtido em liofilizador é mostrado na Tabela 21. Sendo constatado que nenhum dos fatores (tempo de liofilização e concentração de maltodextrina) foram significativos para tal variável. Desse modo, o parâmetro não foi significativo ($p < 0,10$) e, portanto, não foi obtida a tabela de variância ANOVA, pois não houve ajuste ao modelo de regressão.

Tabela 21 - Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a cor parâmetro b* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	-0,20	2,53	0,94 ^{ns}
Tempo (Q)	-4,20	3,00	0,29 ^{ns}
Maltodextrina (L)	-0,49	2,53	0,86 ^{ns}
Maltodextrina (Q)	-4,33	3,00	0,28 ^{ns}
Tempo x maltodextrina	-0,02	-0,01	0,99 ^{ns}

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

5.1.2.2.3 Análise da variável resposta Cor parâmetro L*

Através dos dados da Tabela 22 foi possível identificar, que todos os fatores foram significativos. Constatou-se um efeito (L) positivo para o tempo de liofilização e para a concentração de maltodextrina, levando o pó obtido a apresentar uma maior luminosidade. Segundo Ferrari *et al.* (2012), a coloração branca que a maltodextrina possui leva a diluição dos pigmentos presentes na polpa, tornando o pó obtido após secagem mais claro, à medida que se aumenta a concentração.

Tabela 22 - Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística para a cor parâmetro L* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador.

Fator	Efeito estimado	Erro padrão	Grau de significância (p)
Tempo (L)	10,04	1,99	0,04*
Tempo (Q)	-8,61	2,37	0,07*
Maltodextrina (L)	10,12	1,99	0,04*
Maltodextrina (Q)	-8,83	2,37	0,07*
Tempo x maltodextrina	-19,03	2,83	0,02*

*Significativo a ($p < 0,10$).

Os dados da Tabela 23 revelam que o modelo não foi preditivo, já que o F_{calc} foi inferior ao F_{tab} e que houve falta de ajuste ao modelo, assim a variável L* não pode ser explicada.

Tabela 23 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão para a cor parâmetro L* do pó da polpa de manga obtido por secagem em liofilizador

	SQ	GL	QM	F_{calc}	F_{tab}	R^2
Regressão	987,5	5	197,5	1,82 ^{ns}	3,45	0,64
Resíduo	542,7	5	108,5			
Falta de ajuste	526,7	3	175,6	21,96*	9,16	
Erro puro	15,99	2	7,995			
Total	1530	10	153,02			

*Significativo a ($p < 0,10$); ns = não significativo.

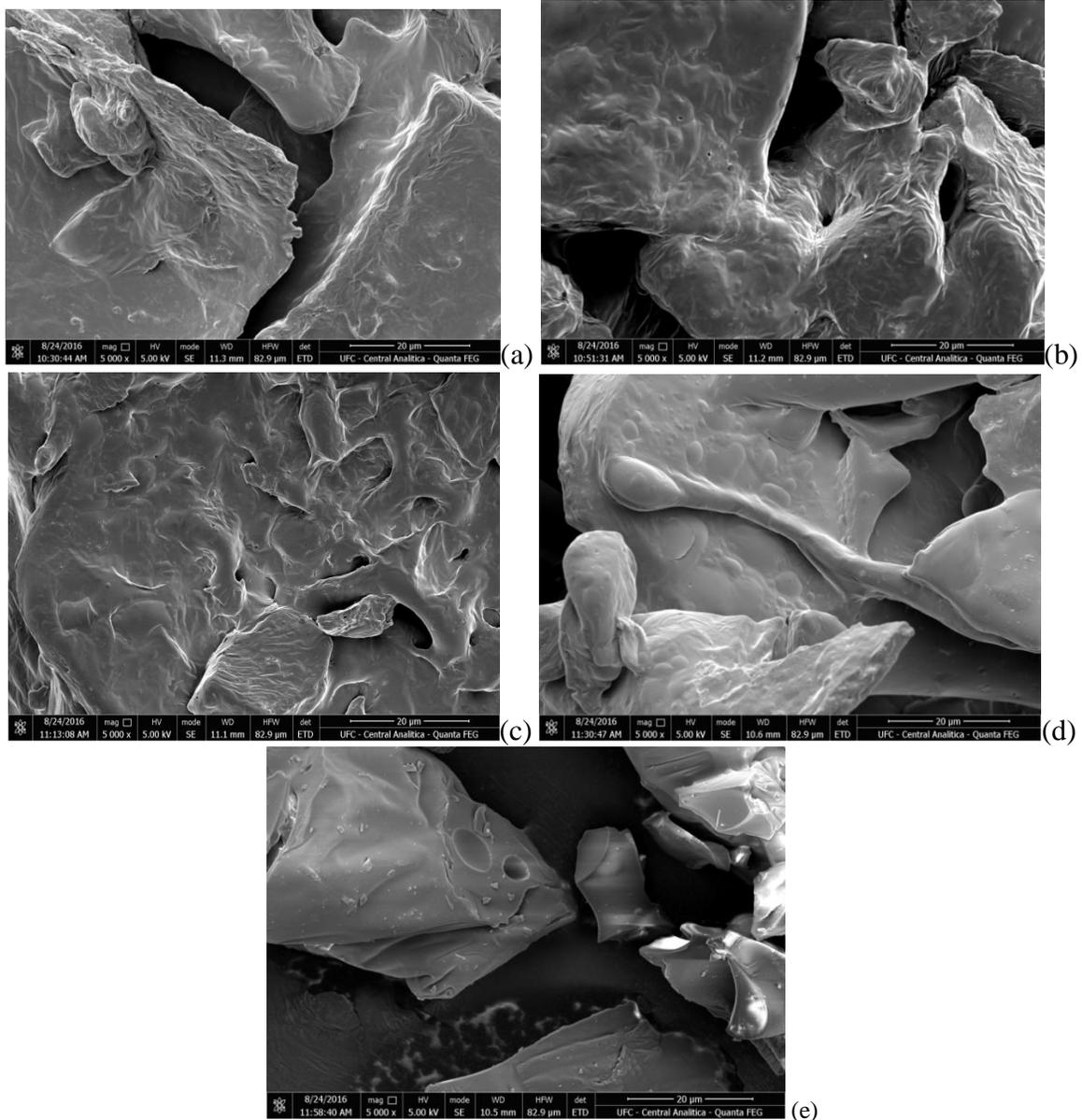
SQ = Soma Quadrática; GL = Grau de Liberdade; QM = Média Quadrática.

5.2 Avaliação da adição de diferentes proporções de maltodextrina à polpa de manga

5.2.1 Resultados da morfologia dos pós

Na Figura 12 estão apresentadas as microfotografias da microestrutura dos pós de manga liofilizados, produzidos com diferentes concentrações de maltodextrina (0, 5, 10 e 15%) e 24 h de liofilização e da maltodextrina (DE20) pura.

Figura 12 – Fotomicrografias da polpa de manga em pó produzida sem maltodextrina (a) (Controle) e adicionada de (b) 5%, (c) 10%, (d) e 15% e da (e) maltodextrina pura (5000x)



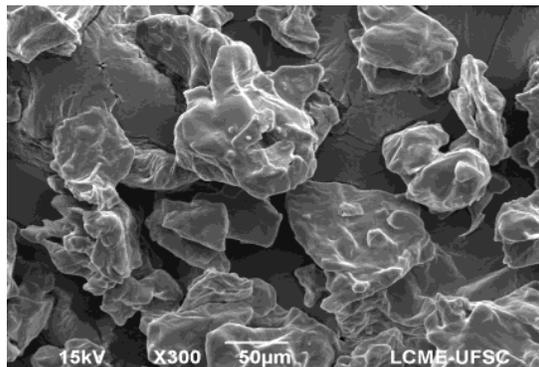
Conforme pode ser visto na Figura 12 os pós apresentaram formatos e tamanhos irregulares, provavelmente, pelo tipo de secagem utilizado (liofilização) e, possivelmente, pela presença da maltodextrina. Segundo Gutiérrez (2015) o tipo de processo de secagem aplicado afeta as características morfológicas do produto. Enquanto Udomkun *et al.* (2015), afirmaram que modificações na estrutura das partículas, podem afetar o comportamento de sorção da água no produto devido aos danos ocasionados aos tecidos durante a secagem.

Entre os pós com e sem maltodextrina, pode se observar que a amostra da Figura 12 (a) apresentou partículas levemente mais rugosas com estruturas mais compactas, ficando evidente que as amostras (b, c e d), devido à presença da maltodextrina, apresentaram menores rugosidades e uma superfície mais lisa das partículas à medida que se aumentou a concentração.

Dentre as amostras estudadas, a Figura 12 (d) adicionada de 15% de maltodextrina, apresentou a superfície mais lisa e menos aglomerada. Esta característica observada favorece a estabilidade do pó produzido, de forma que a área disponível para oxidação acaba sendo menor (CAPARINO *et al.*, 2012). Percebeu-se, na Figura 12 (e), que a maltodextrina apresentou superfície lisa sem apresentar interações entre as partículas, reafirmando o caráter não higroscópico do adjuvante de secagem (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012).

Identificou-se, através do estudo das micrografias, que os pós sem maltodextrina (Figura 12-a) e adicionados de 5% (Figura 12-b) possuíam partículas de superfície mais rugosa, tamanhos variados e apresentando atração entre si. Dessa forma, constatando-se estruturas amorfas para os pós de manga Tommy Atkins obtidos. Fato este, provavelmente, ocorreu devido à falta ou baixa concentração de maltodextrina adicionada à formulação. Resultado similar foi encontrado por Zotarelli (2014), em manga liofilizada sem maltodextrina (Figura 13).

Figura 13 - Manga em pó liofilizada aumento de 300x



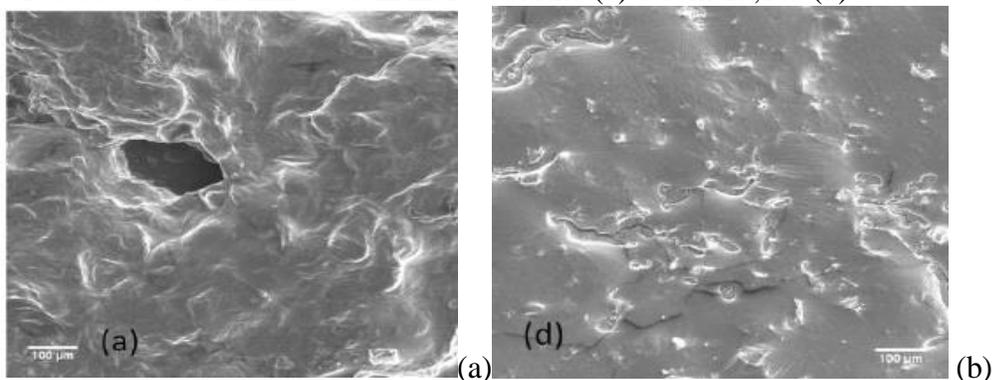
Fonte: Zotarelli (2014).

Segundo Bezerra (2014a) as estruturas amorfas são identificadas por uma desordenação das partículas que não apresentam formas geométricas parecidas, nem arredondadas, e as superfícies são rugosas, essas características acabam sendo comuns em produtos liofilizados, corroborando com os achados no presente estudo.

Fazaeli *et al.* (2012) ao estudarem sobre microestrutura de alimentos obtidos por diferentes métodos de secagem, constataram que a aglomeração das partículas pode ser causada pela baixa temperatura de secagem e baixa concentração de agentes carreadores utilizados, fato esse pode ter acontecido com os pós adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.

No estudo das micrografias do pó de acerola liofilizado, Ribeiro (2014) não constatou modificações aparentes na microestrutura das amostras sem maltodextrina (Figura 14a) e adicionada de 19,1% de maltodextrina (Figura 14b), diferindo dos resultados obtidos no presente estudo, para as Figuras 12 (a, b e c) e Figura 12 (d), respectivamente, onde se observou a influência do adjuvante na superfície dos pós obtidos, à medida em que se aumentava a concentração.

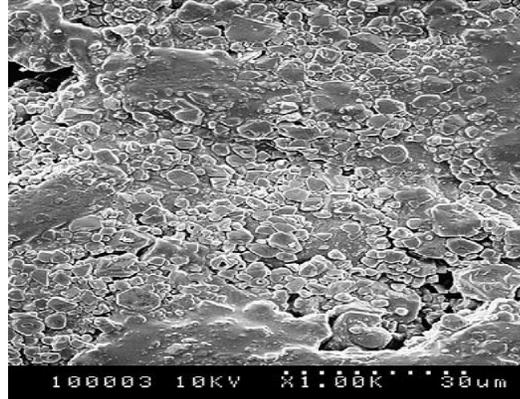
Figura 14 - Pós de acerola liofilizada sem maltodextrina (a) e com 19,1% (b)



Fonte: Ribeiro (2014).

Não foram observadas estruturas cristalinas nos pós de manga analisados, que segundo Bezerra (2014a) se caracterizam por estruturas tridimensionais com formatos e simetria similar, esses resultados indicam que a secagem em liofilizador evitou assim processos de cristalização. Diferentemente do que foi observado por Djantou *et al.* (2011), no processo de secagem de fatias de manga com ar quente, que provocaram formação de estruturas cristalinas devido ao alto conteúdo de açúcares dessa fruta e da temperatura usada, com consequente formação de cristais. Como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Estrutura cristalina de fatias de manga desidratada por ar quente



Fonte: Djantou *et al.* (2011).

Contudo, foi possível visualizar que o processo de secagem por liofilização produziu pós com características amorfas como foram apresentados nos dados anteriormente. E ainda constatou-se, no estudo das micrografias obtidas do pó de manga Tommy Atkins, a influência da adição de maltodextrina sobre a estrutura do pó liofilizado por meio da Figura 12 (a, b e c), que modificou a morfologia do pó fazendo com que se obtivessem estruturas de superfície mais lisa.

5.2.2 Resultados das análises físicas (reológicas) dos pós de polpa de manga Tommy Atkins

Na Tabela 24 estão apresentados os resultados para a tensão não confinada de deslizamento (σ_c) e tensão principal de consolidação (σ_1) dos pós de polpa de manga obtidos pelo processo de liofilização (24h) adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina.

Tabela 24 - Valores da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) e a tensão de consolidação principal (σ_1) para o pó da polpa de manga adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina

σ_c (kPa) para	σ_1 (kPa) para	σ_c (kPa) para	σ_1 (kPa) para	σ_c (kPa) para	σ_1 (kPa) para
5%	5%	10%	10%	15%	15%
1,39	2,33	0,81	2,13	0,68	2,09
1,74	4,80	1,22	4,61	1,05	4,46
2,67	9,29	2,03	9,02	2,07	8,93
5,27	18,87	3,75	17,73	3,54	17,73

σ_c - tensão não confinada de deslizamento (kPa); σ_1 - tensão principal de consolidação(kPa).

Observa-se que os valores encontrados para as amostras analisadas (Tabela 24), com relação às tensões não confinadas de deslizamento (σ_c), foi maiores para a amostra adicionada de 5%, e diminuiu para as amostras adicionadas de 10 e 15% do adjuvante de secagem respectivamente, isso significa que à medida que houve o aumento da concentração, ocorreu uma diminuição da tensão de deslizamento dos pós, facilitando o escoamento dos produtos.

Diante dos dados obtidos para as amostras (pós de manga adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina) com relação às tensões σ_1 e σ_c (Tabela 24), puderam-se determinar os índices de fluxo (ffc) utilizando a Equação 1, os índices obtidos (Tabela 25) foram comparados com a classificação de Jenike (Tabela 2) como uma forma de avaliar a fluidez dos pós de manga.

Tabela 25 - Valores dos índices de fluxo (ffc) dos pós de polpa de manga Tommy Atkins adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina

Amostras	Índices de fluxo (ffc)
5%	3,19
10%	4,28
15%	4,53

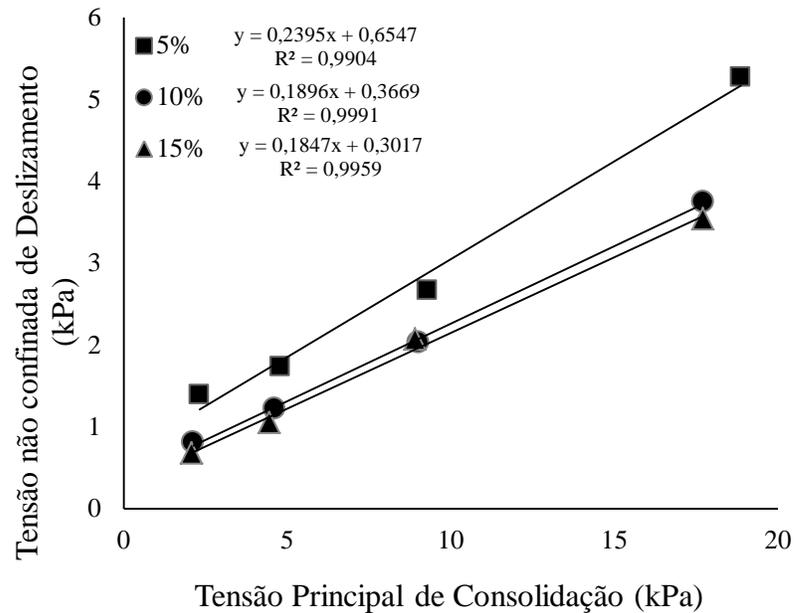
A função fluxo é um indicativo da capacidade do produto em fluir. E como apresentado existe o índice de fluxo (ffc) que “expressa” se o produto escoará com um fluxo fácil ou difícil. Dessa forma, o pó de manga adicionado de 5% de maltodextrina é coesivo, e os pós adicionados de 10 e 15% são de fácil fluxo, através da classificação de Jenike (1964) Tabela 2.

Na Figura 16, observaram-se o comportamento da reta para os pós de polpa de manga nas concentrações estudadas. De forma que o pó adicionado de 5% de maltodextrina apresentou-se em condições de fluxo coesivo, pois sua reta encontrou-se com uma maior inclinação, sendo isso característico de um produto com baixa mobilidade no momento de fluxo. Já os pós adicionados de 10 e 15% apresentaram uma menor inclinação da reta mostrando sua condição de escoamento (fluxo fácil), de acordo com a função de fluxo conforme Lopes Neto *et al.* (2007), confirmando o que já foi apresentado na Tabela 25.

Foi possível constatar no gráfico, altos valores para os coeficientes de correlação (R^2), indicando bons ajustes dos dados obtidos para as amostras em relação à reta.

Dessa forma, pode inferir-se que a concentração de maltodextrina utilizada na elaboração dos pós de manga possui efeito sobre as propriedades de fluxo dos mesmos, sugerindo que uma maior concentração do adjuvante pode diminuir a resistência ao deslizamento e melhorar sua fluidez.

Figura 16 - Função de fluxo para os pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos pelo processo de secagem em liofilizador, adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina



Esse resultado pode estar associado às dimensões, formas das partículas e também a superfície das mesmas, conforme foi observado na microscopia eletrônica de varredura (Figura 12), onde as partículas apresentaram formas e tamanhos irregulares, além de uma superfície mais rugosa para as baixas concentrações (5% de maltodextrina), fatores esses que aumentam a coesão dos pós e dificultam o processo de fluidez. Observaram-se superfícies mais lisas para as amostras adicionadas de maiores concentrações 10 e 15% de maltodextrina (Figura 12), o que confirma os resultados obtidos. Assim, as melhores características de fluidez dos pós podem ser atribuídas às suas características morfológicas.

Resultado similar foi obtido por Lopes Neto *et al.* (2007) no estudo das propriedades de fluxo de três tipos de rações avícolas, onde relataram que as rações A e B eram consideradas como produtos coesivos, enquanto que a ração C de fluxo fácil, inferindo esses resultados as divergências entre as dimensões das partículas das rações analisadas, pois produtos com

partículas reduzidas apresentam problemas de escoamento, de forma que a área da superfície da partícula por unidade de massa aumenta à medida que seu tamanho é reduzido, sendo assim aumentando as forças de coesão.

Campos; Ferreira (2013) observaram também no estudo de dois pós (alumina e cerâmico), utilizando uma técnica não-aerada, que a alumina é considerada como coesiva e o pó cerâmico como um pó de fluxo fácil. Identificaram que grandes diâmetros médios e as características morfológicas do pó cerâmico reduzem as forças interpartículas e melhoram a fluidez, apesar do maior teor de umidade de seus grânulos em relação ao pó de alumina, comprovando que o tamanho das partículas e suas características podem ser responsáveis pelo tipo de fluxo do produto.

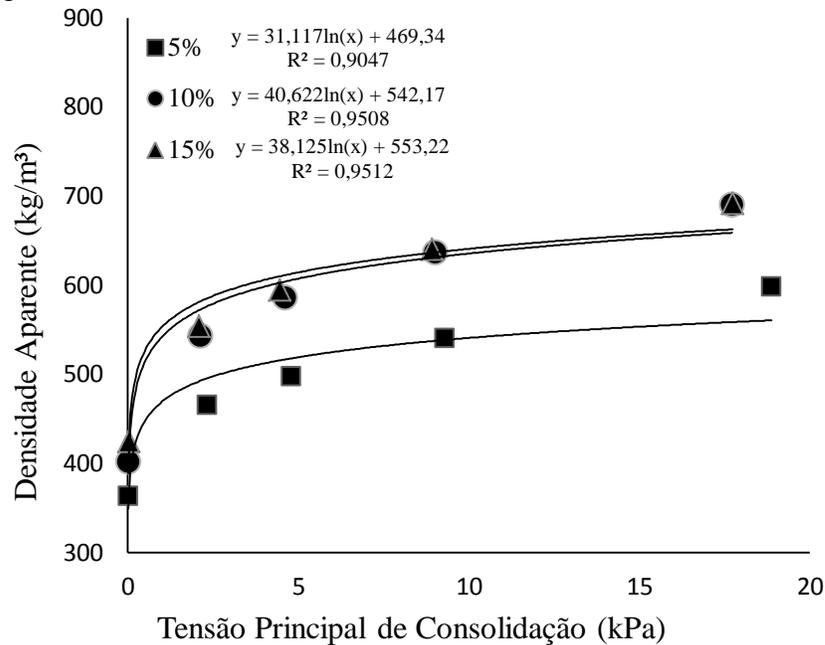
Outros fatores foram relatados como influenciadores das propriedades de escoamento de produtos em pó. Lopes Neto *et al* (2012) analisaram produtos pulverulentos (milho triturado e farelo de soja) e identificaram grandes diferenças entre as amostras, onde o milho triturado apresentou-se como um produto de difícil escoamento ($ffc < 4,0$) e sujeito a desenvolver elevadas tensões de consolidação, já o farelo de soja indica um produto de fluxo livre não coesivo ($ffc = 54,3$). Os autores atribuem este resultado a composição de cada produto, pois o milho triturado estava com todos os constituintes natural (ácidos graxos, óleos e amido) e o farelo de soja era um subproduto (bagaço), sendo assim foram extraídas diversas substâncias que podem facilitar a proximidade e coesão das amostras.

5.2.2.1 Densidade Aparente

Constatou-se na Figura 17 que na medida em que ocorreu o aumento das tensões de consolidação sobre os pós de manga, ocorreu também, de forma proporcional, aumento da densidade aparente das partículas para as amostras adicionadas de 5, 10 e 15% de maltodextrina, respectivamente.

Sendo observado que as amostras com (10 e 15%) apresentaram densidades com os maiores valores e muito próximos, 689,8 e 691,3 kg/ m³, respectivamente, similar ao que apresentou o índice de fluxo da Tabela 25. Esse resultado pode ser devido à massa de sólidos ser maior em virtude do acréscimo de maltodextrina, gerando uma massa específica superior, e assim, uma densidade maior. Os coeficientes de correlação (R^2) obtidos para os pós foram elevados indicando bons ajustes dos dados.

Figura 17 - Densidade Aparente para os pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos pelo processo de secagem em liofilizador, adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina



O tamanho das partículas, a sua distribuição granulométrica e a forma afetam diretamente os índices de escoabilidade de materiais particulados, como as densidades *bulk* (aparente) (MOHAMMED *et al.*, 2011). Isso acontece devido o contato entre as partículas, que as tornam sujeitas a forças de capilaridade, forças eletrostáticas e forças de van der Waals (CAMPOS; FERREIRA, 2013).

Esses autores, ao avaliarem pós de alumina e cerâmico, observaram que as densidades aparentes obtidas em $N = 0$, (sem compactação e batidas) foram iguais a 676 kg / m^3 e 826 kg / m^3 , respectivamente. O valor da densidade aparente no pó cerâmico é maior que a da alumina, o que é esperado, pois a densidade aparente aumenta com o tamanho das partículas.

Escudeiro; Ferreira (2013) avaliaram diferentes tipos de pós (ovo em pó, lodo e carbonato de cálcio) e observaram que as densidades das amostras apresentaram diferentes valores, pois os materiais apresentavam diâmetros distintos, além da constituição química, que como já relatado possui efeito sobre as propriedades físicas. O ovo em pó apresentou a menor densidade (285 kg/m^3). Esse resultado foi pautado a presença de açúcares e gorduras que tornam as forças de atração entre as moléculas maiores, e com isso ocorre uma maior coesão, diminuindo a densidade aparente.

Santos; Condotta; Ferreira (2016) estudaram as propriedades físicas e de fluxo de três tipos de açúcares e identificaram em termos das densidades aparentes, que os valores para *very higt polarization* e açúcar cristal com valores de 870 e 900 kg/ m³, respectivamente, ficaram próximos, sendo observado menor valor para o açúcar de confeitiro 630 kg/ m³. Eles atribuíram esse comportamento de maior densidade à maior umidade do material e à menor granulometria observada durante a pesquisa e análise morfológica, o que contribuiu para o incremento das forças coesivas deste material.

5.2.2.2 Ângulo Efetivo de Atrito Interno δ (°)

Segundo Medeiros (2012), se um produto não é de fluxo livre, a reta obtida não passa pela origem, no entanto, no caso citado, a reta que tangencia o círculo de Mohr, definido pela maior e menor tensão principal, é chamado lugar geométrico efetivo de deslizamento e de ângulo efetivo de atrito interno (δ). Dessa forma, foram obtidos apenas os ângulos efetivo de atrito interno (δ) apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Valor dos Ângulos Efetivo de Atrito Interno δ (°) dos pós de polpa de manga Tommy Atkins adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina

Amostras	Inferior	Superior
5%	48,7	58,0
10%	45,6	50,1
15%	45,3	48,2

Diante dos dados obtidos (Tabela 26) verificou-se uma diminuição dos ângulos efetivo de atrito interno com o aumento da concentração de maltodextrina utilizada na formulação dos pós de manga. Esse comportamento ocorreu, possivelmente, pela forma e superfície das partículas, como mencionado anteriormente, pós com menores concentrações do adjuvante apresentaram maiores rugosidades e podem ter influenciado no tamanho (provável) das partículas e, conseqüentemente, no ângulo de atrito interno.

Oliveira *et al.* (2014b) ao estudaram as propriedades físicas de café após torrefação e moagem reportaram uma faixa de valores para o ângulo efetivo de atrito interno (δ) entre 31,0 e 41,2° e entre 27,8 e 34,2° para as amostras de café das espécies *Coffea arabica* e *canephora*,

respectivamente. E obtiveram tendência de decréscimo dos valores com o aumento do tamanho das partículas, relacionando esse resultado ao teor de água e aos pontos de contato entre as partículas de café, que diminuiram o aumento do tamanho das partículas.

Os autores citados anteriormente relataram que elevados teores de água leva a uma maior força de coesão entre as partículas e maior rugosidade da superfície do produto, aumentando a resistência ao deslizamento, fato esse também verificado com partículas mais finas que aumentam o número de pontos de contato entre as mesmas, dificultando o escoamento.

5.2.2.3 Ângulo de Atrito Interno com a Parede (ϕ_w)

As propriedades reológicas dos pós são essenciais para se conhecer as melhores formas de armazenamento dos produtos, sendo assim, o ângulo de fricção da parede representa a resistência adesiva do pó e do material da parede (silo ou tremonha) e quanto maior mais difícil é o escoamento do pó ao longo da superfície da parede (FIZTPATRICK *et al.*, 2004).

Campos; Ferreira (2013) que investigaram o comportamento dos pós de Alumina e pó cerâmico com relação ao ângulo de atrito com a parede e obtiveram valores da ordem de 28 e 29°, respectivamente. Eles relataram que valores elevados do ângulo de fricção com a parede indicam que o fluxo de pó ao longo da parede de uma tremonha será difícil e o ângulo mínimo do funil deve ser aumentado para assegurar o fluxo de massa de um pó, e esse ângulo não depende das propriedades intrínsecas do produto, e sim, das propriedades da parede em que as partículas estão em contato e da interação delas com a superfície.

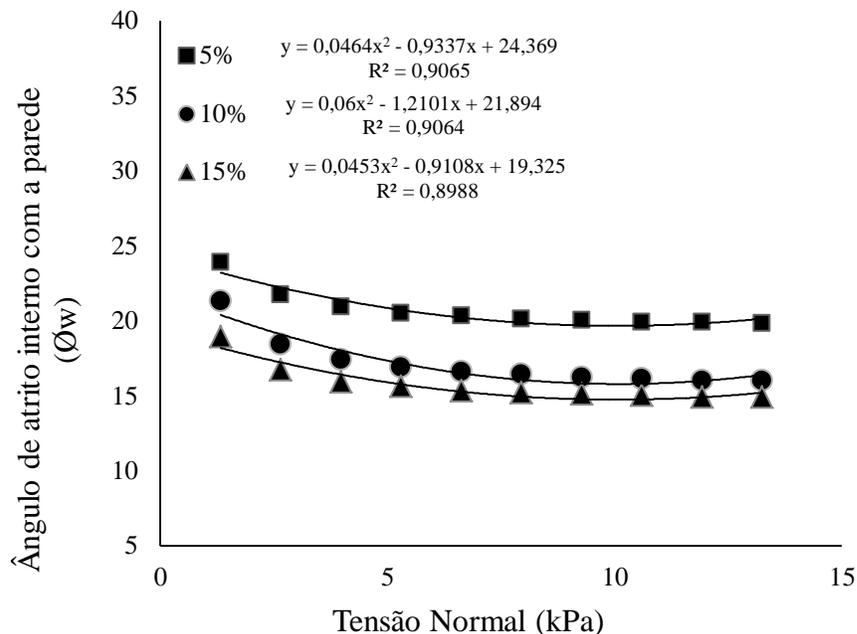
Os valores relatados anteriormente são maiores que os obtidos no estudo (Tabela 27), sendo assim os pós adicionados de 10 e 15% de maltodextrina apresentaram uma melhor fluidez em relação ao tipo de parede em estudo (aço liso), com os menores valores para esse ângulo.

Tabela 27 - Valores Médios dos Ângulos de Atrito Interno com a parede dos pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos com diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10 e 15%)

Amostras	Ângulo de atrito com a parede (ϕ_w)
5%	20,7
10%	17,1
15%	15,7

Figura 18 verificaram-se proximidades entre os ângulos das amostras adicionadas de 10 e 15% de maltodextrina, como relatado na Tabela 27, como o pó de polpa de manga das concentrações citadas apresentaram valores de ângulos de atrito de parede menores, houve uma menor adesão a parede em contato e, desse modo, facilitou o escoamento, já o pó adicionado de 5% de maltodextrina apresentou maior dificuldade por ser um pó coesivo (Tabela 25) e de maior ângulo.

Figura 18- Ângulo de atrito interno com a parede (ϕ_w), para os pós de polpa de manga Tommy Atkins obtidos pelo processo de secagem em liofilizador, adicionados de 5, 10 e 15% de maltodextrina



De forma similar, Maciel (2016) ao analisar polpa de goiaba em pó identificou que as amostras maiores teores de albumina (8%) apresentaram menores valores de ângulos de atrito de parede, correspondendo a uma menor possibilidade de aderir à parede.

5.2.3 Resultados das isotermas de adsorção dos pós de polpa de manga Tommy Atkins

Os resultados dos ajustes dos modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin aos dados experimentais do pó da polpa de manga Tommy Atkins liofilizada são apresentados na Tabela 28. Considera-se que valores inferiores de 10% do erro relativo médio (E)

indicam bom ajuste dos dados experimentais obtidos (LOMAURO *et al.*,1985). Portanto, os modelos estudados para as temperaturas de 25 e 35 °C apresentaram bom ajuste aos dados experimentais.

Tabela 28- Resultados das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga Tommy Atkins

Modelos	Parâmetros	5% Maltodextrina		10% Maltodextrina		15% Maltodextrina	
		25 °C	35 °C	25 °C	35 °C	25 °C	35 °C
GAB	X _m	0,096	0,108	0,097	0,105	0,164	0,180
	C	2,546	2,109	1,717	1,433	1,023	0,880
	K	0,964	0,948	0,958	0,952	0,841	0,835
	R ²	0,996	0,995	0,999	0,999	0,998	0,998
	E (%)	9,03	8,97	1,49	1,61	4,89	4,35
BET	X _m	0,083	0,088	0,079	0,084	0,086	0,088
	C	3,547	3,014	2,421	1,946	2,222	2,000
	n	25,74	21,99	25,29	22,93	14,99	14,99
	R ²	0,995	0,995	0,999	0,999	0,999	0,999
	E (%)	9,95	9,64	2,89	2,21	3,47	2,69
Henderson	a	0,749	0,774	0,706	0,701	0,824	0,810
	b	3,263	3,308	3,305	3,254	3,932	3,841
	R ²	0,989	0,992	0,996	0,996	0,997	0,998
	E (%)	8,69	6,78	7,02	7,44	5,78	5,45
Oswin	a	0,131	0,135	0,115	0,115	0,125	0,123
	b	0,759	0,756	0,802	0,820	0,697	0,718
	R ²	0,995	0,995	0,999	0,999	0,993	0,992
	E (%)	9,09	10,17	2,76	3,14	6,29	6,76

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos); R² - coeficiente de determinação; E (%) - erro médio relativo; C, K - constante de sorção da camada molecular; n - número de camadas moleculares; a, b - parâmetros de ajuste dos modelos.

Os modelos de GAB e BET apresentaram os melhores valores de ajuste em relação às amostras adicionadas de 10 e 15% de maltodextrina e a todas as temperaturas estudadas, com as médias dos erros médios de 5,06% e 5,14%, respectivamente.

Os ajustes dos modelos matemáticos testados para polpa de manga Tommy Atkins em pó apresentaram coeficientes de determinação (R^2) elevados, com valores entre 0,989 e 0,999. A amostra de polpa de manga com concentração de 10% de maltodextrina foi a que melhor se ajustou aos modelos matemáticos propostos com valores de R^2 entre 0,996 e 0,999.

Verifica-se na Tabela 28 que o modelo matemático que mais se ajustou a polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida por liofilização nas concentrações estudadas (5, 10 e 15% de maltodextrina) foi o de GAB, o modelo apresentou, em média, o menor valor de erro médio relativo (1,55%). Apresentou também um bom coeficiente de determinação (0,999). Após o modelo de GAB, o mais ajustável às amostras seria o modelo de BET, seguido pelo de Henderson e por fim o modelo de Oswin, que apresentou erro médio acima de 10% no estudo.

De forma semelhante ao presente estudo, Bezerra *et al.* (2011) e Moreira *et al.* (2013) identificaram que o modelo de GAB foi, diante dos modelos testados, aquele que melhor se ajustou aos dados experimentais e apresentou os menores valores de erros médios relativos (E) e altos coeficientes de correlação, para polpa de manga em pó obtida em estufa a vácuo e polpa de manga em pó liofilizada, respectivamente. Conforme Paglarini *et al.* (2013) o modelo de GAB é simples e apresenta parâmetros que possuem definição física, podendo representar de forma adequada os dados experimentais em uma ampla faixa de atividade de água (0,10 a 0,90) para os alimentos.

A determinação dos valores do conteúdo de umidade da monocamada (X_m), através do modelo de GAB é importante uma vez que a deterioração dos alimentos é muito pequena quando são armazenados com teor de umidade abaixo desses valores (COSTA, 2010). Isso se deve as condições da água nessa camada, fortemente adsorvida em locais específicos na superfície do alimento, é considerado um valor importante para assegurar a estabilidade dos alimentos, pois ela não está envolvida em qualquer reação de deterioração seja como solvente ou como um dos substratos (CONCEIÇÃO; FERNANDES; RESENDE, 2016).

Dessa forma, os modelos matemáticos de GAB e BET possibilitam uma avaliação do conteúdo de umidade da monocamada, como uma forma de se conhecer a propriedade física de adsorção. Na Tabela 28, observa-se que com o aumento da temperatura, houve uma elevação dos valores do conteúdo de umidade na monocamada molecular (X_m) e uma redução nos valores da constante K nas temperaturas de 25 e 35 °C no modelo de GAB. Este comportamento pode ser

atribuído à elevação da solubilidade dos açúcares presentes na polpa de manga com o aumento da temperatura, retendo um maior número de moléculas de água na monocamada.

Resultado similar foi observado por Maciel (2016) no estudo das isotermas de polpa de goiaba em pó com 4 e 8% de albumina. Assim como os encontrados por Ribeiro; Costa; Afonso (2016) e Moura Neto *et al.* (2015) ao estudarem o comportamento higroscópico de polpa de acerola em pó obtida pelo processo de liofilização e aspersão e polpa de cajá em pó obtido em *spray-dryer* formulado com 25% de maltodextrina.

No presente estudo o modelo de BET também apresentou incremento no conteúdo de umidade da monocamada (X_m) entre 25°C e 35°C nas amostras estudadas. Ribeiro; Costa; Afonso (2016) apresentaram resultados semelhantes ao trabalhar com polpa de acerola em pó obtida pelo processo de liofilização e atomização.

Os valores obtidos para constante de sorção C (Tabela 28) seguem uma tendência de diminuição com o aumento da temperatura de 25°C a 35°C para todas as concentrações de maltodextrina, tanto para o modelo de GAB como para o modelo de BET. Moreira *et al.* (2013), relatam que essa diminuição dos valores de C, é um fato esperado, afirmando que as baixas temperaturas propiciam a força de interação entre adsorvato-adsorvente causando um aumento nos valores da constante C.

As Figuras 19, 20, 21, 22 e 23 representam as isotermas de adsorção da polpa de manga em pó obtido por liofilização adicionado de 5%, 10% e 15% de maltodextrina (DE 20), sob as temperaturas de 25 e 35°C.

A partir destas figuras podemos verificar que há um aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da atividade de água, a uma temperatura constante, para todas as concentrações estudadas. As isotermas representadas nessas Figuras apresentam comportamento do Tipo III (BRUNAUER, 1943). Tal comportamento também foi observado por vários autores, tais como, Moreira *et al.* (2013) com polpa de manga em pó, Oliveira *et al.* (2014) em polpa de cajá liofilizada, Rodríguez-Bernal *et al.* (2015) em polpa de borojo liofilizado e Moura Neto *et al.* (2015) em polpa de cajá e Maciel (2016) com polpa de goiaba em pó.

Figura 19- Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25 e 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 5% de maltodextrina (DE 20)

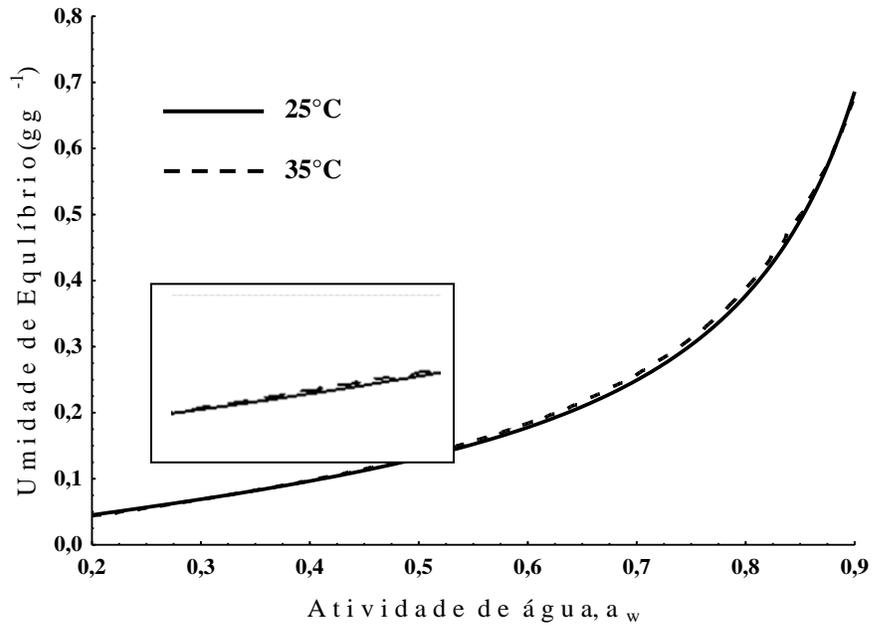


Figura 20- Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25 e 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 10 % de maltodextrina (DE 20)

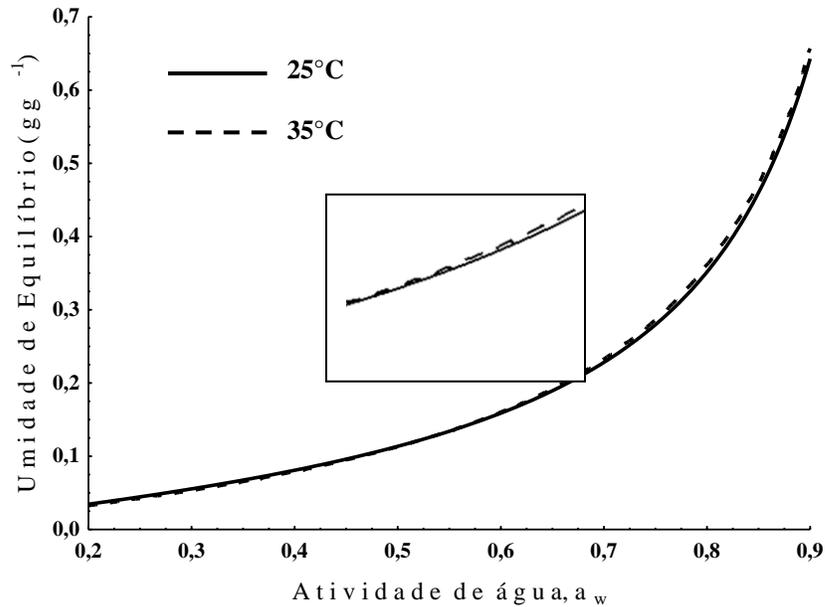
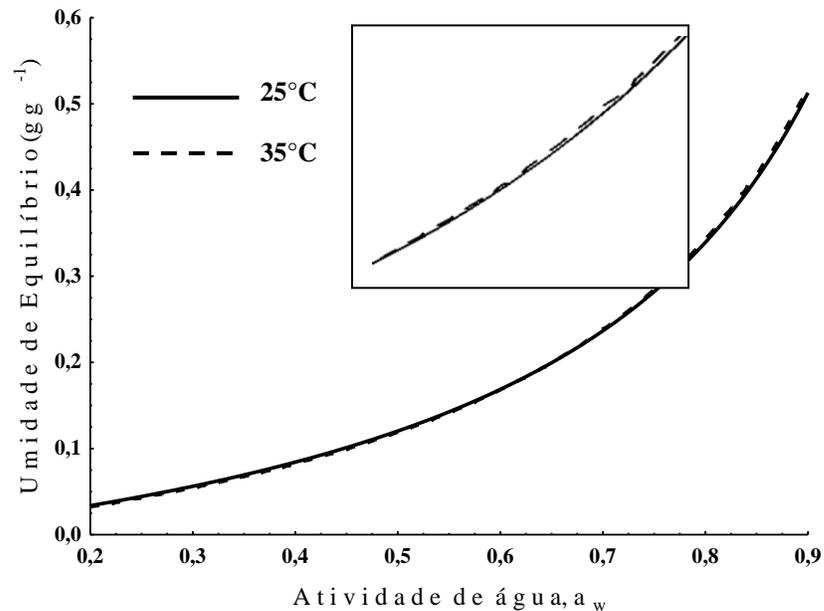


Figura 21 - Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25 e 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 15 % de maltodextrina (DE 20)



O tipo de isoterma (tipo III) observado no presente estudo é característico de produtos que possuem alto teor de açúcares, dessa forma adsorvem quantidades relativamente pequenas de água em meio a baixas atividades de água, isso por que existem as interações soluto-solvente, e assim possuem um aumento na quantidade de água adsorvida quando estão em atividades de água mais elevadas (RODRIGUEZ-BERNAL *et al.*, 2015).

A partir do observado nas Figuras 19 e 20, ocorre uma maior inflexão da curva em atividades de água acima de 0,7, para as amostras adicionadas de 5 e 10% de maltodextrina, respectivamente. Já na Figura 21, do pó adicionado de 15% de maltodextrina, constata-se que essa inflexão ocorre em atividades de água acima de 0,8. Ou seja, observou-se que o aumento da maltodextrina proporcionou uma maior estabilidade para a polpa de manga em pó, visto que o aumento da adsorção de água só ocorreu em uma faixa de atividade maior acima de 0,8.

Segundo Rodriguez-Bernal *et al.* (2015) o teor de água sorvida depende da estrutura química e da composição do substrato, responsáveis pelo número e a disponibilidade dos grupos hidrofílicos capazes de se ligar a água por meio de pontes de hidrogénio, justificando a absorção de água diferente nas diferentes concentrações.

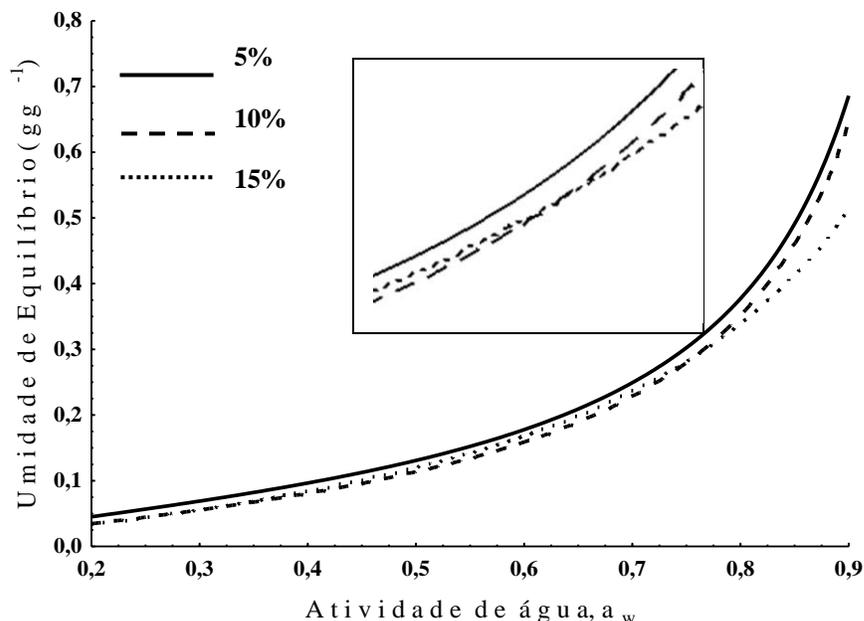
A partir do momento em que ocorreram as inflexões (Figuras 19, 20 e 21) ocorre um aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da atividade de água, possivelmente resultante

da ruptura da estrutura dos açúcares presentes aumentando a adsorção, indicando que o pó de manga tornou-se mais higroscópico para as temperaturas de 25 e 35 °C, resultado similar foi constatado por Maciel (2016) em polpa de goiaba em pó. Conceição, Fernandes e Resende (2016) relataram que o aumento da sorção com o aumento da atividade da água é devido principalmente à dissolução de açúcares.

Ocorreu também a inversão do efeito da temperatura entre as isotermas de 35 e 25 °C, sobre a umidade de equilíbrio dos pós estudados (5, 10 e 15%), na faixa de atividade de água entre 0,4 - 0,5; 0,6 - 0,7 e 0,7 - 0,8, respectivamente, ou seja, a partir dessas faixas de atividade de água, pode-se observar que com o aumento da temperatura, para a mesma atividade de água, houve uma redução na umidade de equilíbrio (Figuras 19, 20 e 21). Dessa forma, a temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio entre o vapor e a fase adsorvida. De modo geral, a elevação da temperatura acarreta uma redução na umidade de equilíbrio. Esse fato pode ser atribuído às mudanças físicas e/ou químicas que reduzem os sítios ativos disponíveis para ligações com moléculas de água (MOREIRA *et al.*, 2013).

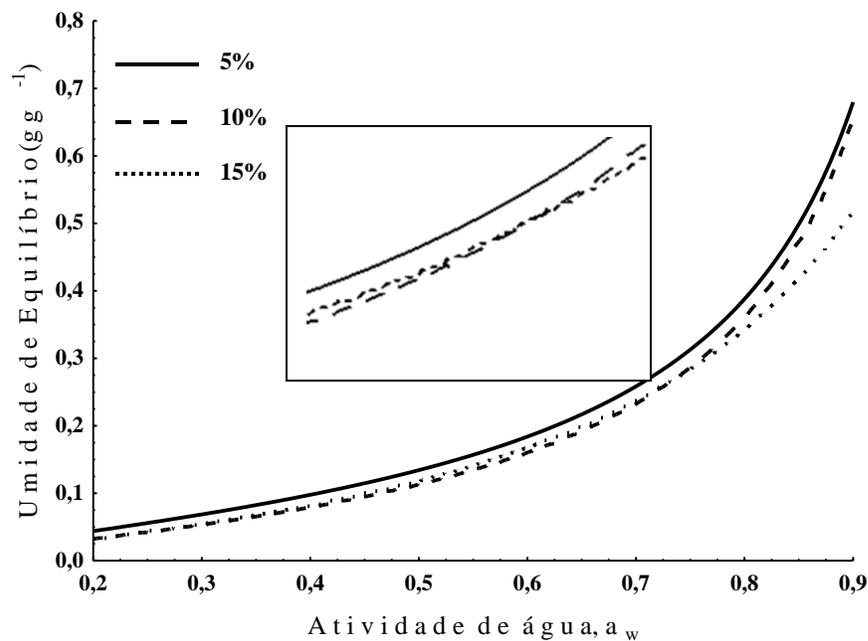
Nas Figuras 22 e 23, observa-se o comportamento das isotermas dos pós contendo diferentes concentrações de maltodextrina nas temperaturas de 25 e 35 °C.

Figura 22 - Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina (DE 20)



Observou-se na Figura 22 (25 °C) que há um aumento na umidade de equilíbrio com o aumento da atividade de água, no entanto na faixa de atividades de água entre 0,75 e 0,80 ocorreu uma inversão entre as isotermas dos pós adicionados de 10 e 15% de maltodextrina. Comportamento semelhante ocorreu na temperatura de 35 °C (Figura 23), em que há uma inversão das isotermas dos pós com 10 e 15% de maltodextrina, entre os valores de atividade de água 0,70 e 0,75. Levando a conclusão de que o aumento da maltodextrina provoca maior estabilidade dos pós, visto que, em uma mesma atividade de água a umidade de equilíbrio é menor.

Figura 23 - Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 35°C para polpa de manga Tommy Atkins em pó obtida em liofilizador com adição de 5, 10 e 15% de maltodextrina (DE 20)



O pó da polpa de manga Tommy Atkins com maior concentração de maltodextrina (15%) tende a ser menos higroscópico em baixos valores de umidade de equilíbrio, devido a maior concentração do adjuvante que interfere na capacidade hidrofílica dos açúcares presentes. De acordo com Ferrari; Ribeiro; Aguirre (2012) a adição de maltodextrina reduz a higroscopicidade dos compostos hidrofílicos que contribuem para absorção de umidade (açúcares e ácidos orgânicos).

De forma similar Oliveira *et al.* (2014) e Canuto *et al.* (2014) para pós de polpa de café e mamão liofilizados, respectivamente, obtiveram o decréscimo dos valores de umidade de equilíbrio com o uso e o aumento da concentração de maltodextrina ao pó, indicando que o uso deste adjuvante reduz a higroscopicidade proporcionalmente à sua concentração.

5.3 Condições adotadas para secagem de polpa de manga Tommy Atkins em liofilizador

Diante dos resultados apresentados no planejamento experimental para todas as variáveis respostas estudadas e tendo em vista que nenhuma das respostas apresentou um ponto ótimo, decidiu-se utilizar o ponto central (24 h e 10% de maltodextrina) para a secagem da polpa de manga Tommy Atkins e avaliação da estabilidade. De acordo com a Tabela 7, os valores obtidos para a variável umidade foram baixos para praticamente todos os ensaios, observou-se que os ensaios do ponto central apresentaram valores entre 3,37 a 5,13%.

Os valores de higroscopicidade (8,49, 8,57 e 9,50 g/100g) obtidos nos pontos centrais foram razoáveis diante dos obtidos em todos os resultados, sendo um parâmetro importante no estado de conservação do produto, por estar relacionado a capacidade de adsorção do material.

Foi observado que os ensaios 3 e 10 apresentaram os maiores rendimentos, no entanto esses valores estão associados aos maiores valores de higroscopicidade, fato esse não ocorreu para os ensaios do ponto central (5, 6 e 7), que também obtiveram bons rendimentos (64,20 a 73,83%), favorecendo dessa forma, a escolha dos mesmos.

Obteve-se o valor máximo de solubilidade dentre os três ensaios (99,04%) e os teores de ácido ascórbico estiveram entre os maiores (63,91 mg/100g). Os parâmetros colorimétricos com as coordenadas L^* (61,48 a 66,42), a^* (-3,37 a -3,99) e b^* (21,54 a 27,85), resultaram em pós com alta luminosidade e intensidade de amarelo, ou seja, maior preservação da cor característica da polpa de manga.

Sendo assim, o ponto central apresentou bons resultados para todas as variáveis analisadas dentre todos os (11) ensaios realizados. Dessa forma, as condições de trabalho determinadas para a secagem em liofilizador são apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29 - Parâmetros para secagem em liofilizador para polpa de manga Tommy Atkins

Condições de liofilização	
Maltodextrina (%)	10
Tempo de liofilização (horas)	24

5.4 Avaliação das condições de secagem escolhida (24 h e 10 % de maltodextrina) na caracterização físico-química (polpa integral e liofilizada) e estabilidade dos pós

5.4.1 Caracterização físico-química da polpa integral e liofilizada de manga Tommy Atkins

Após a produção de polpa de manga em pó, nas condições estabelecidas (item 5.3), esta e a polpa integral foram caracterizadas a partir das seguintes análises: pH, acidez, umidade, atividade de água, higroscopicidade, grau de *caking*, açúcares, solubilidade, SST (°Brix), cor ($L^*a^*b^*$), concentração de ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos (Tabela 30).

Tabela 30 – Caracterização físico-química da polpa de manga integral e liofilizada

Parâmetros	Polpa integral	Polpa liofilizada	Valores preditos
pH	4,47 ± 0,04	4,34 ± 0,01	-
Acidez Total Titulável (% Ác. Cítrico)	0,30 ± 0,02	1,15 ± 0,02	-
Umidade (%)	84,18 ± 0,40	3,41 ± 0,10	-
Atividade de água (a_w)	0,99 ± 0,00	0,17 ± 0,00	-
Higroscopicidade (g/100g)	-	8,25 ± 0,01	8,94
Grau de <i>caking</i> (%)	-	27,34 ± 4,54	-
Solubilidade (%)	-	86,89 ± 2,19	92,83
Sólidos solúveis totais - SST (°Brix)	13,77 ± 0,04	78,00 ± 0,06	-
Açúcar redutor (%)	2,71 ± 0,09	7,50 ± 0,43	-
Açúcar total (%)	16,93 ± 0,09	42,62 ± 2,85	-
Cor	a^*	5,32 ± 0,28	- 3,38 ± 0,13
	b^*	51,91 ± 0,95	19,64 ± 0,48
	L^*	54,79 ± 1,20	60,01 ± 0,64
Ácido ascórbico (mg/100g)	52,74 ± 6,64	42,72 ± 0,05	60,80
Ácido ascórbico (mg/100g) ¹	333,37 ± 41,97	44,66 ± 0,05	62,94
Carotenoides totais (mg/100g)	2,53 ± 0,02	2,94 ± 0,00	-
Carotenoides totais (mg/100g) ¹	15,99 ± 0,13	3,84 ± 0,00	-
Compostos fenólicos (mg/100g)	99,89 ± 0,00	248,60 ± 0,00	-
Compostos fenólicos (mg/100g) ¹	631,41 ± 0,00	324,58 ± 0,00	-

¹ valores gerados através das equações de ajuste dos modelos matemáticos determinados no planejamento experimental, ² valores expressos em base seca.

A determinação do pH e da acidez fornece dados importantes para a observação do estado de conservação de um produto alimentício, já que a capacidade reprodutiva dos microrganismos também é influenciada pela acidez do meio (AZEREDO *et al.*, 2012). Segundo a legislação vigente que trata sobre os padrões de identidade e qualidade das polpas de frutas (BRASIL, 2000), a polpa de manga deve apresentar os valores de pH entre 3,30 e 4,50 e acidez com valor mínimo de 0,32.

O valor encontrado para o pH de $4,47 \pm 0,04$ mostrou-se dentro da exigência da legislação. E o determinado para acidez ($0,30 \pm 0,02$ g de ácido cítrico/100g) ligeiramente a baixo do valor de referência, no entanto se levarmos em consideração o desvio padrão dos resultados, o valor obtido não torna a polpa fora do padrão de identidade e qualidade – PIQ ou mesmo inadequada pra utilização. Valor superior foi constatado por Batista *et al.* (2015) com relação ao pH ($4,67 \pm 0,17$) e Ribeiro *et al.* (2015) com relação a acidez (0,60 g de ácido cítrico/100g) em manga Tommy Atkins.

Observou-se com relação à polpa de manga em pó, uma diminuição do pH e aumento da acidez com valores de 4,34 e 1,15 g/100g de ácido cítrico, respectivamente, sendo parâmetros inversamente proporcionais. Esses resultados são associados à diminuição do conteúdo de água e uso do adjuvante de secagem. Como observado por Moreira *et al.* (2013) que obtiveram valor inferior para o pH (3,75) e superior para acidez (3,28 g/100g de ácido cítrico) na polpa de manga desidratada em liofilizador sem uso da maltodextrina. Conforme Oliveira *et al.* (2006) a maltodextrina reduz na polpa formulada, a concentração dos ácidos orgânicos presentes.

O teor de umidade para polpa integral (84,18%) foi similar ao determinado por Diógenes; Figueirêdo; Sousa (2015) em manga cultivar Haden (84,50%). Moreira *et al.* (2013) determinaram valor superior (85,48%) para a mesma variedade em estudo. As variações existentes para esse parâmetro são influências pela diversidade de cultivares existentes, assim como as condições de plantio ao qual são submetidos. Como esperado houve redução desse parâmetro ao se comparar amostra integral (84,18%) e liofilizada (3,41%). Ribeiro (2014) obteve valor inferior (2,70%) na elaboração de polpa de acerola em pó obtida por liofilização utilizando 19,1% de maltodextrina, nesse caso a maltodextrina favoreceu a remoção de água da amostra, o que não aconteceu no presente estudo.

Com relação à atividade de água verificou-se um valor de 0,99 para a polpa de manga, este valor corrobora com os resultados de Dantas (2010), Zotarelli (2014) e Diógenes;

Figueirêdo; Sousa (2015), com valores descritos de 0,99, 0,991 e 0,986, respectivamente. Observou-se valor elevado para esse parâmetro, tendo em vista a grande quantidade de água presente na polpa integral, como visto na umidade.

Ao comparar os valores de atividade de água da polpa de manga em pó (0,17) e polpa integral (0,99), constatou-se uma redução desse parâmetro proporcionado pela secagem e uso de maltodextrina. Valor superior ao determinado para polpa em pó foi obtido por Alberton (2014) em polpa de manga Tommy Atkins desidratada em cubos de 0,5 cm e 1,5 cm em liofilizador, obtendo 0,24 e 0,23, respectivamente. Com relação à estabilidade dos alimentos, a atividade de água é um fator importante e crítico em relação ao crescimento microbiano, correspondendo à água disponível para possíveis reações (químicas e bioquímicas) (AZEREDO *et al.*, 2012).

Oliveira; Costa; Afonso (2014) obtiveram valor de higroscopicidade de 8,51 g/100g de sólidos secos para polpa de cajá liofilizada com 17% de maltodextrina, sendo semelhante ao obtido nesta pesquisa (8,25 g/100g de sólidos secos). Sabe-se que os pós de frutas são higroscópicos, em decorrência da sua composição em açúcares, que possibilitam a ligação com moléculas de água, no entanto, a adição de maltodextrina como adjuvante de secagem favoreceu a redução desse parâmetro. Este resultado também foi identificado por Ferrari; Ribeiro; Aguirre (2012) e por Tonon; Brabet; Hubinger (2009) na desidratação da polpa de amora-preta e açaí em secagem por atomização, respectivamente.

Em estudo do comportamento higroscópico de polpa de macaúba em pó, produzida através da secagem em estufa a vácuo por Oliveira; Clemente; Costa (2014) observaram que na secagem realizada sem maltodextrina os valores encontrados para a higroscopicidade e grau de *caking* foram 6,39 e 3,11% e com 8% de maltodextrina 5,17 e 0,03% respectivamente, levando a conclusão que a adição do adjuvante de secagem possibilitou esses resultados. Assim como, o observado por Farahnaky *et al.* (2016) na obtenção de xarope em pó, o qual utilizaram concentrações diferentes de maltodextrina (30, 40, 50 e 60%) resultando em valores de 65,72; 35,32; 3,44 e 0,10% em grau de *caking*, respectivamente.

Os valores médios do grau de *caking* determinado para o pó da polpa de manga Tommy Atkins foi de 27,34%. Conforme Jaya; Das (2004), valores considerados ideais para alimentos em pó variam de 5,0 a 34,0%. Logo, o encontrado nesta pesquisa está dentro do intervalo considerado destes padrões. De acordo com Goula; Adamopoulos (2010) à presença de açúcares, são responsáveis pelo aumento do *caking* e higroscopicidade. Conforme Caparino *et al.*

(2012) o uso maltodextrinas são amplamente empregados na elaboração de produtos secos e, dessa forma, evitam problemas de aderência durante a secagem.

Os valores médios dos sólidos solúveis totais (SST) para a polpa integral foi de 13,78 (°Brix), sendo superior ao obtido por Batista *et al.* (2015) de 13,40 °Brix para mesma variedade. Valores superiores foram determinados por Pacheco *et al.* (2015) entre 14,60 – 17,50 (°Brix), e por Bezerra *et al.* (2010) de 16,65 °Brix em manga da variedade espada. Os sólidos solúveis representam o índice dos açúcares totais, variando entre os cultivares e o estágio de maturação. Em relação aos sólidos solúveis da polpa em pó de 78,00 (°Brix), o alto valor obtido é atribuído à retirada de água durante a secagem e adição de maltodextrina, que é um carboidrato proveniente do amido hidrolisado (DOKIC-BAUCAL; DOKIC; JAKOVLJEVIC, 2004). Valores inferiores (76,30 °Brix) foram relatados por Moreira *et al.*, (2013), em pó de manga liofilizado sem maltodextrina. No entanto Filho (2012) determinou valores entre 75,00 e 85,00 °Brix.

Como são parâmetros relacionados também ocorreu o aumento dos açúcares ao se verificar os valores de açúcares totais e redutores comparando a polpa integral e liofilizada, de 16,93 e 2,71%, e 42,62 e 7,50%, respectivamente. Bezerra *et al.* (2010) determinaram 16,27% em açúcares totais para manga integral espada e 6,35% em açúcares redutores. Já Ribeiro *et al.* (2015) relataram 4,30% em açúcares redutores para variedade Tommy Atkins.

Valores inferiores de açúcares totais foram relatados pela United States Department of Agriculture (USDA, 2012) e Zotarelli (2014), com valores de 13,66 e 14,05%, respectivamente. Ressalta-se que o valor em açúcares totais encontrado para polpa integral, está de acordo com o especificado na legislação máximo de 17,00 g/100g em açúcares totais (BRASIL, 2000). Bezerra *et al.* (2011) encontraram em amostras em pó das variedades Rosa e Tommy açúcares totais com valores inferiores de 40,47 e 39,42%, respectivamente e superiores em açúcares redutores (36,32 e 29,14%, respectivamente).

Como a solubilidade dos produtos em pó está envolvida ao conteúdo de sólidos presentes que são solúveis em água, e como já relatados a polpa em pó apresenta altos valores de açúcares e sólidos solúveis, resultando numa matéria-prima de fácil solubilidade (86,89%). Valor superior foi determinado por Caparino *et al.* (2012), obtendo 89,70% em liofilizador. Por sua vez Sogi; Siddiq; Dolan (2015) obtiveram valores diferentes de solubilidade em estudo com diferentes processos de secagem que variaram de 66,80 a 78,69%. Essas diferenças podem estar

associadas ao estágio de maturação e variedade dos frutos em estudo, ao uso de adjuvantes de secagem (maltodextrina), assim como os processos de secagem utilizados.

A concentração do ácido ascórbico na polpa de manga integral obtido (52,74 mg/100g) foi superior ao relatado por Melo; Araújo (2011) para as cultivares Espada, Rosa e Tommy Atkins (38,21, 28,70 e 20,85 mg/100g, respectivamente). Valores inferiores foram determinados por Silva *et al.* (2012), que obtiveram 20,88 mg/100g de ácido ascórbico e Oliveira *et al.* (2014) em estudos com diferentes marcas de polpa, no qual o maior valor encontrado foi de 32,93 mg/100g de ácido ascórbico. Soares; São José (2015), que determinaram 89,44 e 63,33 mg/100g para polpa de manga Rosa e Espada, respectivamente.

Os valores de ácido ascórbico diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre a polpa integral e em pó. De acordo com o resultado expresso em matéria seca, houve uma redução de 85,67% do teor de ácido ascórbico após o processo de secagem; comportamento similar foi identificado por Moreira *et al.* (2013) em que a polpa de manga liofilizada teve redução de ácido ascórbico de 76,99% após o processo de desidratação.

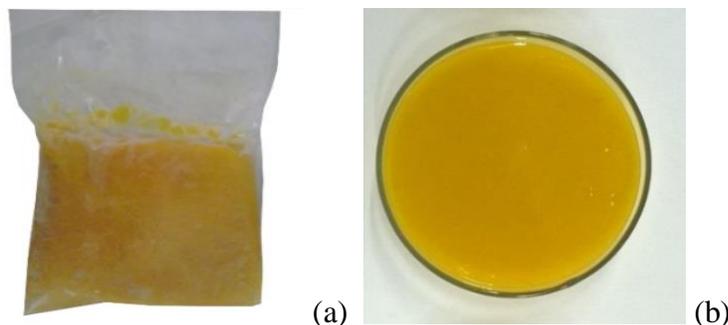
De acordo com Sagar; Suresh (2010) a preservação do ácido ascórbico durante a liofilização é maior se comparada a métodos de secagem que utilizam altas temperaturas, no entanto sua degradação ocorre tanto pelas altas temperaturas como pela degradação oxidativa. Assim, conforme Caparino *et al.* (2012) a redução nos valores de ácido ascórbico nos produtos liofilizados pode ser explicada pela alta porosidade promovida por esse tipo de secagem, expondo o produto ao oxigênio e posterior degradação oxidativa. Dantas (2010) obteve valor inferior de 17,73 mg/100g de ácido ascórbico para pó de polpa de manga obtida em camada de espuma à 70 °C, possivelmente o valor inferior determinado pode ter ocorrido pela temperatura utilizada no processo.

A legislação brasileira não apresenta valores padrões de ácido ascórbico para polpa de manga, somente para acerola, cupuaçu, graviola, goiaba e caju. A vitamina C é um antioxidante facilmente degradável, sendo reduzido desde o processamento e obtenção das polpas, como também durante todo o armazenamento. As comparações entre os diversos estudos citados anteriormente permitem observar que o conteúdo de ácido ascórbico analisados variou de um estudo para outro.

Os parâmetros colorimétricos da polpa integral foram determinados apresentando valores médios de L* de 54,79 e b* de 51,91, sendo superiores aos descritos por Filho (2012) em

polpa de manga Haden (L^* e b^* 40,80 e 49,51), respectivamente. Batista *et al.* (2015) encontraram também valor inferior de luminosidade (40,59) para mesma variedade. A polpa de manga Tommy Atkins utilizada na pesquisa encontra-se na Figura 24:

Figura 24 – Polpa de manga Tommy Atkins utilizada na pesquisa em embalagem de polietileno (a) e em placa de petri (b)



A análise de cor revelou que os valores médios encontrados para L^* (60,01), coordenada a^* (-3,38) e coordenada b^* (19,94) dos pós são diferentes dos obtidos para polpa integral, demonstrando que o pó apresentou maior luminosidade em relação à polpa, isso ocorreu devido à adição da maltodextrina de cor branca, a intensidade de verde (a^*) diminuiu (-3,38), assim como a intensidade do b^* (19,94), característica da polpa de manga definida como amarela.

Caparino *et al.* (2012) obtiveram valores superiores, em manga cultivar Philippine ‘Carabao’, foram obtidos para pós da liofilização (reidratados) valores de a^* ($4,69 \pm 0,01$) e b^* ($40,99 \pm 0,23$). No entanto, apresentando luminosidade com valor inferior L^* ($43,74 \pm 0,06$), ressalta-se que a pesquisa não utilizou maltodextrina, podendo ter sido o motivo de uma luminosidade menor. Sharma *et al.* (2013) em secagem de camada em espuma de polpa de manga utilizando três temperaturas (50, 60 e 85 °C) obtiveram valores crescentes de luminosidade L^* (70,07; 72,20 e 76,93) e valores decrescentes para a intensidade de vermelho (-) a^* (17,48; 16,37 e 13,06) e intensidade de amarelo (+) b^* (58,45, 57,01 e 54,94), levando a consideração de que a temperatura usada no processo também influencia os parâmetros colorimétricos.

Os resultados obtidos para os valores médios de carotenoides (2,53 mg/100g) revelam que esses fazem parte dos compostos que conferem a cor característica da fruta. O resultado obtido apresentou-se superior ao descrito por Bezerra (2010) no estudo de variedades de manga (Coité, Espada e Tommy Atkins) determinando valores de 2,03, 1,49 e 1,65 mg/100g, respectivamente, no entanto, inferior para manga cultivar rosa (2,74 mg/100g). Silva *et al.* (2014)

relataram 1,90 mg/100g de carotenoides para a variedade Palmer, sendo inferior ao valor encontrado no estudo. Assim como Ribeiro *et al.* (2015) que descreveram valores de 0,58 mg/100g e 1,27 mg/100g para frutos em maturidade fisiológica e maduro, respectivamente.

Observou-se que o teor de carotenoides totais da polpa de manga em pó, foi menor do que na manga integral, quando comparados os valores em base seca, o que coincidindo com a diminuição do parâmetro de cor (b^*) observado. O teor valor obtido 2,94 mg/100g foi inferior ao resultado de Kadan *et al.* (2010) em polpa de manga em pó obtida por camada de espuma utilizando temperatura de 75 °C identificando valor de 3,70 mg/100g.

Em estudo de compostos bioativos presentes em manga afetados por diferentes técnicas de secagem, Sogi; Siddiq; Dolan (2015) determinaram valores que oscilaram entre 3,28 e 5,17 mg /100g observando que a secagem apresentou efeito do calor nos carotenoides totais, encontrando níveis mais altos em amostras liofilizadas. Embora o teor de carotenoides da polpa de manga obtido em liofilizador tenha sido menor, em comparação aos trabalhos já citados, deve se levar em consideração a matéria prima utilizada neste trabalho e o método de extração que pode influenciar diretamente nos resultados obtidos.

Com relação aos valores de compostos fenólicos observados no trabalho para polpa integral de manga Tommy Atkins (99,89 mg GAE/100g), obteve-se valor superior ao encontrado por Oliveira *et al.* (2011) de 59,8 mg GAE/100 mg em estudo com mangas obtidas do Centro de abastecimento – Ceasa. Kaushik *et al.* (2014) também obtiveram valor inferior ao relatado na pesquisa, quantificando 53,34 mg GAE/100g, essas diferenças podem ser pelo tipo de variedade estudado e o estágio de maturação do fruto.

O teor de polifenóis totais presentes na polpa de manga Tommy Atkins em pó foi de 248,60 mg GAE/100g, inferior aos valores encontrados por Hung (2012) em estudo de variedades de manga relatando 754,4 mg GAE /100g para a mesma cultivar em estudo. Roshanak; Rahimmalek; Goli (2015) em estudo de folhas de chá verde obtidos por sete tipos de secagem obtiveram 143,09 mg GAE /100g, sendo o segundo maior valor encontrado, identificando o processo de liofilização como um dos melhores para a preservação de compostos sensíveis a temperatura como os fenólicos, que são alterados ou perdidos pelo calor e reações oxidativas. Essas diferenças em produtos em pó ocorrem em razão do tipo de secagem, uso de adjuvantes e a variedade da matéria-prima.

5.4.2 Resultados da estabilidade do pó da polpa de manga Tommy Atkins

Diante dos resultados do planejamento experimental, que permitiram escolher 24 h de liofilização e 10 % de maltodextrina como condição de trabalho, e das características apresentadas na morfologia e propriedades reológicas para a amostra com adição de 10% de maltodextrina, ressaltando as qualidades desse pó da polpa de manga.

Foi realizado o estudo da estabilidade para o pó de manga como forma de avaliar a melhor embalagem e condição (com vácuo e sem) para seu armazenamento. As amostras do pó da polpa de manga Tommy Atkins obtido em liofilizador, sob o período de 90 dias de armazenamento, permaneceram na forma de pó até o final do período, permitindo a realização das análises, que constituíram o estudo da estabilidade. É importante salientar que cada embalagem foi dividida em 7 intervalos (0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias) sendo necessário duas secagens distintas, sob as mesmas condições, para obter pó suficiente para o período de estabilidade.

5.4.2.1 Umidade

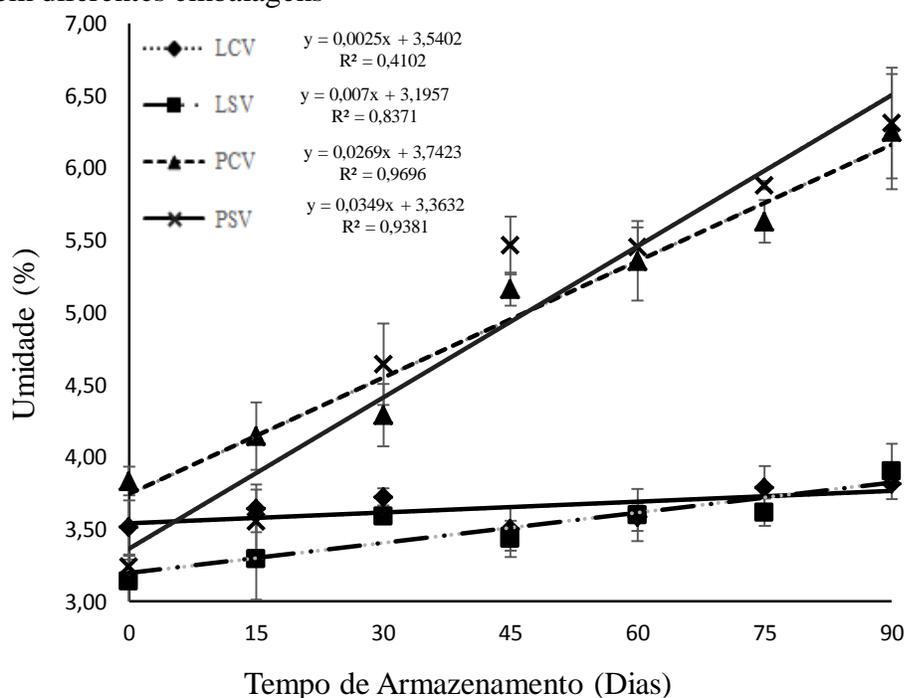
Os resultados do Apêndice (1) revelaram o comportamento da variável umidade, observou-se de forma geral, que ocorreu tendência de aumento da umidade no decorrer do armazenamento, sendo constatado que a embalagem laminada favoreceu a manutenção da umidade do produto. Durante os 90 dias as amostras não apresentaram valor de umidade superior aos 4%, em ambas as condições (com vácuo e sem vácuo), ocorrendo um aumento de apenas 8 e 24% da umidade entre o início e fim do período de armazenamento, respectivamente.

Em contrapartida, o pó de polpa de manga armazenado em PCV e PSV ao final do período alcançaram os valores de 6,25 e 6,31, respectivamente, o que resultou em 63,18 e 94,74%, mostrando que a embalagem de polietileno não conferiu uma boa barreira à absorção de umidade, possibilitando a passagem de umidade e uma possível absorção pelo produto.

Foi possível constatar através da Figura 25 que a embalagem de polietileno (PCV e PSV) conferiu a polpa de manga em pó armazenada um aumento gradativo da umidade com o tempo, de forma que a linha de tendência do gráfico apresentou-se ascendente. Com relação às embalagens laminadas (LCV e LSV) observaram-se linhas de tendências quase constantes durante todo o período de estabilidade, mostrando o baixo ganho de umidade (Apêndice 1).

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) foram elevados para as embalagens LSV; PCV e PSV, resultando em bons ajustes dos valores observados nas retas, podendo dessa forma, utilizar as equações das retas obtidas para descrever o comportamento da variável durante o tempo de armazenamento.

Figura 25 - Umidade (%) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Resultado semelhante ao do presente trabalho foi observado por *Henríquez et al.* (2013) na produção de casca de maçã em pó armazenada em embalagem de polietileno de alta densidade e filme metalizado de alta barreira durante 120 dias em condições aceleradas sob (38 °C, 90% umidade relativa) e condições convencionais (25, 10 e 4 °C, 60-70% umidade relativa), mostrando que a embalagem de polietileno ganhou mais umidade com o aumento da temperatura e do tempo de armazenamento. Gallo; Moser; Telis (2015) também observaram aumento da umidade em suco de uva em pó armazenado (90 dias) em embalagens de polietileno de baixa densidade seladas a vácuo e colocadas em uma estufa com temperatura controlada de 25 °C.

Oliveira *et al.* (2013) estudaram o uso de diferentes agentes carreadores nas características físico-químicas de polpa de morango em pó, armazenado por 90 dias à 25 °C, em

embalagens flexíveis de alumínio com polietileno, sendo observado aumento de umidade para todas as amostras com os diferentes agentes usados, indicando que a embalagem utilizada permitiu certa adsorção de água durante este período.

O comportamento do teor de umidade observado no presente estudo e nos trabalhos citados anteriormente pode ser explicado por diferenças de propriedades nas barreiras mecânicas, ópticas e térmicas existente entre os materiais das embalagens, os diferentes tipos e espessuras de filme, além da temperatura e umidade relativa à que são submetidas (FELLOWS, 2006).

5.4.2.2 Atividade de água

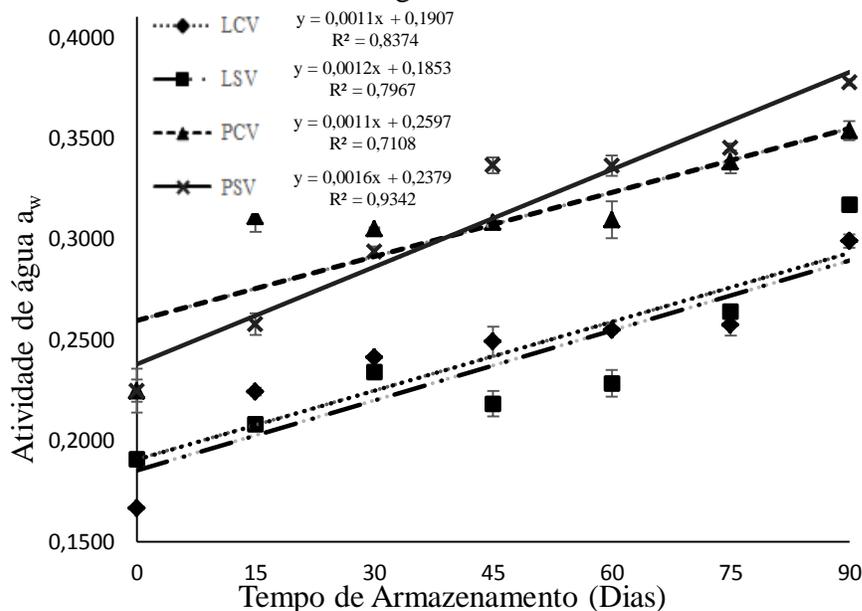
Verificou-se, através do Apêndice 2, que houve uma tendência de aumento da atividade de água ao comparar os pontos iniciais e finais dos 90 dias de estabilidade para todas as embalagens (laminada e polietileno).

De forma similar, Galdino *et al.* (2016), verificaram aumento dos valores de atividade de água em amostras de figo-da-Índia em pó armazenados sob 90 dias à 25 e 40 °C e com umidade relativa de 83%. Diferente resultado foi obtido por Moreira *et al.* (2011) ao analisarem polpa de cupuaçu em pó (secagem em estufa à 60 °C por 46, 52 e 56h) acondicionado em embalagem de polietileno (90 dias), pois identificaram valores iniciais e finais muito próximos para todas as condições adotadas, não havendo aumento significativo.

A embalagem laminada utilizada para o armazenamento do pó de polpa de manga possui como característica baixa permeabilidade, porém ocorreu uma variação de 79,58% e 66,25% para a LCV e LSV, respectivamente, entre o início e o final do armazenamento. Percentuais elevados também foram verificados para as embalagens PCV e PSV com 52,74% e 67,97 %, respectivamente, essas embalagens chegaram ao final do período de estabilidade com valores maiores desse parâmetro (0,3536 e 0,3776).

Observou-se que as equações da reta na Figura 26, para todas as embalagens estudadas, apresentam coeficientes positivos, indicando que as retas são crescentes, comprovando assim a tendência da atividade de água a aumentar com o tempo de armazenamento.

Figura 26 – Atividade de água (a_w) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) foram elevados (0,83; 0,79; 0,71 e 0,93) tendo em vista a baixa oscilação dos valores durante o período estudado. Dessa forma, os dados experimentais obtidos, se ajustaram bem as retas. Podendo as equações ser utilizadas para prever o comportamento da atividade de água para o pó de manga ao longo do tempo.

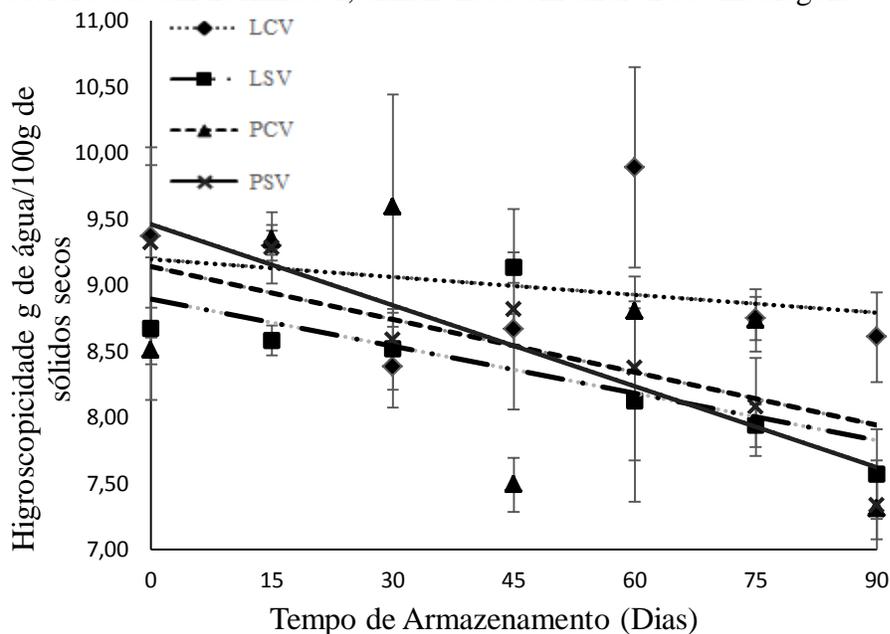
5.4.2.3 Higroscopicidade

Avaliando-se os resultados para a higroscopicidade da polpa de manga em pó durante o período de armazenamento (Apêndice 3), constatou-se que as embalagens (LSV, PCV e PSV), tiveram diferenças entre o intervalo inicial e final (90 dias), isso não foi constatado para a LCV, mostrando que as condições ao qual foram submetidas influenciaram seus resultados.

O comportamento da variável higroscopicidade durante o período de armazenamento obteve uma diminuição de 8,11, 12,69, 14,10 e 21,24% para as embalagens LCV, LSV, PCV e PSV, respectivamente, entre os valores iniciais e finais do período de estabilidade. Verificou-se que os percentuais das embalagens LCV e LSV se apresentaram menores, podendo ser explicado pela baixa permeabilidade da embalagem laminada à umidade (Apêndice 1).

A tendência da umidade, como já observado na Figura 25, foi de aumentar, e consequentemente, a higroscopicidade tendeu a diminuir de forma proporcional, como se verificou na Figura 27, pois menos sítios de ligação nas partículas do pó de manga estão disponíveis para interagir com moléculas de água.

Figura 27 – Higroscopicidade (g de água/100g de sólidos secos) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

As equações da reta (Figura 27) apresentaram coeficientes negativos, gerando retas decrescentes, o que confirma a tendência da higroscopicidade a diminuir com o tempo de armazenamento. Sousa *et al.* (2016) ao avaliarem suco de caju em pó obtido em leite de jorro, identificaram que o pó armazenado na embalagem laminada à vácuo mostrou higroscopicidade estável ao longo de 60 dias, visto que nessa embalagem houve pouca absorção de umidade. No entanto para a embalagem de polietileno, ocorreu redução aos 60 dias da higroscopicidade, se constatando maior permeabilidade ao vapor de água, para a referida embalagem.

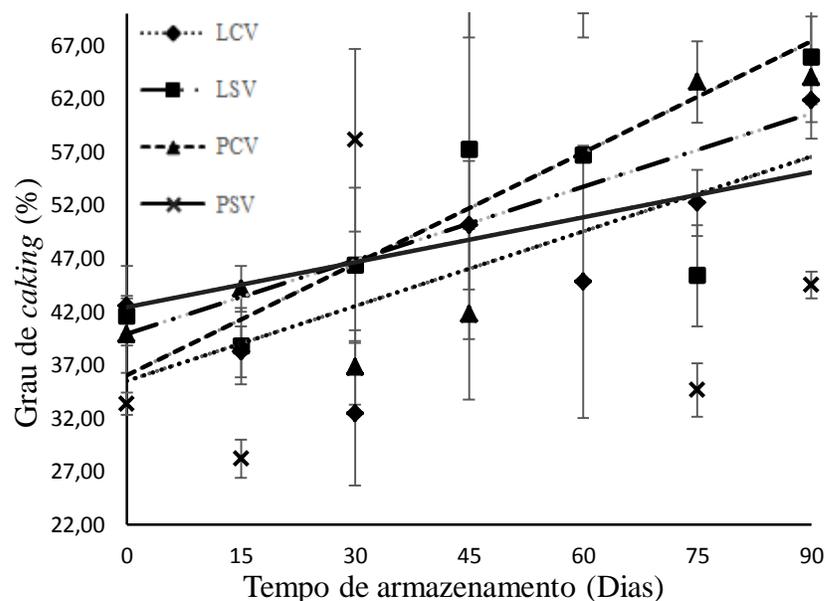
Oliveira *et al.* (2015) verificaram baixos valores de higroscopicidade ao estudarem pó liofilizado de palmeira grugru, em diferentes tipos de secagem (com e sem maltodextrina) em amostras acondicionadas em embalagens laminada com vácuo e sem e embalagem plástica.

5.4.2.4 Grau de Caking

Analisando-se os resultados dos valores médios do grau de *caking* (Apêndice 4), constatou-se que ocorreu aumento para todas as embalagens, quando observados os tempos iniciais e finais. Essa tendência de crescimento foi de 45,30% e 58,43% para as embalagens laminadas (LCV e LSV) e 60,56% para a embalagem de polietileno (PCV).

No estudo da embalagem PSV obteve-se um resultado não esperado, ocorrendo uma diminuição do parâmetro ao final do período de armazenamento (90 dias) e um crescimento de apenas 33,39% entre os valores iniciais e finais. Sousa *et al.* (2016), identificaram muitas oscilações e valores elevados para o grau de *caking* de amostras de suco de caju em pó, armazenado em duas embalagens (laminada e plástica com vácuo) durante 90 dias, atribuindo esse resultado aos erros inerentes a metodologia. O que pode ter acontecido no presente estudo.

Figura 28 - Grau de *caking* (%) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Como apresentado na Figura 28, as equações das retas apresentaram coeficientes positivos, o que confirma a tendência da variável a aumentar com o tempo de armazenamento. Os altos valores observados de grau de *caking* obtidos na polpa de manga em pó são esperados,

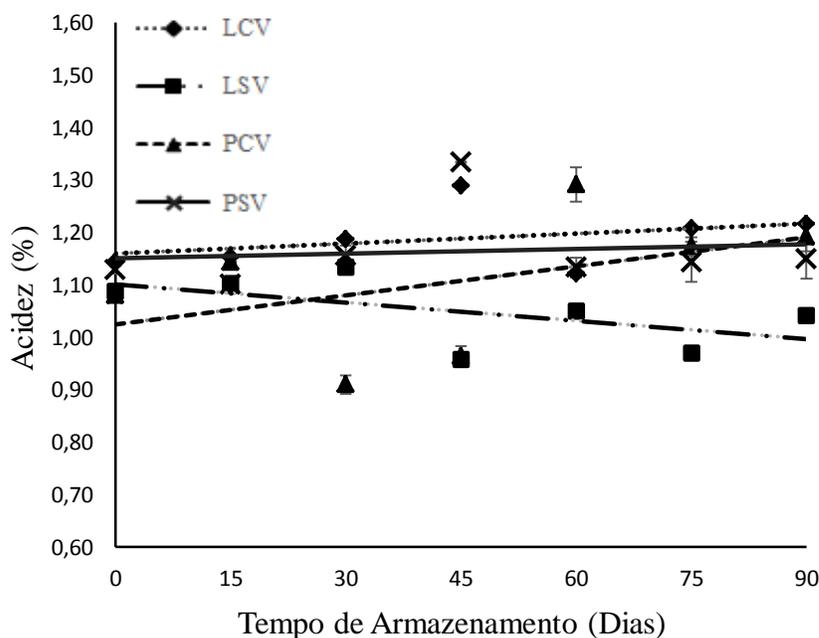
porque os açúcares presentes na sua composição apresentam baixo peso molecular, que favorecem a possível aglomeração (GOULA; ADAMOPOULOS, 2010).

5.4.2.5 Acidez

Os valores médios para a acidez total titulável durante todo o período de armazenamento (Apêndice 5), para todas as embalagens, não apresentou uma tendência definida, levando a suposição de que o parâmetro apresentou uma independência em relação ao tempo de estabilidade sob as condições estudadas. Resultado semelhante foi obtido por Oliveira *et al.* (2015a) ao estudarem fruto do mandacaru em pó, obtido em *spray-dryer* com adição de maltodextrina com dextroses equivalentes (10DE e 14DE), acondicionados em embalagens laminadas (50 dias) com umidade relativa de 57,7% à 25 °C, constatando que os valores de acidez permaneceram estáveis ao longo do armazenamento.

Através da Figura 29, foi possível verificar que as embalagens laminadas e polietileno apresentaram, através das equações das retas, coeficientes angulares com valores muito baixos, mostrando retas praticamente constantes.

Figura 29 – Acidez (%) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Os baixos coeficientes observados indicam que a variável acidez é relativamente estável durante o armazenamento, independentemente do tipo de embalagem (laminada e polietileno) e condição (com vácuo e sem vácuo).

Diferentemente do observado no presente estudo Miranda *et al.* (2010) relataram, em estudo de semente de guaraná em pó usando três tipos de embalagem (saco plástico, saco metalizado e pote de plástico), diferenças estatísticas somente em relação ao tempo e não entre as embalagens, identificando que a acidez diminuiu durante 240 dias, pois houve aumento da umidade no decorrer do período, fato esse indicou haver alteração química do produto com substâncias ácidas em menor quantidade.

Sagar; Kumar (2012) ao estudarem pó de Bael utilizando maltodextrina e fosfato de tricálcico como agentes de secagem e antiaglomerante, respectivamente, armazenados em três tipos de embalagem sob baixa temperatura (7 °C) e ambientais (18 - 35 °C) durante 6 meses identificaram diminuição da acidez no decorrer do período, para as amostras em embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade submetidas a temperaturas ambientais.

5.4.2.6 pH

Observou-se que a variável estudada apresentou relativa manutenção dos valores de pH para as embalagens com vácuo (LCV e PCV), pois chegaram ao final do período estudado, sem diferenças estatísticas. Para as embalagens sem vácuo (LSV e PSV) constatou-se certa diminuição dos valores, apresentando diferenças no intervalo de confiança ($p < 0,05$) para o tempo de 0 dias e 90 dias (Apêndice 6).

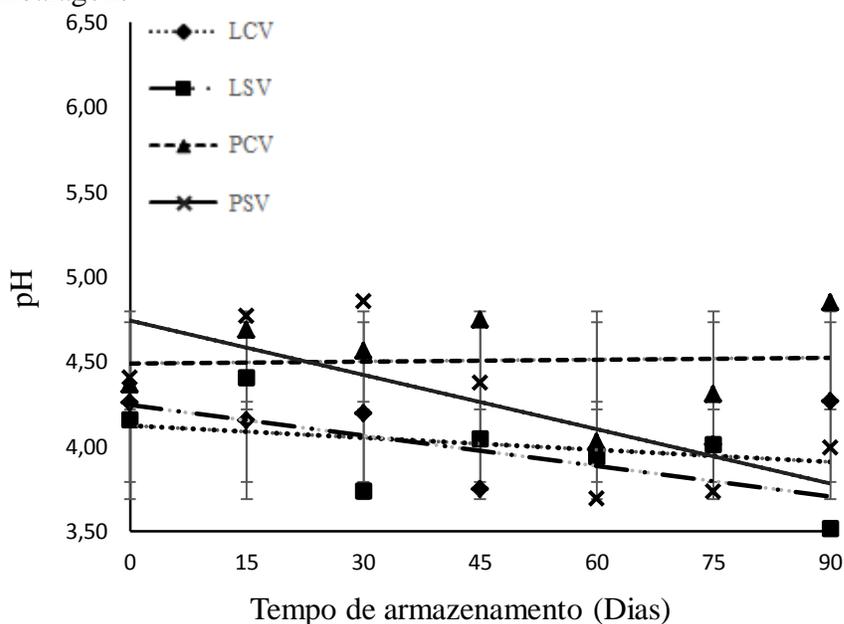
Diferente resultado foi obtido por Loureiro *et al.* (2013) ao estudarem amostras de buriti em pó obtidos através de três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C) e acondicionadas em embalagens de polietileno e laminada, observaram poucas oscilações entre os valores médios obtidos, de forma geral todas as amostras apresentaram reduções.

Chauhan; Patil (2013) que analisaram bebida mista em pó de leite e polpa de manga, obtido por aspersão, armazenados em lata de estanho, embalagem laminada de 4 camadas (folha de polietileno-alumínio-polietileno-papel), poliéster metalizado, pacotes de poliestireno, armazenados sob 5 e 30 °C, revelaram que o pH diminuiu para todas as embalagens com 240 dias de armazenamento, estas diminuições foram menores para as amostras acondicionadas em lata de

estanho sob ambas as temperaturas, sendo a embalagem que melhor conservou os parâmetros físico-químicos do produto.

Nas equações das retas na Figura 30, foi possível identificar que os coeficientes para as embalagens (LCV, LSV e PCV, PSV) são muito baixos, indicando que existe certa tendência da reta a ser constante para o período de 90 dias. Diante do que se pôde observar e através dos baixos coeficientes a variável provavelmente, pouco foi afetada pelo tempo de armazenamento, indicando certa estabilidade diante das condições estudadas.

Figura 30 - pH da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

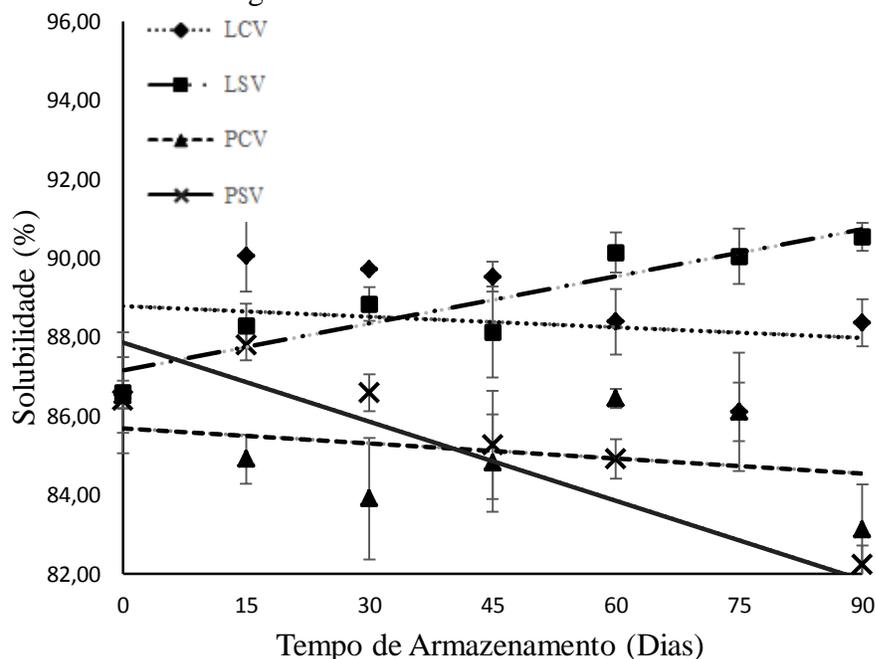
5.4.2.7 Solubilidade

Diante dos resultados apresentados para a variável solubilidade da polpa de manga em pó durante o período de armazenamento (Apêndice 7), verificaram-se que as embalagens LCV e LSV chegaram ao final do tempo de armazenamento com diferenças estatísticas ($p < 0,05$) em relação ao período inicial, respectivamente. Notou-se para as embalagens de polietileno (PCV – PSV) certa diminuição nos valores de 3,94 e 4,80%, respectivamente, ao se verificar os valores

iniciais e finais. Dessa forma, as embalagens laminadas se apresentaram como melhores para o armazenamento da polpa em pó de manga.

Como pode ser visto na Figura 31 as equações das retas apresentaram coeficientes negativos para as embalagens PCV e PSV, indicando que as retas são decrescentes, de forma a representar a tendência da variável a diminuir com o tempo de armazenamento, como relatado anteriormente.

Figura 31 - Solubilidade (%) da polpa de manga Tommy Atkins desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

A solubilidade das amostras pode ter sido afetada durante o armazenamento no caso das embalagens de polietileno do presente estudo, pela formação de compostos insolúveis, ocasionado por possíveis reações devido ao aumento de umidade nessas embalagens (Figura 23), fato esse também observado por Chauhan; Patil (2013) em bebida mista de leite e manga em pó armazenado por 240 dias em embalagem de poliestireno, em que as amostras apresentaram menores valores de solubilidade ao final do período.

Semelhante ao presente estudo Sousa *et al.* (2016) avaliaram suco de caju em pó com relação aos parâmetros físico-químicos, e verificaram um pequeno decréscimo dos valores de

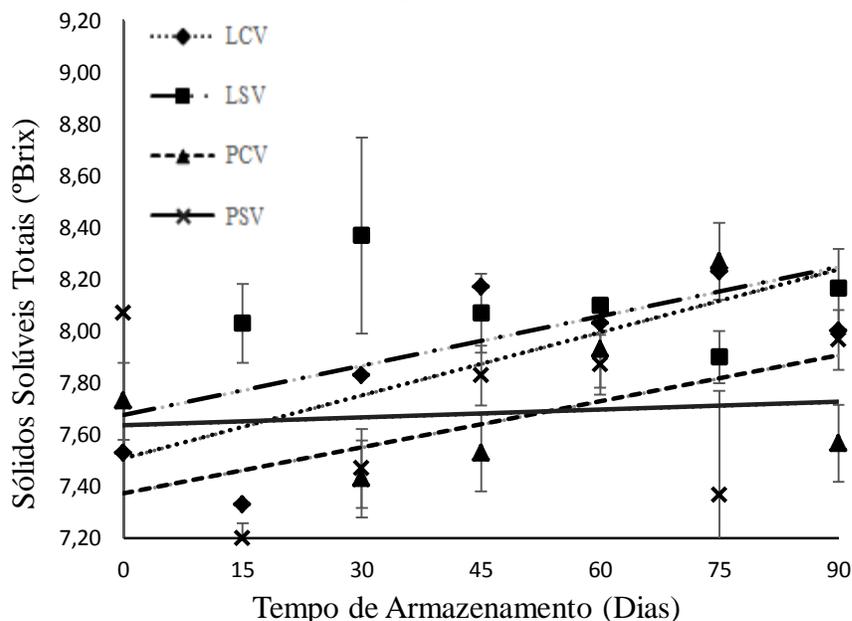
solubilidade de 0,24% para a embalagem laminada e 1,39% para a polietileno ao final de 60 dias de estabilidade, atrelando os resultados à possíveis reações ocorridas ao longo do armazenamento, fazendo com que os compostos presentes não se solubilizassem bem.

5.4.2.8 Sólidos Solúveis Totais (°Brix)

Verificou-se que para as amostras nas embalagens LCV e LSV, houve diferenças estatísticas dos valores de sólidos solúveis totais entre o início e o final do período de armazenamento, o mesmo não foi observado para as embalagens PCV e PSV, que apresentaram valores considerados estatisticamente iguais em relação ao tempo inicial (Apêndice 8).

Observou-se na Figura 32 que retas obtidas apresentam pequena inclinação, sugerindo que as embalagens PCV e PSV apresentam tendência a estabilidade (constante). Foi possível constatar que a embalagem LCV apresentou uma reta totalmente constante, esta foi à embalagem com maior manutenção hídrica durante a estabilidade, e isso pode ter levado a uma maior preservação dos sólidos presentes.

Figura 32 - Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de manga Tommy Atkins desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Moreira *et al.* (2011) ao estudarem polpa de cupuaçu em pó armazenado em filme de polietileno de baixa densidade durante 90 dias, produzidos por três temperaturas (46h, 52h e 58h) e Loureiro *et al.* (2013), para amostras de buriti em pó produzidas em temperaturas de 50, 60 e 70°C acondicionadas em embalagens de polietileno e laminada, durante 90 dias, observaram reduções para os sólidos solúveis totais, em razão do aumento do teor de água durante o armazenamento, alterando a proporção de sólidos na massa total.

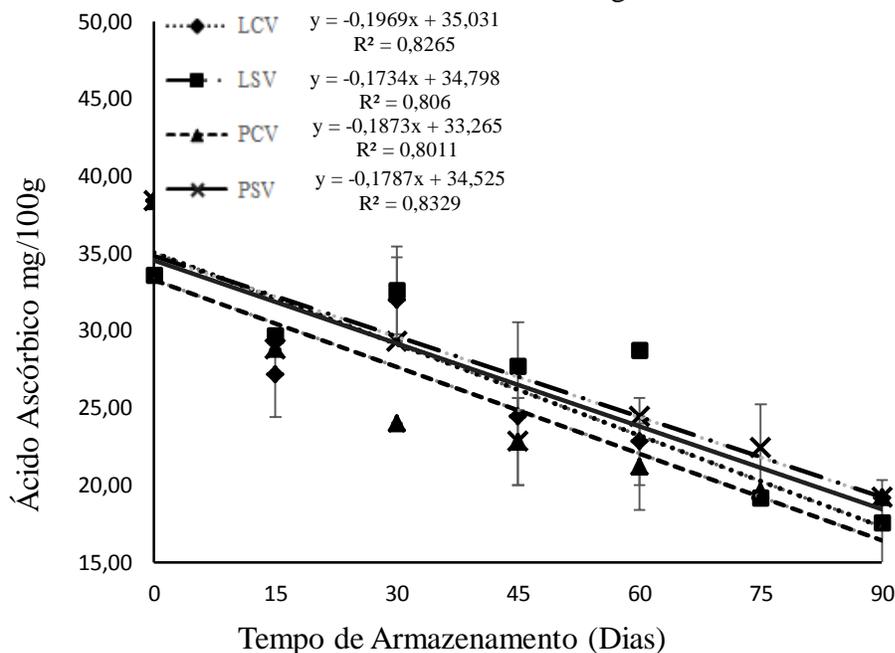
5.4.2.9 Ácido Ascórbico

Verificaram-se no Apêndice 9, os valores médios dos teores de ácido ascórbico do pó da polpa de manga armazenada durante 90 dias. Considerando-se em termos gerais, para todas as embalagens estudadas o teor de ácido ascórbico sofreu redução contínua e progressiva do início ao final do período, sendo que entre os tempos zero e 90 dias, foi detectada uma redução significativa de 50,06%, 47,65%, 49,93% e 49,92% para as embalagens LCV, LSV, PCV e PSV, respectivamente. Essas reduções no teor de ácido ascórbico podem ter ocorrido em razão do tipo de embalagem, pH, luz, teor de água das amostras, do oxigênio dentro da embalagem e da temperatura e umidade relativa de armazenamento (OLIVEIRA *et al.*, 2015a).

Moraga *et al.* (2012) avaliaram a estabilidade de toranja (*grapefruit*) em pó liofilizado em função da umidade relativa após 3 e 6 meses de armazenamento, também observaram redução nos valores de ácido ascórbico à medida em que se aumentava a umidade relativa, pois as amostras absorveram mais umidade e com isso possíveis reações oxidativas aconteciam, gerando perdas no percentual de ácido ascórbico.

Da mesma forma Alexandre *et al.* (2014) ao estudarem o pó de polpa de pitanga armazenada por 60 dias observaram decréscimo dos valores de ácido ascórbico, identificando que a embalagem (multifolhada), não evitou alterações de qualidade nas amostras, justificando os resultados em razão da transparência e permeabilidade da embalagem. Fato esse pode ter ocorrido com as embalagens do presente estudo, que tiveram ganhos de umidade ao longo do período de estabilidade, principalmente pelas de polietileno mais sujeitas a exposição a luz por conta da transparência da embalagem. Como observado na Figura 33 todas as equações das retas apresentaram coeficientes negativos, gerando retas decrescentes, o que confirma a tendência da variável a diminuir com o tempo de armazenamento.

Figura 33- Concentração de ácido ascórbico (mg/100g) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

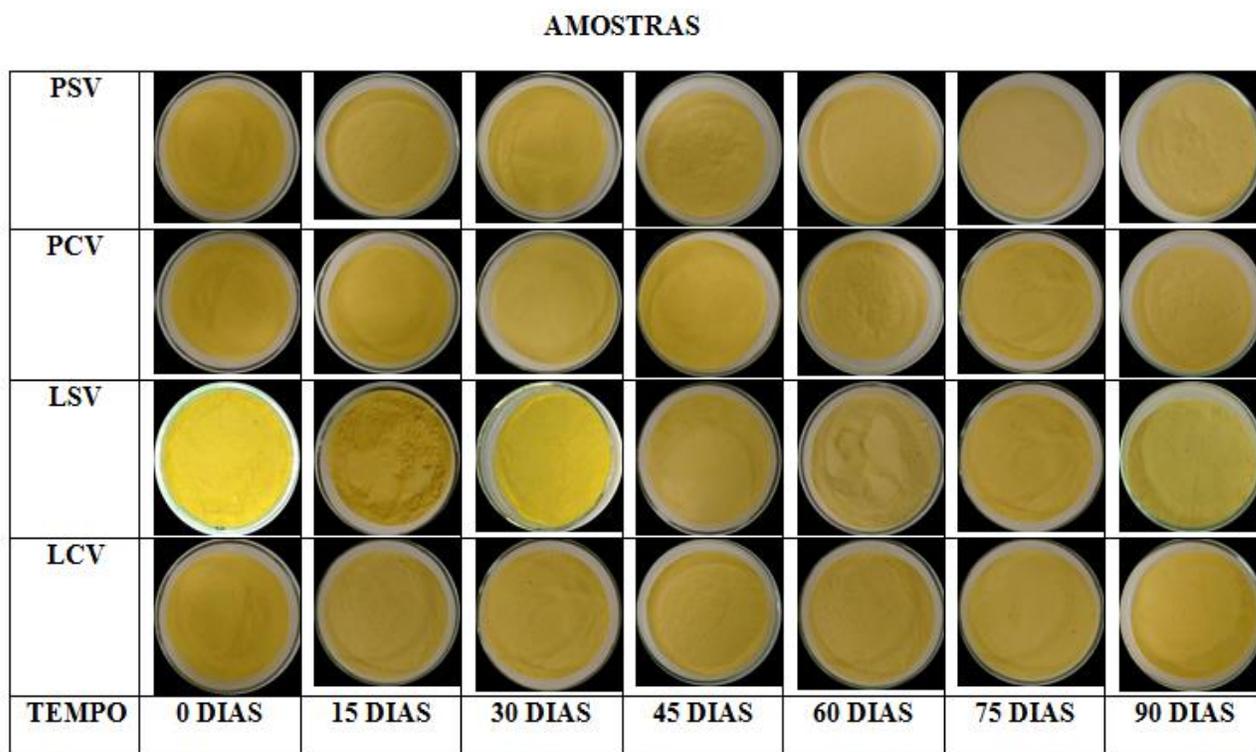
As equações obtidas podem ser usadas para prever o comportamento da variável em relação ao tempo de armazenamento. Com relação aos coeficientes de determinação (R^2) encontrou-se valores elevados para as embalagens LCV (0,8265), LSV (0,8060), PCV (0,8011) e PSV (0,8329), mostrando bons ajustes dos dados experimentais à reta.

5.4.2.10 Análise de Cor

A cor dos alimentos pode se referir as suas qualidades e atributos nutricionais estando entre os fatores de escolha por parte do consumidor, dessa forma é importante à manutenção das características mais próximas do seu estado integral, durante o processo de secagem e armazenamento.

O estudo realizado na estabilidade da polpa de manga em pó para as coordenadas cromáticas (L^* , a^* e b^*) durante os 90 dias de armazenamento são apresentados (Figura 34), como uma forma de avaliar as alterações de cor no período estudado.

Figura 34 - Cor das amostras de polpa de manga Tommy Atkins em pó durante o período de estabilidade (90 dias) acondicionado em embalagens: (LCV) – laminada com vácuo; (LSV) – laminada sem vácuo; (PCV) – polietileno com vácuo e (PSV) – polietileno sem vácuo



Ao observar a Figura 34 constatou-se que a cor das amostras sofreu modificações durante o período estudado, de forma a se identificar uma diminuição da intensidade da cor amarela ao final de 90 dias de estabilidade, principalmente para as embalagens de polietileno e de modo geral as amostras apresentaram pouco escurecimento. Constatou-se também que apesar da redução observada, a cor característica da polpa em estudo foi mantida até o final do período.

5.4.2.10.1 Parâmetro colorimétrico (a^*)

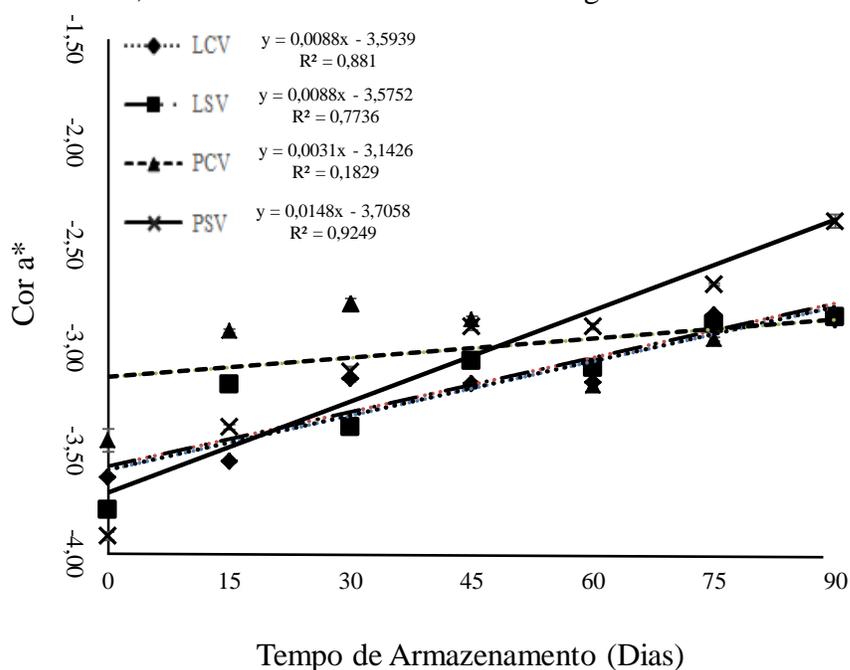
Os valores médios da variável colorimétrica a^* (Apêndice 10), para todas as embalagens (LCV, LSV, PCV e PSV) entre o tempo inicial (0 dias) e final da estabilidade (90 dias) apresentaram diminuições de 20,94, 24,80, 17,10 e 39,03%, respectivamente.

Galdino *et al.* (2016) identificaram em amostras de figo-da-índia em pó armazenadas sob 25 e 40 °C durante 40 dias, diminuição da coordenada (a^*) para a temperatura de 25 °C. Já

para a de 40 °C ocorreu uma diminuição apartir dos 20 dias, permanecendo constante de 30 dias até o final do período. De forma geral, a variável permaneceu estável ao longo do tempo de armazenamento para ambas as temperaturas, diferente do que foi encontrado no presente estudo.

Na Figura 35, as equações das retas apresentam coeficientes positivos para todas as embalagens, gerando retas crescentes, diminuindo a coloração esverdeada das amostras, visto que, os valores tendem a zero e a uma região positiva de a^* .

Figura 35 – Parâmetro a^* (intensidade de verde) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

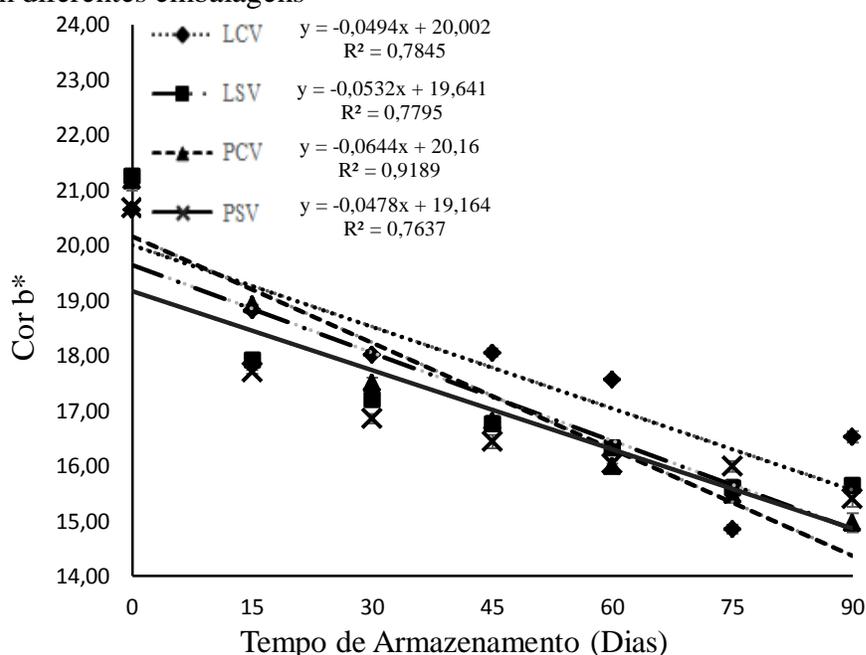
5.4.2.10.2 Parâmetro colorimétrico (b^*)

Os valores obtidos para a intensidade de amarelo $+b^*$ (Apêndice 11) revelam que as amostras sofreram reduções para todas as embalagens estudadas. Sendo essa redução de 24,94% para a LCV e 26,39% para a LSV, e valores ligeiramente maiores para as embalagens PSV e PCV de 25,49 e 29,33%, respectivamente. Desse modo, a embalagem laminada com vácuo foi mais eficaz na manutenção da cor amarela da polpa de manga em pó. As embalagens de polietileno tiveram os maiores teores de água (Apêndice 1) e isso pode ter influenciado possíveis

reações, levando a perda de compostos, responsáveis pela cor (carotenoides), além da transparência e permeabilidade que pode ter possibilitado exposição à luz e ao oxigênio.

As equações da reta obtidas para a coordenada (b^*) Figura 36, são negativas, indicando que há uma tendência da reta a ser decrescente para o período de estabilidade (90 dias), comprovando a redução da intensidade de cor amarela. Os coeficientes de determinação (R^2) encontrados apresentaram valores elevados, ajustando-se bem os dados experimentais aos valores preditos pela reta.

Figura 36 – Parâmetro b^* (intensidade de amarelo) do pó de manga desidratado em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Lisbôa *et al.* (2012) estudaram amostras de figo-da-índia armazenada (100 dias), em temperaturas de 25 e 40 °C e umidades relativas de 55 e 83%, constatando que a intensidade de cor amarela foi afetada apenas pelo aumento da temperatura (40 °C). Similar ao resultado de Chauhan; Patil (2013) ao avaliarem bebida mista de leite e polpa de manga em pó reconstituída, acondicionada em recipientes de estanho, laminada de 4 camadas, poliestireno e poliestireno metalizado, à 5 e 30 °C, o estudo revelou a embalagem de estanho como a melhor, pelo menor

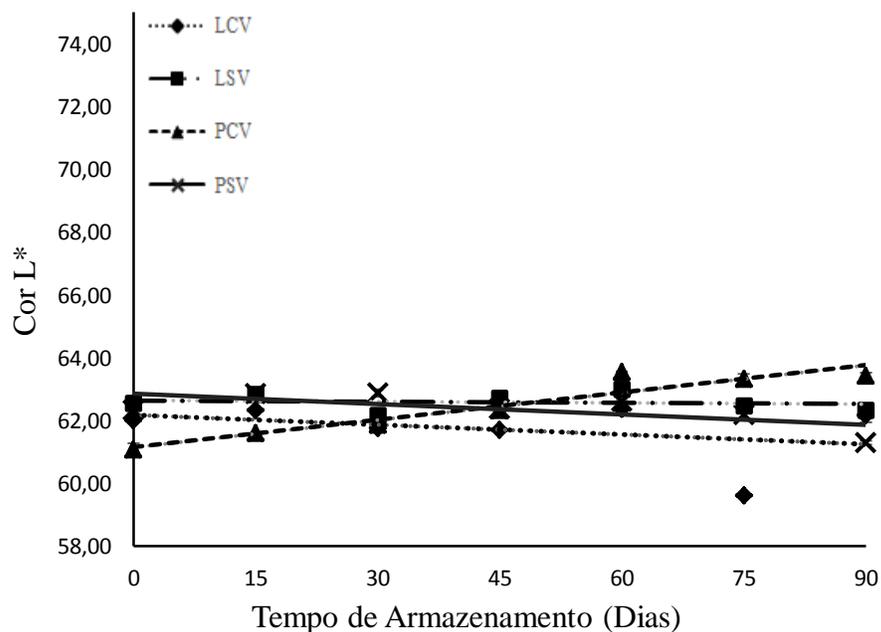
contato com o oxigênio e luz e que houve pouca diminuição da cor amarela. As amostras sob 30 °C tiveram mais alterações de cor, devido à instabilidade dos pigmentos ao calor.

5.4.2.10.3 Parâmetro colorimétrico (L^*)

Encontram-se no Apêndice 12 os valores médios para a luminosidade (L^*) durante o armazenamento, todas as embalagens apresentaram igualdade estatística aos 90 dias. As amostras, não apresentaram de forma clara se foram influenciados estatisticamente pelo tipo de embalagem usada e pelo período de armazenamento, devido às oscilações verificadas.

As equações da reta (Figura 37) obtidas apresentam coeficientes com valores baixos para todas as embalagens estudadas, além de retas constantes para o período de estabilidade. Podendo-se inferir que houve pouca alteração na cor do material durante o armazenamento, ou seja, que praticamente não houve escurecimento das amostras.

Figura 37 – Parâmetro L^* (luminosidade) da polpa de manga Tommy Atkins em pó desidratada em liofilizador, armazenado em diferentes embalagens



Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo.

Loureiro *et al.* (2013) observaram efeito similar ao do presente estudo para amostras de buriti em pó obtido por três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C) e acondicionadas em embalagem laminada e polietileno (90 dias), constatando que as amostras não foram influenciadas pelas condições estudadas.

Em contrapartida tendência de diminuição (luminosidade) foi obtida por Oliveira *et al.* (2015a) ao estudarem a estabilidade do fruto do mandacaru produzido com maltodextrina com dextroses diferentes (10 e 14DE), indicando que o produto de forma geral apresentou escurecimento ao longo do armazenamento (50 dias).

CONCLUSÃO

A melhor condição de secagem foi obtida utilizando 24 horas de liofilização e adição de 10 % de maltodextrina para produção da polpa de manga em pó (Tommy Atkins).

Com a condição estabelecida para a secagem é possível desidratar a polpa de manga e obter um produto com baixa umidade e atividade de água, sendo favorável ao armazenamento do produto. A manga em pó é de baixa acidez, e alta solubilidade, o parâmetro de cor amarela (b^*) reduziu e a luminosidade (L^*) aumentou em razão da adição de maltodextrina. O ácido ascórbico é o mais sensível ao processo de secagem com perdas de 85,67%.

As características morfológicas da microestrutura das partículas dos pós de manga são influenciadas pela adição de maltodextrina. O processo de secagem por liofilização leva a formação de estruturas amorfas.

O melhor modelo foi o de GAB para a predição das isotermas de adsorção dos pós de manga, com erros inferiores a 9,03% e R^2 elevados. As isotermas foram do tipo III e o aumento das proporções (5, 10 e 15%) de maltodextrina na polpa torna as amostras mais estáveis.

O adjuvante de secagem (maltodextrina) influencia as propriedades reológicas dos pós, melhorando o escoamento com o aumento da concentração. O pó de polpa de manga adicionado de 15% de maltodextrina teve os menores ângulos efetivo de atrito interno e atrito de parede. Os pós da polpa de manga adicionados de 10 e 15% de maltodextrina escoam mais facilmente do que o pó adicionado de 5%.

Os parâmetros umidade e atividade de água aumentam durante o armazenamento, enquanto a concentração de ácido ascórbico, higroscopicidade, coordenada b^* e solubilidade diminuem, o pH e a acidez são estáveis. A embalagem laminada confere maior proteção ao produto, principalmente contra ganho de umidade, assim o produto pode ser armazenado por um período de 90 dias. Dessa forma o uso da embalagem laminada a vácuo, é a mais indicada para o armazenamento da polpa de manga em pó (10% de maltodextrina).

O pó da polpa de manga oferece grande potencial de utilização por se apresentar como um produto de boa qualidade, e pela sua forma (pó) apresenta mais estabilidade e fácil armazenamento. Diante disso, recomenda-se aprofundar os estudos iniciados por esta pesquisa, através da aplicação em produtos alimentícios, com estudos sensoriais e intenção de compra.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA J. M., DEL VALLE J. M., KAREL M.. *Caking* phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Scienc. e Technol.**, vol. 6, 1995.
- ALBERTON, A. C. M. **Caracterização da manga tomy atkins *in natura* e após a liofilização.** 2014. 53 p. Trabalho de conclusão de curso. Medianeira, 2014.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE.; QUEIROZ, A. J. DE M.; OLIVEIRA, E. N. A. DE. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunic. Scient.** v. 5, n. 1, p. 83-91, 2014.
- ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B. R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. **Journ. of Food Eng.** v. 62. p. 53–68, 2004.
- ALMEIDA, F. A. C.; FONSECA, K. S.; GOUVEIA, J. P. G. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: secagem natural de gergelim e determinação da umidade de equilíbrio. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, Campina Grande, v. 3, n° 3, p. 343-348, 1999.
- ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C DE. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Rev. de Biol. e Ciênc. da Terra.** Campina Grande, v. 6, n. 2, 2006.
- ANDRADE, P. F. de S. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2011/12.** Departamento de Economia rural, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Estado do Paraná, p. 9, 2012.
- AZEREDO, H. M. C.; PINTO, G. A.; BRITO, E. S.; AZEREDO, R. M. C. Alterações microbiológicas em alimentos durante a estocagem. In: AZEREDO (Ed.) **Fundamentos da Estabilidade de alimentos.** Brasília: Embrapa. 2012. p. 15-38. Disponível: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77697/1/CLV12015.pdf>>. Acesso em: 27 de Set. de 2016.
- BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco de pó de mistura de frutas obtido por *spray drying*.** 2010. 107p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais, 2010.
- BATISTA, P. F; LIMA, M. A. C. DE; TRINDADE, D. C. G. DA; ALVES, R. E. Quality of different tropical fruit cultivars produced in the Lower Basin of the São Francisco Valley. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 46, n. 1, p. 176-184, 2015.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods.** Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. cap.3, p.39-71.
- BARUFFALDI, R; OLIVEIRA, M. N. DE. **Fundamentos de tecnologia de alimentos.** São Paulo: Atheneu, 1998. 317p.

BENEVIDES, S. D.; RAMOS, A. M.; STRINGUETA, P.C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Campinas, v. 28, n. 3, p. 571-578, 2008.

BEZERRA, T. S. **Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*mangifera indica l.*)**, 2009. 101p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A. ROCHA, E. M. F. F. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Rev. Cer.**, Viçosa, v. 58, n.3, p. 278-283, 2011.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C. DA.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; ROCHA, É. M. DE F. F. Comportamento higroscópico de pós de manga das variedades *coité* e *espada* e avaliação das características físico-químicas. **Ciênc. Rur.**, Santa Maria, v. 40, n.10, p. 2186-2192, out, 2010.

BEZERRA, T. S. **Caracterização química, microbiológica e morfológica de polpa de Marolo liofilizada**. Dissertação, 2014, 141 f. Universidade Federal de Lavras. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa Nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de frutas. **Diário Oficial da União**, Nº 6, Brasília, 10 de janeiro de 2000. Seção 1, p. 54-58.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para Análises de Alimentos**. Brasília, Ministério da Saúde, IV edição Instituto Adolfo Lutz, 2008.

BRUNAUER, S. **The absorption of the gases and vapors I. Physical adsorption**. Princeton: Princeton University Press, 1943.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. **Journ. of Food Scien.**; v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CARLOS, L. DE A.; RESENDE, J. V. DE.; CAL-VIDAL, J. Redução da Higroscopicidade de Pós Liofilizados pela Indução da Cristalização em Soluções-Modelo de Açúcares Constituintes de Frutas. **Braz. Journ. Food Technol.**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 163-173, abr./jun. 2005.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innov. Food Scien. and Emerg. Technol.**, Amsterdam, v. 6, n.4, p.420–428, 2005.

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI,S.S.; POWERS,J.R.; FELLMAN,J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journ. of Food Eng.**, v.111, p.135–148, 2012.

CAMPOS, M. M.; FERREIRA, M. C. “A comparative analysis of the flow properties between two alumina-based dry powders”. **Advanc. in Mater. Scien. and Eng**, p. 1-8, 2013.

CANUTO, K. M.; NETO, M. A. DE S.; GARRUTI, D. DOS S. Composição química volátil, em diferentes estádios de maturação, de manga ‘tommy atkins’ produzida no vale do são francisco. **Quim. Nov.**, v. 32, n. 9, p. 2377-2381, 2009.

CANUTO, H. M. P.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrin. **Act. Scient. Techn.**, v.36, n.1, 179-185, 2014.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51p.

CORREIA, R. C.; ARAUJO, J. L. P. **Cultivo da Mangueira**. Embrapa Semiárido, Sistemas de Produção, 2 - 2ª ed. Petrolina. Ago, 2010.

COSTA, C. M. L. **Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (*Spilhantes oleracea*) em leite fluidizado**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Engenharia de Processos - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

COSTA, J. M. C. **Grau de caking e higroscopicidade de leite de coco em pó (*Cocus nucifera* L.) atomizado**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1989.

CONCEIÇÃO, M. C.; FERNANDES, T. N.; RESENDE, J V. Stability and microstructure of freeze-dried guava pulp (*Psidium guajava* L.) with added sucrose and pectin. **Journ. of Food Scien. and Technol.**, v. 53, n. 6, p. 2654-2663, 2016.

COSTA, J. G., SANTOS, C. A. F. (organizadores). EMBRAPA. Embrapa Semi-Árido. Sistemas de Produção 2. Cultivo da Mangueira – Cultivares, 2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira>>.

CUNHA, A. P. DA. **Exigências Edafoclimáticas**. In: _____. MANGA Produção Aspectos Técnicos, 2002.

CHAUHAN, A. K.; PATIL, V. Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. **Powd. Technol.**, v. 239, p. 86–93, 2013.

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

DOKIC-BAUCAL, L.; DOKIC, P.; JAKOVLJEVIC, J. Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions. **Food Hydrocol.**, v. 18, p. 233–239, 2004.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método *foam-mat***. 2010. 100f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Engenharia de Processos. Natal – RN, 2010.

DJANTOU, E.B.; MBOFUNG, C. M. F.; SCHER, J.; PHAMBU, N.; MORAEL, J. D. Alternation drying and grinding (ADG) technique: A novel approach for producing ripe mango powder. **Scien. et Technol. Aliment.** , London, v. 44, n. 7, p.1585– 1590, 2011.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores.** – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DIÓGENES, A. DE M. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SOUSA, A. B. B. DE. Análise comparativa de polpas de manga ‘Haden’ integral e formulada. **Rev. Agrotec.**, v. 36, n. 1, p. 30-34, 2015.

EVANGELISTA, R. E.; CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. Mudanças na ultraestrutura da parede de mangas ‘Tommy Atkins’ tratadas com cloreto de cálcio na pre-colheita. **Rev. Bras. de Fruticul.**, Jaboticabal SP v.24, n.1, p.254-257, abril, 2002.

ESCUDEIRO, R. L.; FERREIRA, M. C. Avaliação de índices de escoabilidade de pós obtidos a partir da secagem de suspensões em leitos de jorro. X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica. Vassouras – RJ. **Blucher Chemic. Eng. Proc.** v. 1, n.1. 2013.

FAVERO, L. A. (Org.). **A cultura da manga no São Francisco: posicionamento, limites, oportunidades e ações estratégicas.** Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2008.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C. Caracterização da manga orgânica cultivar ubá. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, Campina Grande, v.11, n.1, p.9-14, 2009. ISSN 1517-85959.

FARAONI, A.S., RAMOS, A.M.; STRINGHETA, P.R. et al. Efeito dos métodos de conservação, tipos de embalagem e tempo de estocagem na coloração de polpa de manga ‘Ubá’ produzida em sistema orgânico. **Rev. Cer.**, v.55, p.504-511, 2008.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of Black mulberry juice powder. **Food and Bioprod. Proces.**, v. 90, p. 667-675, 2012.

FARAHNAKY, A. MANSOORI, N., MAJZOBI M. BADI F. Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: Antiplasticizing effect of maltodextrin. **Food and Bioprod. Proces.**, v. 9 8, p. 133–141, 2016.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Braz. Journ. Food Technol.**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 157-165, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FITZPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journ. of Food Eng.**, Filadélfia, v. 64, n. 4, p. 435-444, 2004.

FILHO, E. D. DA. S. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa de manga c.v Hadem em pó, pelo método de secagem em camada de espuma**. 2012. Tese 214 p. (Doutorado), Área de concentração em armazenamento e processamento de produtos agrícolas. Universidade de Campina Grande. Campina Grande – Paraíba, 2012.

FILHO, W. P. DE C.; ALVES, H. S.; MAZZEI, A. R. **Mercado de manga no Brasil: contexto mundial, variedades e estacionalidade**. 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Base de dados estatísticos**. 2015. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 22 set. 2015.

FRANCO, M. R. B.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.; LANÇAS, F. M. Compostos voláteis de três cultivares de manga (*Mangifera indica* L.). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 165-169, abr./jun 2004.

GAVA, A J. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GALDINO, P. O.; DE FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. DE. M.; GALDINO, P. O.; FERNANDES, T. K. DAS. S. Stability of cactus-pear powder during storage. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, v. 20, n. 2, p.169–173, 2016.

GALLO; T. C. B., MOSER P., TELIS, V. R. N. **ESTABILIDADE DE SUCO DE UVA EM PÓ MICROENCAPSULADO POR ATOMIZAÇÃO**. XXXVII ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. 2015.

GARCIA, L. P. **Liofilização aplicada a alimentos**. 2009. 45p. Trabalho Acadêmico (Graduação Bacharelado em Química de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2009.

GOMES, P. M. DE A.; FIGUEIREDO, R. M. S.; QUEIROZ, A. J. DE M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 384-389, 2004.

GOULA, A.; ADAMOPOULOS, K. Effect of maltodextrina addition during spray dryin of tomato pulp in dehumified air: I. Drying kinetics and recovery. **Dry Technol**, v. 26, n. 6, p. 714-725, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovat. Food Scienc. and Emerg. Technol.**, v. 11, p. 342-351, 2010.

GUTIÉRREZ, A. M. C. **Desidratação de polpa de manga em leite de espuma com e sem**

intermitência térmica. Dissertação, 125 f. 2015. (Mestrado). Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita. (UNESP). São Paulo, 2015.

GREESPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journ. of Res. of the Nat. of Stand. A. Phys. and Chem.**, v. 81, n. 01, p. 89-96, 1977.

HENRIQUEZ, C.; CORDOVA, A.; LUTZ, M.; SAAVEDRA, J., Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. **Indust. Crop. and Produc.**, v. 45, p. 121– 127, 2013.

HIGBY, W. K. A. simplified method for determination of some the carotenoid distribution in natura and carotene – fortified orange juice. **Journ. Food Scien.**, Chicago, v. 27, p. 42-49, 1962.

HUNG, M. L. Antioxidative effects of mango wastes on Shelf life of pork products. TESE, p. 249. Lincoln University. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal:** culturas temporárias e permanentes. v, 37. IBGE. 2012.

_____. **Produção agrícola municipal:** culturas temporárias e permanentes. v, 40. IBGE. 2013.

JARDIM, D. C. P.; GERMER, S. P. M. **Atividade de água em alimentos.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. **Journ. of Food Eng.**, v. 63, p. 125-134, 2004.

JENIKE, A. W. **Storage and flow of silos.** Bulletin 123. Salt Lake City: University of Utah, 1964. 89p

KADAM D. M.; WILSON R. A.; KAUR S. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. **Int. Journ. Food Scien. Technol.**, v. 45. p. 1626-1632, 2010.

KAUSHIK, N.; KAUR, B. P.; RAO, P. S.; MISHRA, H.N. Effect of high pressure processing on color, biochemical and microbiological characteristics of mango pulp (Mangifera indica cv. Amrapali). **Innovative Food Science and Emerging Technologies.** v. 22. p. 40–50, 2014.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR; A. A., MUR, F. E. X. Obtenção de isothermas de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 04, p. 828-834, 2005.

LARRAURI, J. A. RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journ. Agric. Food Chem.**, v. 45, p. 209-215. 1997.

LEE, K. H.; WU, T. Y.; SIOW, L.F. Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: Physicochemical and antioxidant properties of the powder. **Intern. Journ. of Food Scien. and Techn.**, v. 48, p. 2391-2399, 2013.

LIMA, J. R. F. DE. Exportações de Manga Produzida no Submédio do Vale do São Francisco no Período de 2003-2012. **Comunicado técnico online**. Petrolina, PE. Abr., 2013.

LÍRIO, V. S. **Panorama econômico da cultura e comercialização da manga**, 2004.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 216-221, 2012.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T. P. Moisture Transfer Properties of Dry and Semimoist Foods. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 2, p. 397-400, 1985.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; SILVA, V. R.; LOPES, F. F. M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Rev. Ciênc. e Agrotec.**, v. 31, n. 3, p. 851-859, 2007.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R. Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 39, n. 4, p. 518-527, 2009.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO.; LOPES, F. DE. M. Modelos de previsão do fluxo e vazão de descarga de produtos agrícolas. **Rev. Educ. Agríc. Sup.**, Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS - v. 27, n. 1, p. 54-58, 2012.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. DE M.; OLIVEIRA, E. N. A. DE. Armazenamento de buriti em pó: Efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journ**, v. 29, p. 1092-1100, 2013.

MATTIETTO, R. A.; SOARES, M. S; RIBEIRO, C. C. **Caracterização física e físico-química do fruto de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) proveniente de Belém – PA**. In: Simpósio Brasileiro sobre a Cultura da Mangaba, 2013, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2013.

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

MALISKA, A. M. **Microscopia eletrônica de varredura**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Apostila 98 p. 2012.

MACHADO, C. M. M. **Processamento de hortaliças em pequena escala**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2006.

- MACIEL, R. M. G. **Obtenção do pó da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma.** Dissertação, 110 f. 2016. (Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2016.
- MARQUES A.; CHICAYBAM, G.; ARAUJO, M. T.; MANHÃES, L. R. T.; SABAA-SRUR. A. U. O. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*mangifera indica* l.) cv. Tommy atkins' **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1206-1210, 2010.
- MELO, E. DE A.; ARAÚJO, C.R. DE. Mangas das variedades espada, rosa e tommy atkins: compostos bioativos e potencial antioxidante. **Semina: Ciênc. Agrár.**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1451-1460, 2011
- MEIRA, A. S; COSTA, R. F; SILVA, L.A. DA; ARAÚJO, S. N. R. DE; LOPES NETO, J. P. **Determinando função fluxo e do fator fluxo no dimensionamento de um silo armazenador de fécula de batata.** 9º Congresso de Educação Agrícola Superior, Areia-PB, ISSN / 0101-756x, 2014.
- MEDEIROS, I. F. **Características de fluxo e vazão de descarga em silos verticais.** Dissertação, 95 f. (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Pós-graduação em construções rurais e ambiência. 2012.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylle acid for determination of reducing sugar. **Anal. Chem**, v. 11, p. 426-428, 1959.
- MIRANDA, R.M.; FALCÃO, P. T.; FILHO, F. J. DO. N.; ATROCH, A. L. **Avaliação de métodos de colheita e tipos de embalagem na conservação e qualidade de guaraná em pó.** EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL. MANAUS – AM. 2010.
- MOURA, S. M. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico.** 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Dept. de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2010.
- MOURA NETO, L. G.; ROCHA, É. M. D. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Adsorption isotherms of hog plum (*Spondias mombin* L.) pulp powder obtained by spray dryer. **Acta Scient. Technol.**, v. 37, n. 2, p. 273-277, 2015.
- MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1093- 098, 2013.
- MORAGA, G.; IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. **Journ. of Food Eng.**, v.112, p.191-199, 2012.

MOREIRA, J. S. A.; SOUZA, M. L.; ARAÚJO NETO, S. E.; SILVA, R. F. Estudo da estabilidade microbiológica e físico-química de polpa de cupuaçu desidratada em estufa. **Rev. Caatinga**, v. 24, p. 26-32, 2011.

MOHAMMED, S. A.; ABDULLAH, E. C.; GELDART, D.; RAMAN, A. A. A. “Measuring powder flowability with a modified Warren Spring cohesion tester”. **Particuol.**, vol. 9, p. 148-154, 2011.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powd. Technol.** v. 291. p. 322–327, 2016.

NASSUR, R. DE C. M. R.; CRISOSTO, G. M.; FREITAS, S. T. DE.; VILAS BOAS, E. V. B.; LIMA, L. C. O.; CRISOSTO, C. **Quality indexes and changes during ripening on mango cultivars**, 2013a. In: _____. NASSUR, R. DE C. M. R. Indicadores de qualidade em mangas durante o amadurecimento. Disponível: < <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/728>.> Acesso em: 10 set. 2015.

NASSUR, R. DE C. M. R.; VILAS BOAS, E. V. B.; LIMA, L. C. O.; CRISOSTO, C. **Sensory description and ideal point of consumption on mango cultivars during ripening**, 2013b. In: _____. NASSUR, R. DE C. M. R. Indicadores de qualidade em mangas durante o amadurecimento. Disponível: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/728>.> Acesso em: 10 set. 2015.

NOVAGRIM. **Dados estatísticos de produção e exportação de manga**. < http://www.novagrim.com/Pages/2000_2011_mango_statistics_EN.aspx>. Acesso em: 2 out. 2015.

NETO, M. T. DE C.; CUNHA, G. A. P. DA. **Aspectos Botânicos**. In: _____. MANGA Produção Aspectos Técnicos, 2002.

OLIVEIRA, F. M. N. DE.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE.; QUEIROZ, A. J. DE M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.** v. 8, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, M. A. Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado. Dissertação 63 p. 2008. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza- CE, 2008.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C. DA.; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, v. 18, n.10, p. 1059–1064, Campina Grande, PB. 2014a.

OLIVEIRA, D.S.; AQUINO, P.P.; RIBEIRO, S.M.R.; PROENÇA, R. P. DA C.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão provenientes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. **Acta Scient. Health Scienc.**, v. 33, p. 89-98, 2011.

OLIVEIRA, V. S. DE; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 42, n. 2, p. 342-348, 2011a.

OLIVEIRA, G. H. H. DE.; CORRÊA P. C.; SANTOS, F. L.; VASCONCELOS, W. L.; JÚNIOR, C. C.; BAPTESTINI, F. M.; VARGAS-ELÍAS, G. A. Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Ciênc. Agrár.**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1813-1828, 2014b.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. DA. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journ. Food Scien. Technol.**, v.51, n. 10. p. 2783–2789, 2014.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. **Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores.** Braz. J. Food Technol, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, out./dez. 2013.

OLIVEIRA, D. M.; LIMA, C. G.; CLEMENTE, E.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA. Stability of bioactive compounds and quality parameters of grugru palm powder (*acrocomia aculeata*) in different drying conditions. **Journ. of Food Qual.**, v. 38, p. 94–102, 2015.

OLIVEIRA, A. DA. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE.; QUEIROZ, A. J. DE. M.; BRITO, J. G. DE. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.** v. 19, n. 2, p. 147–153, 2015a.

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

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos:** Componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2005. 294p

ORNELLAS, L. **Técnica Dietética:** seleção e preparo de alimentos. 8 ed. São Paulo: Atheneu, 2007.

ORNELAS-PAZ, J. J.; YAHIA, E. M.; GARDEA-BEJAR, A. Bioavailability of low doses of β -carotene from mango fruit and carrot roots. **Journ. of Agric. and Biolog. Scien.**, Botswana, v. 5, n. 3, p. 301-308, 2010.

PACHECO, A. L. V.; BORGES, K.S.; VIEIRA, G.; FREITAS, G.B. DE. Qualidade da manga 'ubá' orgânica e convencional ofertada a uma agroindústria da zona da mata de minas gerais. **Rev. Bras. de Agropec. Sust.**, v.5, n.1., p.130-136, 2015

PAGLARINI, C. D. S.; SILVA, F. S. D.; PORTO, A. G., PIASSON, D.; & SANTOS, P. D. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, 2013.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isothermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, jan./abr. 2001.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isothermas. **Rev. Bras. de Prod. Agroind.**, v. 10, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. Modelos de ajuste de isothermas de sorção de alimentos. **Eng. Rur.**, Piracicaba: ESALQ/USP, v. 3, n. 1, p. 81-86, 1992.

PINTO, C. A. DE Q.; MATOS, A. P. DE.; CUNHA, G. A. P. DA. **Variedades (cultivares)**. In: _____. MANGA Produção Aspectos Técnicos, 2002.

PINTO, C. A. DE Q In: _____. **A cultura da manga no São Francisco**: posicionamento, limites, oportunidades e ações estratégicas, 2008.

PONTES JÚNIOR, S. M.; DANTAS, S. C. M.; DELMIRO, T. M.; de MEDEIROS, M. F. D.; Secagem de polpas de frutas em leite de jorro. Efeitos da adição de leites vegetal e animal e da proteína isolada de leite no desempenho do processo e qualidade do produto em pó produzido, p. 2069-2074. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica [=Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3]**. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeqic2015-070-32095-243676.

PRADO, M. E. T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera L.*) para obtenção de tâmara passa**. Campinas-SP, 1998. 152p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 1998.

PRADO, M. E. T.; ALONSO, L. F. T.; SALES, A. F.; PARK, K. J. Isothermas de sorção de tâmaras: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciênc. e Tecnol. de Aliment.**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 143-146, 1999.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isothermas e Calor Isostérico de Sorção do Feijão. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n. 3, p. 626-631, jul./set. 2006.

RIBEIRO, L. C. Produção de acerola em pó: métodos de secagem e avaliação da estabilidade. 2014. 126 f. [Dissertação] Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 2014.

RIBEIRO, T. P.; LIMA, M. A. C. DE.; TRINDADE, D.C. G. DA; NETO, F. P. L.; NARA C. R.. Quality and bioactive compounds in fruit of foreign accessions of mango conserved in an Active Germplasm Bank. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 46, 118 n. 1, p. 117-125, 2015.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. DA; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp poder. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v. 20, n. 3, p. 269-274, 2016.

RODRIGUES, I. Engenharia Alimentar, processamento geral de alimentos: **Liofilização**. ESAC. 2008. Disponível em: < http://anselmo.quimica.ufg.br/up/56/o/FQSol_Aula_Liofilizacao.pdf > Acesso em: 15 de out. 2015.

ROCHA, É. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. DE P. DA; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.** ISSN 1807-1929. v. 18, n. 6, p. 646–651, 2014. Campina Grande, PB, UAEA/UFPG.

RODRIGUES, B. K. M. ROCHA. F.O; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA. **Bebida mista em pó de polpa de tamarindo** (*tamarindus indica*. L) e soro lácteo. In: Anais do XIX Encontro Nacional e V Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos. 2014.

ROSHANAK, S.; RAHIMMALEK, M. GOLI, S. A. H. Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (*Camellia sinensis* or *C. assamica*) leaves. 2015.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia**: fundamentos e aplicações, 2012. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/Exclusivo/Inserir/Anexos/LinkAnexos/secagem%20de%20materiais.pdf>>. Acesso em 25 out. 2015.

SANTOS, J. T. S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; COSTA, F. S. DA. C.; SOARES, DA. S. C.; CAMPOS, A. F. P.; CARNELOSSI, M. A. G.; NUNES, T. P. Avaliação de mangaba liofilizada através de parâmetros físico-químicos. **Scient. Plena**. v. 8, n. 3, 2012.

SAGAR, V. R.; KUMAR, R. Effect of drying treatments and storage stability on quality characteristics of bael poder. **Journ. Food Scien. Technol.**, v. 51, n. 9. p. 2162–2168, 2014.

SAGAR, V. R.; SURESH, K. P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journ. Food Scien. Technol.**, v. 47, p. 15-26, 2010.

SANTOS. L. C. DOS.; CONDOTTA, R.; FERREIRA, M. C. OBTENÇÃO E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE FLUXO DE AÇÚCARES. **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ**. Fortaleza- Ce, 2016.

SAW, H. Y.; DAVIES, C. E.; JONES, J. R.; PATERSON, A. H. J. Shear testing of lactose powders: The influence of consolidation stress and particle size on bulk density and estimated cohesion. **Advanc. Powd. Technol.**, v. 25, p.1164–1170, 2014.

SANTANA, A. A. **Obtenção da polpa de pequi e do leite de coco babaçu microencapsulados através da secagem por aspersão**. 2013. 344 f. [Tese] Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

SERT, M. A.; KERN, K. A. P.; CORTEZ, E. M. Experimento para observação da ação do etileno sobre o amadurecimento de frutos climatéricos. **Arq Mudi.**, v. 10, n. 2, p. 32-34, 2006.

SEGANTINI, D.M.; LEONEL, S.; LIMA, G.P.P. Caracterização da polpa de pêssegos produzidos em São Manuel-SP. **Ciência Rural**, v. 42, p. 52-57, 2012.

SIVAKUMAR, D.; JIANG Y.; YAHIA, E. M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. **Food Resear. Internat.**, v. 44, p. 1254-1263, 2011.

SIERRA, D. M.; ROSA, N. N.; GABAS, A. L. **Influência da Adição de maltodextrina na Atomização de Polpa de Manga em ‘Spray Dryer’**. 2013. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=593&numeroEdicao=15>> Acesso em: 20 nov. 2015.

SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F.; OLIVEIRA, I. R. N. DE. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journ. of Food Eng.**, v. 117, p. 538–544, 2013.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. DOS S.; KOBBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciênc. Agrár.**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SILVA, R. G. P. M.; SILVA, J. O. DA C. E.; CREMASCO, J. P. G.; SALAZAR, A. H.; BRUCKNER, C. H.. Alterações nos níveis de antioxidantes em polpa de manga. **Rev. Bras. de Agropec. Sustentável (RBAS)**, v. 4, n. 2. p. 26-31, 2014.

SILVA, L. M. A.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W. DE; SOUSA, PAULO H.M. DE; GONZAGA, M. L. DA C.; FIGUEIREDO, E. A. T. DE. Estudo do comportamento reológico de polpas de caju (*Anacardium occidentale*, L.), acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) e manga (*Mangifera indica*, L.). **Sem. Ciênc. Agrár.**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 237-248, 2012.

SOARES, D. C.; SANTOS, J. T. S.; COSTA, D. G.; ABUD, A. K. S.; NUNES, T. P.; FIGUEIREDO, A. V. D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M. DE. Evaluation of *Hancornia speciosa* Gomes Lyophilization at Different Stages of Maturation. **Intern. Journ. of Biological, Biomolecular, Agric., Food and Biotechn. Eng.**.v.8, n:2, 2014.

SOUSA, S. L.; MORAIS, B.A. DE.; RIBEIRO, L. C.; COSTA1, J. M. C. DA. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, v. 20, n. 7, p. 678-682, 2016.

SHARMA, M. KADAM, D. M.; CHADHA, S.; WILSON, R. A.; GUPTA, R.K. **Influence of particle size on physical and sensory attributes of mango pulp powder** Central Institute of Post- Harvest Engineering and Technology (CIPHET), PO: PAU Campus, Ludhiana, 2013.

SOUZA NETO, M. A. **Desidratação osmótica de manga Coité com e sem utilização de vácuo com complemento de secagem em estufa**. Fortaleza, 2002. 67p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará.

SOUZA; D. S.; PIMENTEL, J. D. R.; MARQUES, L. G.; NARAIN, N. Estudo da cinética de reidratação do pó da polpa do abacate liofilizado. **Scientia Plena**, 2011.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)**. Dissertação, 2011. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA– UESB. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS. 2011a.

SOARES; L. P.; SÃO JOSÉ, A. R. Compostos bioativos em polpas de mangas ‘rosa’ e ‘espada’ submetidas ao branqueamento e congelamento. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 579-586, Junho 2013.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT - Food Science and Techn.** v. 62, p.564-568. 2015.

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

TOLEDO, R. C. L.; BRITO, L. F.; RIBEIRO, S. M. R.; PELUZIO, M. DO. C. G.; SIQUEIRA, C. L. M. DE.; QUEIROZ, J. H. DE. Efeito da ingestão da polpa de manga (*mangifera indica l.*) sobre os parâmetros bioquímicos séricos e integridade hepática em ratos. **Biosci. Journ.**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 516-525, 2013.

TADMOR, Y.; BURGER, J.; YAAKOV, I.; FEDER, A.; LIBHABER, S. E.; PORTNOY, V.; MEIR, A.; TZURI, G.; SA'AR, U.; ROGACHEV, I.; AHARONI, A.; ABELIOVICH, H.; SCHAFFER, A. A.; LEWINSOHN, E.; KATZIR, N. Genetics of flavonoid, carotenoid and chlorophyll pigments in melon fruit rinds. **Journ. of Agric. and Food Chem.**, v. 58, n. 19, p. 10722-10728, 2010.

TANAKA, D. L. **Influência da desidratação por *spray drying* sobre o teor de ácido ascórbico no suco de acerola (*malpighia ssp*)**. Dissertação (Mestrado em alimentos e Nutrição) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP- Universidade Estadual Paulista “Professor Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2007. 56p.

TONON, R.V; BRABET, C; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.29, n.2, p. 444-450, abr.-jun. 2009.

THALBERG, K.; LINDHOLM, D.; AXELSSON, A. Comparison of different flowability tests for powders for inhalation. **Powder Technology**, v. 146, p. 206–213, 2004.

UDOMKUN, P.; ARGYROPOULOS, D.; NAGLE, M.; MAHAYOTHEE, B.; MÜLLER, J. Sorption behaviour of papayas as affected by compositional and structural alterations from osmotic pretreatment and drying. **Journ. of Food Eng.**, Essex, v. 157, p.14–23, 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultura Research Service. **USDA national nutrient database for standard reference, release 27**. Disponível em: <<http://ndb.nal.usda.gov/>>. Acesso em: 22 set. 2015.

VIEIRA, A. H.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Braz. Journ. Food Technol.**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.

XU, S.; PEGG, R. B.; KERR, W. L. Physical and Chemical Properties of Vacuum Belt Dried Tomato Powders. **Food Bioproc. Technol** n. 9, p. 91–100, 2015.

YAHIA, E. M. Contribution of fruits and vegetables to human health. In: DE LA ROSA, L.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; GONZALEZ-AGUILAR, G. (Ed.). **Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability**. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 3-51, 2010.

ZOTARELLI, M. F. **Produção e Caracterização de Manga Desidratada em Pó por Diferentes Processos de Secagem**. 2014. 165 p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis, SC, 2014.

**APÊNDICE 1 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL UMIDADE (%)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	3,51 ± 0,15 ^{ab,A}	3,14 ± 0,19 ^{c,B}	3,83 ± 0,10 ^{a,D}	3,24 ± 0,07 ^{bc,D}
15	3,64 ± 0,16 ^{ab,A}	3,29 ± 0,28 ^{b,B}	4,14 ± 0,23 ^{a,CD}	3,55 ± 0,22 ^{ab,D}
30	3,72 ± 0,06 ^{b,A}	3,59 ± 0,05 ^{b,AB}	4,29 ± 0,22 ^{a,C}	4,64 ± 0,28 ^{a,C}
45	3,50 ± 0,15 ^{b,A}	3,43 ± 0,13 ^{b,AB}	5,16 ± 0,11 ^{a,B}	5,46 ± 0,20 ^{a,B}
60	3,58 ± 0,09 ^{b,A}	3,60 ± 0,18 ^{b,AB}	5,36 ± 0,27 ^{a,B}	5,45 ± 0,14 ^{a,B}
75	3,79 ± 0,14 ^{b,A}	3,62 ± 0,09 ^{b,AB}	5,63 ± 0,15 ^{a,AB}	5,73 ± 0,25 ^{a,AB}
90	3,81 ± 0,01 ^{b,A}	3,90 ± 0,19 ^{b,A}	6,25 ± 0,40 ^{a,A}	6,31 ± 0,38 ^{a,A}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 2 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL ATIVIDADE DE ÁGUA**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	0,1665 ± 0,00 ^{c,E}	0,1908 ± 0,00 ^{b,F}	0,2315 ± 0,01 ^{a,C}	0,2248 ± 0,01 ^{a,E}
15	0,2243 ± 0,00 ^{c,D}	0,2083 ± 0,00 ^{d,E}	0,3112 ± 0,01 ^{a,B}	0,2578 ± 0,01 ^{b,D}
30	0,2413 ± 0,00 ^{c,C}	0,2240 ± 0,00 ^{d,C}	0,3052 ± 0,00 ^{a,B}	0,2939 ± 0,02 ^{b,C}
45	0,2492 ± 0,01 ^{c,BC}	0,2183 ± 0,01 ^{d,DE}	0,3084 ± 0,00 ^{b,B}	0,3365 ± 0,00 ^{a,B}
60	0,2549 ± 0,00 ^{c,B}	0,2284 ± 0,01 ^{d,CD}	0,3095 ± 0,01 ^{b,B}	0,3362 ± 0,01 ^{a,B}
75	0,2575 ± 0,01 ^{b,B}	0,2641 ± 0,00 ^{b,B}	0,3381 ± 0,01 ^{a,A}	0,3451 ± 0,00 ^{a,B}
90	0,2990 ± 0,00 ^{d,A}	0,3172 ± 0,00 ^{c,A}	0,3536 ± 0,01 ^{b,A}	0,3776 ± 0,00 ^{a,A}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 3 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL HIGROSCOPICIDADE (G DE ÁGUA
ADSORVIDA/100G SÓLIDOS SECO)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	9,37±0,10 ^{a,AB}	8,67±0,72 ^{a,AB}	8,51±0,54 ^{a,BC}	9,32±0,23 ^{a,A}
15	9,30 ±0,11 ^{a,AB}	8,58±0,53 ^{a,AB}	9,34±0,11 ^{a,AB}	9,28±0,27 ^{a,A}
30	8,38±0,31 ^{a,B}	8,52±0,07 ^{a,ABC}	9,59±0,85 ^{a,A}	8,58±0,20 ^{a,AB}
45	8,67±0,11 ^{ab,B}	9,13±0,57 ^{a,A}	7,49±0,20 ^{b,CD}	8,82±0,75 ^{a,A}
60	9,89±0,76 ^{a,A}	8,12±0,14 ^{b,BC}	8,80±0,02 ^{ab,AB}	8,37±0,14 ^{b,AB}
75	8,75±0,16 ^{a,B}	7,94±0,27 ^{b,BC}	8,74±0,23 ^{a,AB}	8,08±0,37 ^{ab,AB}
90	8,61±0,34 ^{a,B}	7,57±0,39 ^{b,C}	7,31±0,37 ^{b,D}	7,34±0,26 ^{b,B}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 4 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL PH**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	4,26±0,11 ^{a,A}	4,16±0,03 ^{a,B}	4,36±0,28 ^{a,AB}	4,41±0,11 ^{a,B}
15	4,15±0,01 ^{b,A}	4,41±0,15 ^{ab,A}	4,67±0,27 ^{a,A}	4,77±0,01 ^{a,A}
30	4,17±0,10 ^{c,A}	3,74±0,05 ^{d,D}	4,56±0,06 ^{b,AB}	4,86±0,07 ^{a,A}
45	3,75±0,07 ^{c,B}	4,05±0,07 ^{bc,BC}	4,75±0,01 ^{a,A}	4,38±0,25 ^{b,B}
60	3,45±0,01 ^{b,C}	3,94±0,07 ^{a,CD}	4,03±0,12 ^{a,B}	3,69±0,13 ^{b,C}
75	4,01±0,05 ^{ab,AB}	4,01±0,01 ^{ab,BC}	4,31±0,32 ^{a,AB}	3,73±0,10 ^{b,C}
90	4,27±0,19 ^{b,A}	3,52±0,02 ^{d,E}	4,85±0,05 ^{a,A}	3,99±0,05 ^{c,C}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 5 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL GRAU DE CAKING (%)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	42,56±3,74 ^{a,BC}	41,59±1,68 ^{a,B}	39,86±3,61 ^{ab,B}	33,36±1,07 ^{b,D}
15	38,22±2,38 ^{a,BC}	38,75±3,58 ^{a,B}	44,15±2,16 ^{a,B}	28,18±1,80 ^{b,D}
30	32,46±6,80 ^{b,C}	46,37±7,29 ^{ab,AB}	36,77±3,50 ^{b,B}	58,11±8,56 ^{a,B}
45	50,10±6,04 ^{ab,AB}	57,23±17,8 ^{ab,AB}	41,77±8,01 ^{b,B}	71,81±4,03 ^{a,A}
60	44,80±12,8 ^{b,ABC}	56,70±0,40 ^{ab,AB}	71,75±3,98 ^{a,A}	70,60±0,69 ^{a,A}
75	52,22±3,11 ^{b,AB}	45,40±4,75 ^{b,AB}	63,59±3,83 ^{a,A}	34,67±2,51 ^{c,CD}
90	61,84±2,05 ^{a,A}	65,89±4,39 ^{a,A}	64,00±5,75 ^{a,A}	44,50±1,27 ^{b,C}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 6 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL ACIDEZ (% DE ÁCIDO CÍTRICO)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	1,14±0,00 ^{a,DE}	1,09±0,02 ^{b,AB}	1,08±0,00 ^{b,C}	1,13±0,07 ^{a,B}
15	1,15±0,02 ^{a,CDE}	1,10±0,02 ^{b,AB}	1,14±0,00 ^{ab,B}	1,10±0,02 ^{b,B}
30	1,19±0,02 ^{ab,CD}	1,13±0,02 ^{b,A}	0,91±0,02 ^{c,D}	1,15±0,02 ^{ab,B}
45	1,29±0,03 ^{a,A}	0,96±0,03 ^{b,C}	0,96±0,02 ^{b,D}	1,33±0,00 ^{a,A}
60	1,12±0,00 ^{b,E}	1,05±0,02 ^{c,B}	1,29±0,03 ^{a,A}	1,13±0,02 ^{b,B}
75	1,21±0,03 ^{a,BC}	0,97±0,02 ^{b,C}	1,17±0,02 ^{a,B}	1,14±0,04 ^{a,B}
90	1,27±0,00 ^{a,B}	1,04±0,02 ^{c,B}	1,19±0,03 ^{ab,B}	1,15±0,04 ^{b,B}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 7 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL SOLUBILIDADE (%)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	86,55±0,34 ^{a,D}	86,59±1,53 ^{a,C}	86,53±0,96 ^{a,A}	86,39±0,21 ^{a,AB}
15	90,06±0,90 ^{a,A}	88,28±0,56 ^{b,ABC}	84,91±0,62 ^{c,AB}	89,71±0,02 ^{b,A}
30	89,71±0,02 ^{a,AB}	88,84±0,42 ^{a,ABC}	83,91±1,54 ^{c,AB}	86,59±0,46 ^{b,AB}
45	89,53±0,38 ^{a,AB}	88,13±1,15 ^{ab,BC}	84,81±1,23 ^{c,AB}	85,27±1,37 ^{bc,B}
60	88,39±0,83 ^{b,BC}	90,15±0,50 ^{a,AB}	86,45±0,24 ^{c,A}	84,92±0,50 ^{d,B}
75	87,96±0,74 ^{ab,CD}	90,05±0,70 ^{a,AB}	86,11±1,50 ^{b,AB}	80,85±0,37 ^{c,C}
90	88,36±0,60 ^{b,BC}	90,55±0,35 ^{a,A}	83,12±1,16 ^{c,B}	82,24±0,49 ^{c,C}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 8 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (°BRIX)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	75,33±1,15 ^{b,C}	71,00±1,00 ^{c,B}	77,33±1,15 ^{ab,B}	80,67±2,31 ^{a,A}
15	73,33±1,15 ^{b,C}	80,33±1,53 ^{a,A}	70,33±0,58 ^{b,C}	72,00±2,00 ^{b,C}
30	78,33±0,58 ^{ab,B}	83,66±3,78 ^{b,A}	74,33±1,53 ^{b,BC}	74,67±1,15 ^{b,BC}
45	81,67±1,53 ^{a,A}	80,67±1,53 ^{a,A}	75,33±1,15 ^{b,BC}	78,33±1,53 ^{ab,AB}
60	80,33±0,58 ^{ab,AB}	81,00±0,00 ^{a,A}	79,33±1,15 ^{ab,AB}	78,67±1,15 ^{b,AB}
75	82,33±0,58 ^{a,A}	79,00±1,00 ^{ab,A}	82,67±4,04 ^{a,A}	73,67±0,58 ^{b,C}
90	80,00±1,00 ^{a,AB}	81,67±1,53 ^{a,A}	75,67±1,15 ^{b,B}	79,67±1,53 ^{a,A}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 9 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL ÁCIDO ASCÓRBICO (MG/100G)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	38,41±0,03 ^{a,A}	33,56±0,02 ^{b,A}	38,35±0,04 ^{a,A}	38,38±0,03 ^{a,A}
15	27,16±2,77 ^{a,BC}	29,67±0,01 ^{a,AB}	28,78±0,009 ^{a,B}	28,78±0,03 ^{a,B}
30	31,95±2,79 ^{a,B}	32,58±2,83 ^{a,AB}	23,98±0,03 ^{b,C}	29,31±0,01 ^{a,B}
45	24,44±0,005 ^{a,C}	27,68±2,83 ^{a,B}	22,80±2,81 ^{a,CD}	22,82 ±2,81 ^{a,CD}
60	22,82±2,79 ^{b,CD}	28,73±0,02 ^{a,AB}	21,18±2,79 ^{b,CD}	24,43±0,007 ^{ab,C}
75	19,21±0,007 ^{b,D}	19,17±0,01 ^{a,C}	19,57±0,006 ^{ab,D}	22,43±2,77 ^{a,CD}
90	19,18±0,01 ^{a,D}	17,57±2,77 ^{a,C}	19,20±0,02 ^{a,D}	19,22±0,002 ^{a,D}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 1031 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL COLORIMÉTRICA (A*)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	-3,63±0,01 ^{b,D}	-3,79±0,01 ^{c,F}	-3,45±0,05 ^{a,E}	-3,92±0,02 ^{d,F}
15	-3,55±0,01 ^{d,C}	-3,18±0,01 ^{b,E}	-2,92±0,01 ^{a,BC}	-3,39±0,01 ^{c,E}
30	-3,15±0,01 ^{bc,B}	-3,18±0,01 ^{c,E}	-2,79±0,02 ^{a,A}	-3,12±0,02 ^{b,D}
45	-3,18±0,02 ^{c,B}	-3,06±0,01 ^{b,C}	-2,86±0,01 ^{a,AB}	-2,90±0,02 ^{a,C}
60	-3,17±0,03 ^{c,B}	-3,10±0,00 ^{b,D}	-3,19±0,03 ^{c,D}	-2,90±0,01 ^{a,C}
75	-2,84±0,01 ^{b,A}	-2,89 ±0,01 ^{c,B}	-2,96±0,01 ^{d,C}	-2,69±0,01 ^{a,B}
90	-2,87±0,02 ^{b,A}	-2,85±0,01 ^{b,A}	-2,86±0,01 ^{b,AB}	-2,39±0,03 ^{a,A}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 11 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADO EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL COLORIMÉTRICA (B*)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	20,64±0,01 ^{b,A}	21,26±0,06 ^{a,A}	21,17±0,19 ^{a,A}	20,67±0,02 ^{b,A}
15	18,82±0,05 ^{a,B}	17,92±0,06 ^{b,B}	18,92±0,006 ^{a,B}	17,70±0,03 ^{c,B}
30	18,01±0,04 ^{b,C}	17,21±0,02 ^{d,C}	17,50 ±0,09 ^{a,C}	16,85±0,08 ^{c,C}
45	18,05±0,08 ^{a,C}	16,77±0,05 ^{b,D}	16,82±0,09 ^{b,D}	16,44±0,12 ^{c,D}
60	17,56±0,02 ^{a,D}	16,32±0,10 ^{b,E}	15,99±0,05 ^{c,E}	16,04±0,06 ^{c,E}
75	14,85±0,08 ^{c,F}	15,60±0,14 ^{b,F}	15,47±0,07 ^{b,F}	15,99±0,10 ^{a,E}
90	16,52±0,10 ^{a,E}	15,65±0,11 ^{b,F}	14,96±0,17 ^{c,G}	15,40±0,15 ^{b,F}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas por letras diferentes (maiúscula na coluna e minúscula na linha) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) em teste de Tukey.

**APÊNDICE 12 – ESTABILIDADE DA POLPA DE MANGA TOMMY ATKINS EM PÓ
DESIDRATADA EM LIOFILIZADOR, ARMAZENADO EM DIFERENTES
EMBALAGENS PARA A VARIÁVEL COLORIMÉTRICA (L*)**

Tempo de Armazenamento (Dias)	Embalagens			
	LCV	LSV	PCV	PSV
0	62,01±0,02 ^{b,A}	62,55±0,00 ^{a,CD}	61,08±0,20 ^{c,AB}	62,32±0,10 ^{a,D}
15	62,34±0,16 ^{b,A}	62,84±0,14 ^{a,AB}	61,60±0,01 ^{c,E}	62,87±0,06 ^{a,A}
30	61,77±0,06 ^{c,B}	62,17±0,05 ^{b,D}	61,87±0,06 ^{c,D}	62,88±0,13 ^{a,A}
45	61,71±0,01 ^{c,B}	62,72 ±0,06 ^{a,ABC}	62,33±0,04 ^{b,C}	62,37±0,13 ^{b,BC}
60	62,37±0,01 ^{c,A}	63,01±0,25 ^{b,A}	63,56±0,01 ^{a,A}	62,61±0,07 ^{c,AB}
75	59,61±0,03 ^{c,C}	62,47±0,09 ^{b,BCD}	63,33±0,15 ^{a,B}	62,20±0,13 ^{b,C}
90	62,17±0,23 ^{b,A}	62,34±0,20 ^{b,CD}	63,43±0,11 ^{a,B}	61,30±0,06 ^{c,D}

Em que: (LCV) – Embalagem laminada com vácuo; (LSV) - Embalagem laminada sem vácuo; (PCV) – Embalagem polietileno com vácuo; (PSV) - Embalagem polietileno sem vácuo; Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si a ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.