



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE PROCESSOS**



**TESE DE DOUTORADO**

**SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DE PITAYA (*Hylocereus polyrhizus*)**

**VANESSA MARIA DOS SANTOS SANTIAGO**

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

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

**Campina Grande - Paraíba**

**AGOSTO - 2015**

**SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DE PITAYA (*Hylocereus polyrhizus*)**

**VANESSA MARIA DOS SANTOS SANTIAGO**

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

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Desenvolvimento de Processos**

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

**Prof. Dr<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

**Campina Grande - Paraíba**

**AGOSTO- 2015**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S235s Santiago, Vanessa Maria dos Santos.  
Secagem por aspersão da polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) /  
Vanessa Maria dos Santos Santiago. – Campina Grande, 2017.  
90 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal  
de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.

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

Referências.

1. Cactaceae. 2. Pitaya em Pó. 3. Atomização. 4. Secagem por  
Aspersão. 5. Betacianinas. I. Queiroz, Alexandre José de Melo. II.  
Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. III. Título.

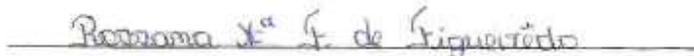
CDU 66.047(043)

**SECAGEM POR ASPERSÃO DA POLPA DE PITAYA (*Hylocereus polyrhizus*)**

**VANESSA MARIA DOS SANTOS SANTIAGO**

Aprovado em 28 / agosto / 2015

  
Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz (Orientador - UFCG)

  
Prof. Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo (Orientadora - UFCG)

  
Prof. Dr. Ângela Maria Santiago (Examinadora Externa - UEPB)

  
Prof. Dr. Tânila Kassimura da Silva Fernandes (Examinadora Externa - IFPB)

  
Prof. Dr. Josivanda Palmeira Gomes (Examinadora Externa - UFCG)

  
Prof. Dr. Vímario Simões Silva (Examinador Externo - UFCG)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida; por sua graça, favor, generosidade e bondade para comigo e por me ouvir tantas e tantas vezes, iluminando meus pensamentos e me direcionando para escolhas corretas, além de colocar pessoas tão especiais em meu caminho.

A minha família, meus pais Zacarias e Veralúcia, meu maior presente, pelo apoio, amor, torcida e compreensão.

A meu irmão, cunhada e sobrinhos, por um amor tão fraternal.

A todos os membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões e contribuições para o enriquecimento deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, por me orientar desde o mestrado e agora no doutorado e por seu profissionalismo, exemplo para minha vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, pelo acompanhamento dos experimentos, sempre colaborando.

A minha amiga Poliana que se fez muito presente em minha vida, ajudando-me com suas palavras de motivação, carinho e cuidado.

Aos amigos, pelo apoio e incentivo em todos os momentos do doutorado.

Aos colegas companheiros de laboratório e da pós-graduação: Silvana, Flávio, Taciano, Debora, Regilane, Lívia, Elizabety, Rodrigo, Tamila, Plúvia, Silas e Jemima.

À Capes e ao CNPq pelo apoio na realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande.

À Corn Products Brasil, pela doação da maltodextrina.

A Ildênia, pela doação de uma parte dos frutos de pitaya.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	iv
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	vi
<b>RESUMO.....</b>	viii
<b>ABSTRACT.....</b>	ix
<b>1- INTRODUÇÃO.....</b>	1
1.1 - Objetivo geral.....	2
1.1.1 - Objetivos específicos.....	2
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	3
2.1 – Pitaya.....	3
2.2 - Características químicas e físico-químicas.....	5
2.3 - Betalaínas.....	7
2.4 - Secagem por aspersão.....	9
2.5 - Atividade de água.....	13
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	16
3.1 - Matéria-prima.....	16
3.2 - Caracterização física da pitaya <i>in natura</i> .....	16
3.3 - Processamento dos frutos.....	17
3.4 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de pitaya integral.....	18
3.5 - Elaboração e secagem das formulações.....	19
3.6 - Caracterização química, física e físico-química das formulações.....	19
3.7 - Análises químicas, físicas e físico-químicas das amostras de polpas de pitaya em pó.....	20
3.7.1 - Rendimento.....	20
3.7.2 - Teor de água.....	20
3.7.3 - Atividade de água.....	20
3.7.4 - pH.....	20

3.7.5 - Acidez total titulável.....	20
3.7.6 - Açúcares redutores.....	21
3.7.7 - Betacianinas.....	21
3.7.8 - Cor.....	21
3.7.9 - Solubilidade.....	21
3.7.10 - Molhabilidade.....	21
3.7.11 - Densidade aparente.....	22
3.7.12 - Densidade compactada.....	22
3.7.13 - Densidade absoluta.....	23
3.7.14 - Porosidade.....	23
3.7.15 - Tempo de escoamento.....	23
3.7.16 - Fator de Hausner.....	24
3.8 - Isotermas de adsorção de água.....	24
3.9 - Armazenamento acelerado das polpas de pitaya em pó.....	25
3.10 - Cinética de degradação das betacianinas e da cor.....	26
3.10.1 - Efeito da temperatura.....	27
3.11 - Análise de dados.....	28
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
4.1 - Caracterização da pitaya <i>in natura</i> .....	29
4.2 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de pitaya integral.....	30
4.3 - Caracterização química, físico-química e física das formulações.....	33
4.4 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de pitaya em pó.....	35
4.5 - Armazenamento acelerado.....	42
4.5.1 - Teor de água.....	43
4.5.2 - Atividade de água.....	44
4.5.3 - pH.....	46
4.5.4 - Acidez total titulável.....	46

4.5.5 - Solubilidade.....	47
4.5.6 - Luminosidade (L*).....	49
4.5.7 - Intensidade de vermelho (+a*).....	50
4.5.8 - Intensidade de azul (-b*).....	51
4.5.9 - Betacianinas.....	52
4.6 - Isotermas de adsorção de água.....	54
4.7 - Cinética de degradação da betacianinas da amostra em pó selecionada.....	58
4.8 - Cinética de degradação da luminosidade da amostra em pó selecionada...	63
4.9 - Cinética de degradação da intensidade de vermelho (+a) da amostra em pó selecionada.....	67
<b>5 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> - Plantio de pitaya ( <i>Hylocereus</i> spp.) no Estado do Ceará.....	3
<b>Figura 2.2</b> - Frutos de pitaya (a) ( <i>Hylocereus monacanthuus</i> ) (b) ( <i>Hylocereus undatus</i> ); (c) ( <i>Selenicereus megalanthus</i> ).....	4
<b>Figura 2.3</b> - Classificação dos pigmentos em tecidos vegetais.....	7
<b>Figura 2.4</b> - Estrutura química geral da betalaína.....	8
<b>Figura 2.5</b> - Esquema do secador por aspersão e do fluxo do ar de secagem.....	10
<b>Figura 2.6</b> - Formação de partícula por secagem por aspersão.....	11
<b>Figura 2.7</b> - Diagrama esquemático dos fatores que afetam a secagem por aspersão.....	12
<b>Figura 3.1</b> - Pitaya ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> Web. Britton e Rose).....	16
<b>Figura 3.2</b> - Etapas para obtenção da polpa de pitaya integral.....	18
<b>Figura 4.1</b> - Isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da polpa de pitaya em pó com ajuste pelo modelos de: a) GAB; b) Oswiin; e c) Peleg.....	58
<b>Figura 4.2</b> - Cinética de degradação de betacianinas de polpa de pitaya em pó selecionada em diferentes temperaturas.....	59
<b>Figura 4.3</b> - Representação gráfica da equação do tipo Arrhenius para a constante da velocidade de reação (k) do modelo de segunda ordem em função do inverso da temperatura.....	62
<b>Figura 4.4</b> - Cinética de degradação da luminosidade (L*) de polpa de pitaya em pó selecionada em diferentes temperaturas.....	64
<b>Figura 4.5</b> - Representação gráfica da equação de Arrhenius para a constante cinética de segunda ordem para a degradação da luminosidade (L*) da polpa de pitaya em pó selecionada.....	66
<b>Figura 4.6</b> - Valores médios da luminosidade (L*) de polpa de pitaya em pó em função do tempo em diferentes temperaturas, com ajuste pela equação exponencial de decaimento.....	67
<b>Figura 4.7</b> - Cinética de degradação da intensidade de vermelho (+a*) de polpa de pitaya em pó selecionada em diferentes temperaturas.....	68

**Figura 4.8** - Representação gráfica pela equação de Arrhenius da constante cinética de segunda ordem para a degradação da intensidade de vermelho (+a\*) da polpa de pitaya em pó selecionada..... 70

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Parâmetros químicos e físico-químicos de pitaya vermelha ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ) e branca ( <i>Hylocereus undatus</i> ).....	5
<b>Tabela 2.2</b> - Relação entre a atividade de água ( $a_w$ ) e crescimento de alguns microrganismos.....	15
<b>Tabela 3.1</b> - Modelos matemáticos das isotermas de adsorção de água.....	25
<b>Tabela 3.2</b> - Modelos cinéticos de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem.	26
<b>Tabela 4.1</b> - Valores médios e desvios padrão da massa e dimensões das pitayas <i>in natura</i> e rendimento da polpa.....	29
<b>Tabela 4.2</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físicos químicos da polpa de pitaya.....	31
<b>Tabela 4.3</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos das formulações.....	34
<b>Tabela 4.4</b> - Valores médios dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa de pitaya em pó secada com diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas.....	36
<b>Tabela 4.5</b> - Valores médios dos parâmetros físicos da polpa de pitaya em pó secada com diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas.....	39
<b>Tabela 4.6</b> - Valores médios dos parâmetros da corda polpa de pitaya em pó secada com diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas.....	41
<b>Tabela 4.7</b> - Valores médios de teor de água da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento.....	44
<b>Tabela 4.8</b> - Valores médios de atividade de água da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento o.....	45
<b>Tabela 4.9</b> - Valores médios de pH das amostras de pitaya em pó durante o armazenamento.....	46
<b>Tabela 4.10</b> - Valores médios de acidez total titulável da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento.....	47
<b>Tabela 4.11</b> - Valores médios de solubilidade de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento.....	49

<b>Tabela 4.12</b> - Valores médios de luminosidade ( $L^*$ ) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento.....	50
<b>Tabela 4.13</b> - Valores médios de intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento.....	51
<b>Tabela 4.14</b> - Valores médios de intensidade de azul ( $-b^*$ ) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento.....	52
<b>Tabela 4.15</b> - Valores médios de betacianinas de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento.....	53
<b>Tabela 4.16</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, da polpa de pitaya em pó.....	55
<b>Tabela 4.17</b> - Parâmetros cinéticos de degradação de betacianinas em três diferentes temperaturas da polpa de pitaya em pó selecionada .....	61
<b>Tabela 4.18</b> - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficiente de reação ( $Q_{10}$ ) para a degradação de betacianinas da polpa de pitaya em pó.....	63
<b>Tabela 4.19</b> - Parâmetros cinéticos de degradação da luminosidade em três diferentes temperaturas da polpa de pitaya em pó.....	65
<b>Tabela 4.20</b> - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficiente de reação ( $Q_{10}$ ) para a degradação da luminosidade da polpa de pitaya em pó.....	65
<b>Tabela 4.21</b> - Parâmetros cinéticos de degradação da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) em três diferentes temperaturas da polpa de pitaya em pó selecionada.....	69
<b>Tabela 4.22</b> - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficiente de reação ( $Q_{10}$ ) para a degradação da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) da polpa de pitaya em pó.....	69

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de obter um produto em pó a partir da polpa integralda pitaya, através do método de secagem por aspensão e avaliar sua estabilidade durante 60 dias de armazenamento, sob condições controladas de umidade relativa (83%) e temperatura (30 e 40 °C). Foram elaboradas três formulações com a polpa de pitaya integral com a adição de maltodextrina em três concentrações (25, 30 e 35%) e desidratadas nas temperaturas do ar de secagem de 150, 170 e 190 °C. Foi selecionado o melhor produto em pó mediante os resultados das análises dos parâmetros de betacianinas e intensidade de vermelho (+a\*). Os melhores resultados foram obtidos na temperatura de 150 °C e 25% de maltodextrina. Determinaram-se as isotermas de adsorção de água da amostra selecionada em diferentes temperaturas (20, 30 e 40 °C) e ajustaram-se os modelos de GAB, Oswin e Peleg aos dados experimentais. A partir dos resultados verificados, a polpa de pitaya integral foi considerada ácida e com conteúdo de betacianinas considerável. As amostras em pó apresentaram teor de água de 2,02 a 2,60% e verificou-se que durante o armazenamentoda amostra em pó selecionada o teor de água, a atividade de água e a solubilidade das amostras aumentaram. As isotermas de adsorção do pó selecionado foram classificadas como Tipo III e os modelos de Oswine GAB foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais. Com o aumento da temperatura houve um maior aumento na degradação das betacianinas e da intensidade de vermelho da polpa de pitaya em pó selecionada com comportamento inverso para a luminosidade.

**Palavras-chave:** Cactaceae, pitaya em pó, atomização, armazenamento, estabilidade, betacianinas.

## ABSTRACT

This work was carried out with the objective of obtaining a powder product from the pitaya whole pulp by means of spray drying and evaluating its stability during 60 days of storage under controlled conditions of relative humidity (83%) and temperatures (30 and 40 °C). Three formulations were made with the pitaya whole pulp with the addition of maltodextrin, in three concentrations (25, 30 and 35%), and dehydrated at the drying air temperatures of 150, 170 and 190 °C. The best powder was selected by the results of the analysis of the parameters of betacyanins and redness (+a\*). The best results were obtained at the temperature of 150 °C and 25% maltodextrin. The moisture adsorption isotherms of the selected powder at different temperatures (20, 30 and 40 °C) were determined and the GAB, Oswin and Peleg models fitted to the experimental data. From the verified results the pitaya whole pulp was considered acid and with considerable betacyanin content. The powder had a moisture content of 2.02 to 2.60% and it was verified that during the storage of the selected powder the moisture content, the water activity and solubility of the samples increased. The moisture adsorption isotherms of the selected powder were classified as Type III and the Oswin and GAB models were the best fit to the experimental data. With the increase in temperature there was a greater increase in the degradation of the betacyanins and the redness of the selected pitaya powder with inverse behavior for the luminosity.

**Keywords:** Cactaceae, pitaya powder, atomization, storage, stability, betacyanins.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é grande produtor de frutas visto que apresenta condições edafoclimáticas favoráveis e vem aumentando sua demanda no mercado interno e externo. O consumo de frutas exóticas com sua beleza, valor nutricional e sabor característico, tem crescido nos últimos anos, dentre as quais se destaca a pitaya vermelha de polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus* (Haw) Britton e Rose) (SANTOS et al., 2010).

A pitaya, também conhecida como fruta do dragão, pertence à família Cactaceae, é um arbusto epífita, originária da América e se encontra em países como Costa Rica, Guatemala, El Salvador, Venezuela, Panamá, Brasil, Uruguai, Colômbia e México. No Brasil, as pequenas áreas de produção de pitaya estão situadas principalmente no Estado de São Paulo, localizadas na região de Catanduva (BASTOS et al., 2006). As espécies mais comercializadas são duas: a de casca vermelha com polpa branca (*Hylocereus undatus* (Haw) Britton e Rose) e a de casca amarela com polpa branca também (*Selenicereus megalanthus* (Schum ex. Vaupel, Moran) outra espécie existente é a de casca vermelha com polpa vermelha (*H. lemairei* (Hook.) Britton e Rose) (DONADIO, 2009).

Devido à restrição de frutos na entressafra e a falta de manejo adequado na pós-colheita, aumenta a perecibilidade dos frutos acarretando em perdas significativas. O aumento da disponibilidade de alimentos é de grande importância motivo pelo qual se deve fazer o processamento de alimentos viabilizando o acréscimo de produtos em períodos fora da safra (ANSELMO et al., 2006).

A secagem é uma técnica de processamento bastante utilizada na indústria alimentícia para a conservação de alimentos, principalmente de frutas desidratadas e na forma de pó. Visa à diminuição do teor de água livre, reduzindo as reações enzimáticas, químicas e o crescimento microbiano. As vantagens desse processo é que aumenta a longevidade do produto, maior estabilidade, proporciona armazenar em temperatura ambiente e facilidade no transporte. Dentre os tipos de secagem está a secagem por aspersão, por atomização, pulverização ou *spray drying*, que é um processo contínuo no qual um líquido ou pasta recebe um fluxo de ar quente e é transformado em um produto em pó, com tempo de secagem relativamente curto (GAVA et al., 2008).

Frutos de pitayas com polpa vermelha, além de exóticos e possuírem uma importante fonte alimentar, se destaca pela sua intensa e atrativa coloração vermelho-púrpura referente à predominância de pigmentos naturais de betalaínas, podendo ser

também considerada como nova fonte de extração de pigmentos para a indústria alimentícia. Uma alternativa para aumentar a estabilidade de betalaínas em sucos na forma de pó é a utilização de embalagens e armazenamento adequados.

## **1.1 - Objetivo geral**

Estudar a secagem por aspersão da polpa de pitaya de casca vermelha com polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus* (Haw) Britton e Rose).

### **1.1.1 - Objetivos específicos**

- Determinar as propriedades físicas da pitaya *in natura*;
- Extrair e caracterizar a polpa integral de pitaya quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- Elaborar e caracterizar as formulações de polpas de pitayas com maltodextrina (DE 10) em três diferentes concentrações (25, 30 e 35%) em relação aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- Secar por aspersão, as formulações elaboradas a partir das polpas de pitayas com diferentes concentrações de maltodextrina (25, 30 e 35%) em diferentes temperaturas do ar de secagem (150, 170 e 190°C) e caracterizadas quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- Selecionar a melhor amostra em pó em relação aos parâmetros betacianinas e intensidade de vermelho;
- Analisar a estabilidade da melhor amostra em pó selecionada durante 60 dias de armazenamento acelerado sob condições de temperatura (30 e 40 °C) e umidade relativa controlada (83%);
- Determinar as isotermas de adsorção de água da amostra em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C;
- Avaliar a cinética de degradação das betacianinas e da cor da amostra em pó selecionada.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Pitaya

As cactáceas são altamente adaptáveis a um novo ambiente e capazes de tolerar o calor, a seca e o solo pouco fértil. A modificação do caule para o armazenamento de água, a redução ou ausência de folhas, as superfícies cerosas e o tempo de abertura dos tecidos para a absorção de dióxido de carbono (o processo CAM), habilitam estas plantas a tolerar condições adversas (LUDERS e McMAHON, 2006). Desta família de plantas advém a pitaya, uma das frutas tropicais mais promissoras.

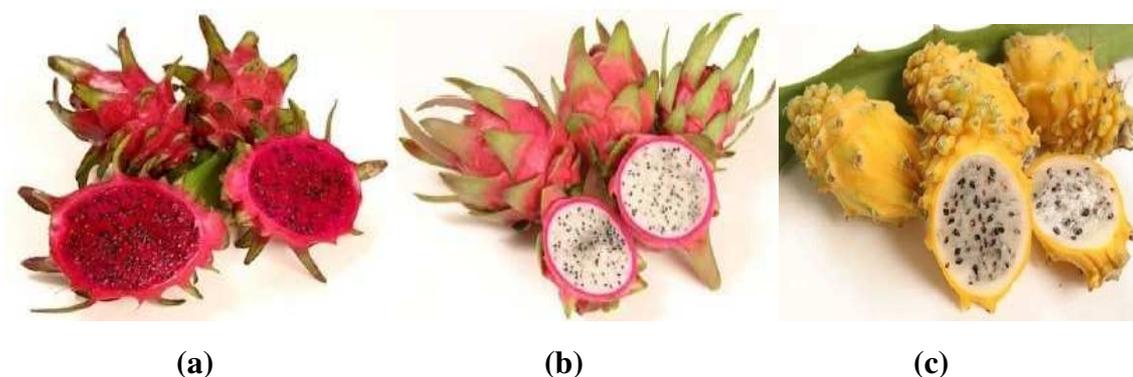
A pitaya é originária da América Tropical e Subtropical; faz parte do grupo de frutíferas tropicais consideradas de maior potencial para o cultivo. Há algumas décadas, essas plantas eram desconhecidas e ocupam um crescentenicho no mercado de frutas exóticas da Europa e vêm sendo bastante procurada por suas características organolépticas (LE BELLEC et al., 2006).

É uma planta perene que, comumente, cresce sobre árvores ou pedras, tem raízes fibrosas, abundantes e desenvolve numerosas raízes adventícias que ajudam na fixação e na obtenção de nutrientes; o caule, formado por cladódios triangulares, e suculentos, apresentam espinhos com 2 a 4 mm de largura (Figura 2.1). A flor é hermafrodita, de coloração branca, grande (mede cerca de 20 a 30 cm) e se abre durante a noite. O fruto é globoso ou subgloboso, tem medidas entre 10 a 20 cm de diâmetro podendo ser de coloração amarela ou vermelha, coberto com brácteas que apresentam aparência de escamas de um dragão tornando-o conhecido como fruta do dragão ou *Dragon Fruit*, em inglês (ALVARADO et al., 2003; CANTO et al., 1993; DONADIO, 2009).



**Figura 2.1** - Plantio de pitaya (*Hylocereus* ssp.) no estado do Ceará (Fonte: Autor)

Encontram-se na Figura 2.2, algumas variedades de pitaya com casca vermelha e amarela e polpa vermelha e branca.



**Figura 2.2** - Frutos de pitaya (a) (*Hylocereus polyrhizus*) (b) (*Hylocereus undatus*); (c) (*Selenicereus megalanthus*) Fonte: DONADIO (2009)

Pitayas são frutos não climatéricos que podem ser armazenados a 4 °C em sacos plásticos perfurados por até 25-30 dias, mas sua vida útil em temperatura ambiente tem duração de no máximo 10 dias (ZEE et al., 2004). Podem ser colhidas 30 dias após a formação do fruto, porém o período da colheita pode ser adiado sendo mais indicado 50 dias após a frutificação, pois permite que o fruto desenvolva mais sua doçura e possa aumentar seu tamanho (CHANG e YEN, 1997).

Segundo ZEE et al. (2004) algumas plantações no Vietnã de pitaya de casca vermelha com polpa branca produzem frutos grandes com massa média de  $397 \pm 85$  g e altos níveis de sólidos solúveis totais (13-19%).

JUNQUEIRA et al. (2010) relataram que algumas espécies de pitayas do cerrado vegetam naturalmente sobre maciços rochosos de arenito ou quartzito, troncos de árvores e em solos arenosos de campos rupestres dos Cerrados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Distrito Federal e Tocantins.

SILVA (2011) relata que no ano de 2008 foram comercializadas, na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP) 75,7 toneladas de pitaya; no ano seguinte, 115,49 toneladas, totalizando um aumento superior a 50% em relação ao do ano anterior. Em 2010 já haviam sido comercializadas, até o mês de novembro, mais de 138 toneladas, um aumento de 20% na comercialização em relação ao ano 2009.

## 2.2 - Características químicas e físico-químicas

As características químicas e físico-químicas das frutas variam de acordo com a variedade dos frutos, local de produção, condições edafo-climáticas, estágio de maturação e época de colheita, entre outros fatores. Na Tabela 2.1 tem-se os valores de parâmetros químicos e físico-químicos de pitayas de polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*), segundo OLIVEIRA et al. (2010).

**Tabela 2.1** - Parâmetros químicos e físico-químicos de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*)

Parâmetros	Pitaya vermelha ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> )	Pitaya branca ( <i>Hylocereus undatus</i> )
Umidade (%)	85,52±0,61	86,08±0,15
Proteínas (%)	1,06±0,07	1,87±0,05
Lipídeos (%)	0,36±0,01	0,47±0,02
Fibra bruta (%)	0,34±0,01	0,37±0,06
Cinzas (%)	0,36±0,01	0,08±0,02
Sólidos solúveis totais (°Brix)	11,00±0,01	10,83±0,02
Acidez total titulável (g/100 g)	0,26±0,04	0,18±0,05
pH	4,88±0,12	5,32±0,02
Açúcares totais (g/100 g)	7,93±0,12	8,45±0,36

Fonte: OLIVEIRA et al.(2010).

Alguns alimentos mantêm uma resistência a variações de pH. Esses alimentos, que tendem a resistir, são denominados tamponados; os alimentos de origem vegetal são menos tamponados do que os de origem animal que têm maior concentração de proteínas; como os vegetais são pobres em proteínas não possuem capacidade de resistir às variações de pH durante o crescimento de microrganismos (JAY, 2005).

BRUNINI e CARDOSO (2011) avaliando a qualidade de pitayas de polpa branca armazenadas nas temperaturas de 22-27 °C (ambiente), 18, 13e 8 °C durante 25 dias observaram, inicialmente, um pH de 4,60 e passou, ao final do armazenamento, para 5,70,

5,22, 5,80 e 5,32, nas respectivas temperaturas, indicando que o pH foi influenciado pela temperatura e tempo de armazenamento.

LIAOTRAKOON et al. (2013a) obtiveram, caracterizando as polpas de pitaya branca e vermelha, valores aproximados de pH de 4,57 e 4,40.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) é utilizado como medida indireta do teor de açúcares visto que aumenta de valor à medida que esses teores vão se acumulando na fruta. Sua medida não representa o teor exato dos açúcares, pois outras substâncias também se encontram dissolvidas na seiva vacuolar (vitaminas, fenólicos, pectinas, ácidos orgânicos etc.); no entanto, entre essas os açúcares são as mais representativas, chegando a constituir até 85-90% dos SST. Os teores variam com a espécie, cultivares, estágio de maturação e clima, situando-se entre 2 e 25 °Brix, com valores médios entre 8 e 14 °Brix (CHITARRA e CHITARRA, 2006).

MOREIRA et al. (2011) encontraram, estudando a qualidade de frutos de pitaya vermelha cultivados com diferentes tratamentos de adubação, encontraram valores médios de 11,56, 0,10 e 116,8 de sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável (%) e ratio, respectivamente.

A acidez em produtos hortícolas é atribuída sobretudo aos ácidos orgânicos que se encontram dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre como combinada com sais, ésteres, glicídios, etc. Os compostos ácidos mais abundantes em frutas são o ácido cítrico e o málico, havendo predominância desses ou de outros, de acordo com a espécie. Muitos ácidos já foram identificados, como ácidos pirúvico, acético, mevalônico, succínico, ascórbico, oxálico, caféico, cumárico, etc. (CHITARRA e CHITARRA, 2006).

WANITCHANG et al. (2010) encontraram, verificando o índice de maturidade de frutos de pitaya vermelha, valores mínimos e máximos de acidez total titulável de 0,10 e 1,23%, respectivamente.

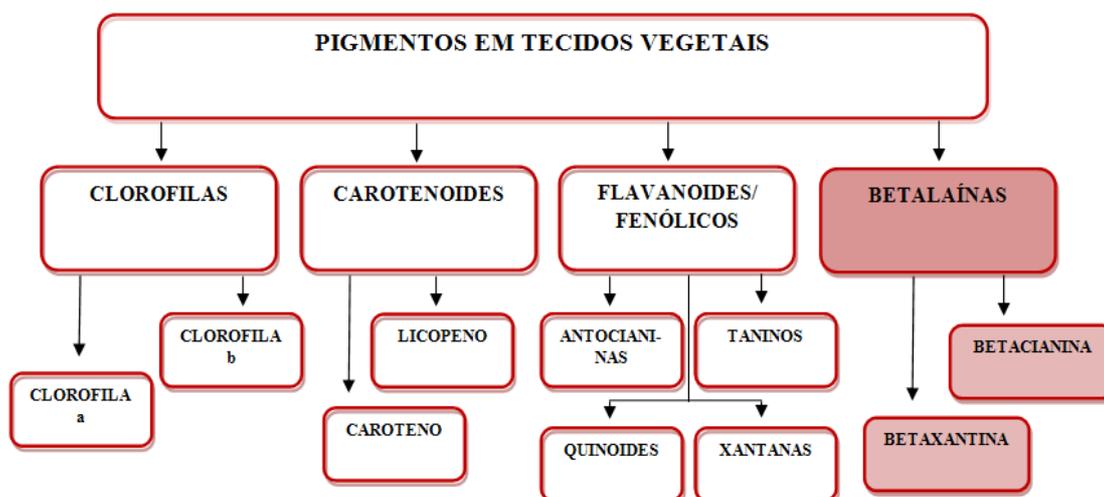
Na aceitabilidade de um produto alimentício a cor exerce uma influência bastante significativa e normalmente afeta as opiniões de provadores, sendo utilizada como indicativo de qualidade (aparência atrativa); essa coloração dos alimentos, ou seja, os pigmentos naturais em alimentos são provenientes de diversas substâncias: derivados de porfirinas, como grupo heme e clorofilas, por substâncias fenólicas e produtos de sua oxidação, pelos complexos de metais pesados, com proteínas ou compostos fenólicos e por carotenoides e pigmentos relacionados (ARAÚJO, 2008).

No desenvolvimento da cor nos alimentos a reação de amins e carbonilas, chamada de reação de Maillard, desempenha função importante na estabilidade (OETTERER et al., 2006). A coloração dos alimentos é proveniente dos pigmentos que são substâncias naturais de células e tecidos de plantas e animais (DAMODARAN et al., 2010).

### 2.3 - Betalaínas

Os pigmentos naturais de tecidos vegetais são encontrados em plantas, flores e frutos, estão relacionados com importantes atividades biológicas. Seus efeitos benéficos em relação à saúde estão relacionados com suas propriedades antioxidantes, proteção contra danos oxidativos a componentes celulares, efeitos anti-inflamatórios e prevenção das doenças crônicas não transmissíveis (VOLP et al., 2009).

A Figura 2.3 apresenta a classificação dos pigmentos naturais dos tecidos vegetais.



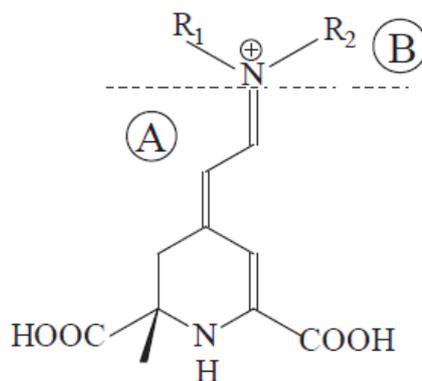
**Figura 2.3** - Classificação dos pigmentos em tecidos vegetais. Fonte: DAMODARAN et al. (2010)

As betalaínas são classificadas em betacianinas (pigmento vermelho ao vermelho-púrpura) e betaxantinas (pigmento amarelo) são encontrados nos vacúolos das plantas, hidrossolúveis, sua cor não é afetada por uma ampla faixa de pH. Existem 10 famílias de plantas da ordem *Centrospermae* que possuem este pigmento (HAMERSKI et al., 2013).

As betacianinas podem ser subdivididas em quatro estruturas diferentes, como betanina, amarantina, gonferina e bougainvilina. Encontram-se aproximadamente 50 tipos de betacianinas (vermelhos) e 20 tipos de betaxantinas (amarelos). Entre as fontes extratoras de pigmentos vegetais a beterraba contém ambos os corantes, cerca de 75-95% de betacianina (betanina) e aproximadamente 95% de betaxantina (vulgaxantina I) (CAI et al., 2005; AZEREDO et al., 2009).

Comumente os pigmentos são encontrados em flores, folhas, frutos e sementes, exemplos de plantas pigmentadas por betaláínas incluem a primavera (*Bougainvillea* spp.), o amaranto (*Amaranthus* spp.) e a beterraba (*Beta vulgaris* L.), frutos de cactos como, figo-da-índia (*Opuntia* spp.) e pitaya (*Hylocereus* spp.). Os pigmentos predominantes na pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) são as betacianinas (betanina) (STINTINZ et al., 2002; WYBRANIEC et al., 2001; WYBRANIEC et al., 2007).

As betaláínas são compostos N-heterocíclicos, apresenta fórmula geral o ácido betalâmico acompanhado de um radical  $R_1$  ou  $R_2$  (Figura 2.4). Esses radicais são uma representação geral para os possíveis substituintes da estrutura que podem ser de um simples hidrogênio a um complexo substituinte. A variação desses grupos se dá em função das diferentes fontes de onde podem ser obtidos esses pigmentos e determina sua tonalidade e estabilidade (CAI et al., 2005).



**Figura 2.4-** Estrutura química geral da betaláína (Fonte: CAI et al., 2005)

Segundo GONÇALVES et al. (2012) a beterraba possui conteúdo superior a 200 mg de betacianinas por 100 g do vegetal fresco. Os pigmentos da beterraba são usados em misturas em pó devido à sua excelente solubilidade e boa estabilidade. É bastante ampla a aplicação desses pigmentos em produtos alimentícios os quais podem ser encontrados em

produtos como: iogurtes, sorvetes, balas, confeitos, embutidos, geleias, doces, em produtos de panificação e em bebidas em pó (HAMERSKI et al., 2013).

ESQUIVEL et al. (2007a) investigaram as contribuições dos compostos fenólicos para a capacidade antioxidante de pitaya vermelho-púrpura e concluíram que as betalaínas foram responsáveis pela maior capacidade antioxidante.

TENORE et al. (2012) identificaram, estudando os pigmentos dos frutos de pitaya vermelha, excelente fonte de antioxidantes com benefícios saudáveis para uma dieta humana.

SAÉNZ et al. (2009) quantificaram o conteúdo de betacianinas e betaxantinas em figo-da-índia (*Opuntia* ssp.) *in natura* e conteúdo de betacianinas em amostras secas por atomização de figo-da-índia com maltodextrina. Os valores identificados de betacianinas e betaxantinas para a polpa *in natura* de figo-da-índia foram de 28,09 e 9,96 mg/g, respectivamente e o valor para betaxantinas na amostra seca foi de 9,96 mg/g.

CRUZ et al. (2012) observaram, analisando os frutos de pitaya de maio (*Stenocereus griseus* H.) originadas do México, valores elevados de betalaínas totais de 347,30 mg/100 g, para betacianinas de 199,6 mg/g e betaxantinas de 147,61 mg/100 g, além de valores significativos para os compostos fenólicos de 166,5 mg/g.

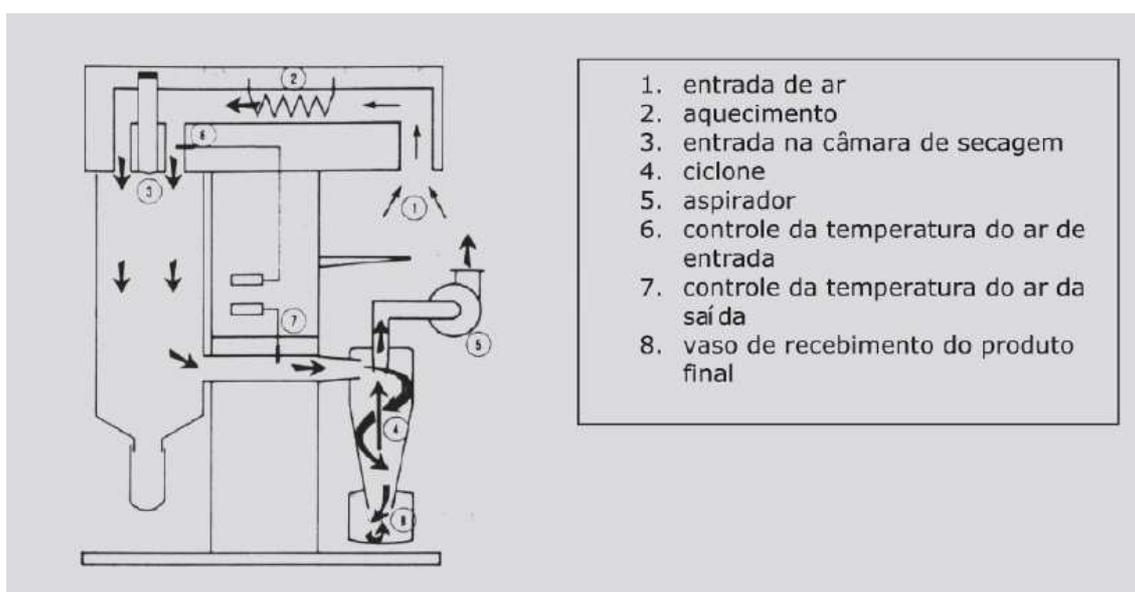
## **2.4 – Secagem por aspersão**

A secagem por aspersão, chamada de secagem por atomização ou por nebulização ou pulverização ou *spray drying* é um método de secagem no qual a partir de um líquido pulverizado se, projetam-se gotículas com grande relação superfície-massa, ocorrendo um fluxo contínuo de ar aquecido e que, após a evaporação da água, forma partículas em pó que serão coletadas na câmara de secagem cujo processo não compromete a qualidade do produto (MASTERS, 2002; DAIÚTO e CEREDA, 2003).

A secagem por atomização é considerada o processo mais utilizado na indústria de alimentos, por se tratar de ser mais econômico que o processo por liofilização, flexível e contínuo e que resulta em partículas de boa qualidade (GHARSALLAOUI et al., 2007).

É indicada a utilização da secagem por aspersão para soluções com conteúdo de sólidos em suspensão, principalmente de origem orgânica (LANGRISH e FLETCHER, 2001). Este método apresenta um tempo curto de contato da amostra com a temperatura do ar quente minimizando o risco de degradação de materiais mais sensíveis.

CELESTINO (2010) descreveu a secagem por aspersão de alimentos, onde um alimento líquido é introduzido na câmara de secagem na forma de gotículas por bicos atomizadores para o aumento da superfície de contato com o ar quente, que percorre a câmara em fluxo contracorrente, concorrente ou como uma combinação dos dois. A secagem ocorre sob condições constantes de evaporação sendo assim a temperatura do produto não é muito superior à temperatura de bulbo úmido do ar. Na Figura 2.5 tem-se o esquema de um secador por aspersão.



**Figura 2.5** - Esquema do secador por aspersão e do fluxo do ar de secagem FONTE: LANNES e MEDEIROS (2003)

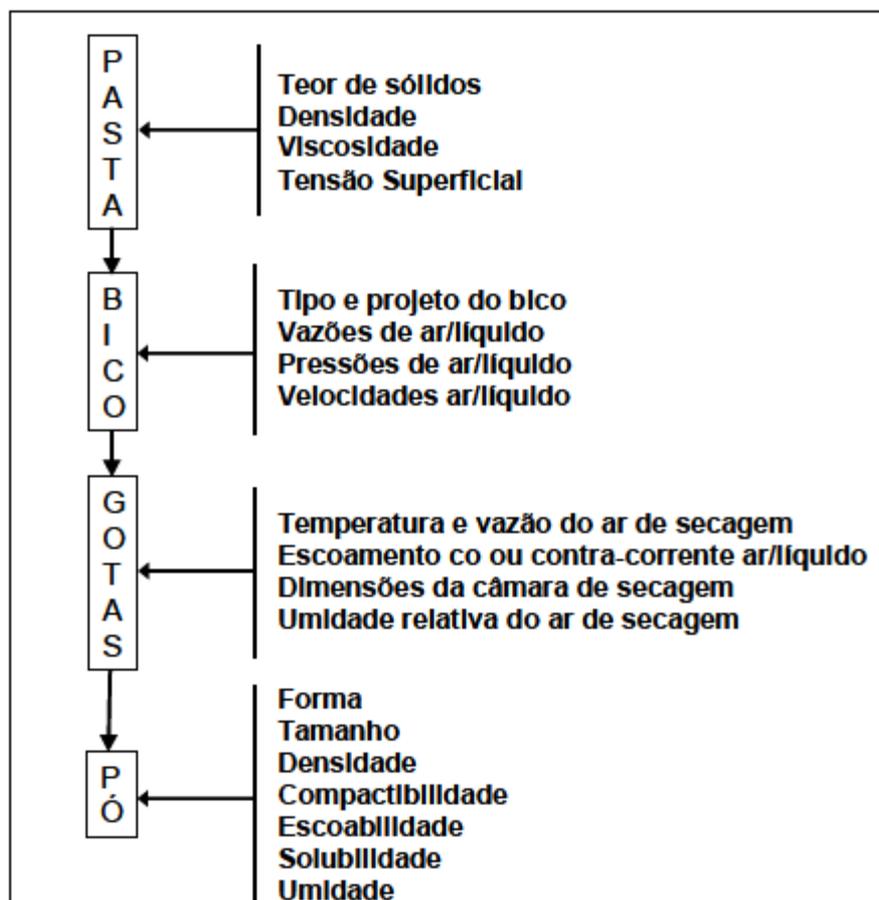
A secagem de produtos líquidos e/ou pastosos consiste em dispersar o produto, o qual será secado, em forma de pequenas gotículas (Figura 2.6) em um fluxo de ar quente, obtendo um produto em pó. O produto é colocado sob condições de corrente de ar quente com baixa umidade relativa (pressão 1151 Pa) e altas temperaturas (150-200 °C) em que ocorre uma diferença de temperatura e pressão parcial entre o produto e o ar, ocasionando uma transferência de água do produto para o ar (SCHUCK et al., 2010). As pequenas formações de gotículas e a grande área superficial das mesmas proporcionam uma rápida evaporação da água sem elevar demasiadamente a temperatura do produto resultando em menos danos aos produtos (SCHUCK, 2009).

### Aspersão do produto



**Figura 2.6** - Formação de partícula por secagem por aspersão (CAO et al., 2000)

Os parâmetros que afetam a secagem por aspersão (Figura 2.7) são os seguintes: as características do líquido atomizado (teor de sólidos, tamanho das partículas, viscosidade); tipo; mecanismo do atomizador e o ar de secagem podem influenciar nas propriedades finais de um produto em pó como densidade, formato, distribuição do tamanho das partículas, quantidade de ar ocluso e o teor de água final (TONON, 2009; SCHUCK et al., 2012).



**Figura 2.7** - Diagrama esquemático dos fatores que afetam a secagem por aspersão (Fonte: LABMAQ, 2003)

LEE et al. (2013) estudaram a estabilidade e as propriedades antioxidantes da polpa de pitaya de casca vermelha com polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e a pitaya de casca vermelha com polpa branca (*Hylocereus undatus*) desidratada (em pó) através do método de secagem por aspersão. Com os dois tipos de polpas foram elaboradas formulações para o processo de secagem, com adição de 30, 35, 40, 45 e 50% de maltodextrina (DE = 10) e secadas em temperaturas do ar de secagem de 120 e 180 °C para a polpa vermelha e para a polpa branca de 110 e 180 °C. Foi verificada melhor estabilidade nas menores temperaturas de secagem, 120 °C para a polpa vermelha e 110 °C para a polpa branca, com concentração de maltodextrina de 30% para ambas. As amostras de polpa vermelha de pitaya, *in natura* e em pó, obtiveram valores expressivos de conteúdo de betacianinas de 196 e 58,8 mg/L, respectivamente.

MARTIN (2013) realizou a secagem por atomização da polpa de cupuaçu, utilizando o mini *spray dryer* Modelo B191 (BÜCHI), com bico atomizador tipo duplo fluido com orifício de 0,7 mm de diâmetro, fluxo de ar comprimido constante de 0,6 m<sup>3</sup>/h e fluxo de ar de 19 m<sup>3</sup>/h. A temperatura do ar de secagem variou de 90-160 °C e a concentração de maltodextrina de 5-30%. Constatou-se que a polpa de cupuaçu em pó com maior retenção de vitamina C e rendimento e menor higroscopicidade e teor de água, foi a amostra secada com 30% de maltodextrina e temperatura do ar de 155 °C.

TONON et al. (2009) estudaram a microencapsulação do suco de açaí pelo método de secagem por aspersão utilizando, como agente carreador, a maltodextrina (DE = 10) nas concentrações de 10 a 30% e com temperatura do ar de secagem variando de 138 a 202 °C e identificaram que a temperatura do ar de secagem apresentava influência sobre a umidade, higroscopicidade e retenção de antocianinas e com o aumento da temperatura verificaram menores teores de umidades, aumento da higroscopicidade e menor retenção de antocianinas.

GALDINO (2011) avaliou a secagem por aspersão da polpa de figo-da-índia com adição de maltodextrina (DE = 10) em diferentes concentrações (25, 30 e 35%) e secadas nas temperaturas do ar de secagem de 170, 180 e 190 °C, bico atomizador com diâmetro de 1,2 mm, vazão de bombeamento da polpa formulada de 0,5 L/h, vazão do ar comprimido de 0,3 L/min. Este autor verificou que a amostra de figo-da-índia em pó que indicou melhores parâmetros de qualidade foi a amostra com 35% de maltodextrina secada na temperatura de 190 °C.

## **2.5 - Atividade de água**

A expressão atividade de água ( $a_w$ ) foi desenvolvida para indicar a intensidade com a qual a água se associa aos constituintes não aquosos. Experimentos mostram que estabilidade, segurança e demais propriedades dos alimentos podem ser determinadas com maior exatidão utilizando-se a atividade de água, em detrimento do conteúdo de água (DAMODARAN et al., 2010).

Existem três maneiras de como a água está disponível nos alimentos, na forma de água livre, água absorvida e água de hidratação ou ligada; a primeira permanece nos espaços intergranulares e entre os poros dos materiais e/ou células; a segunda está presente

na superfície de macromoléculas, como amido, pectina, celulose e proteínas e na terceira quimicamente fica ligada a outras substâncias do alimento e não é quantificada na maioria das vezes (CECCHI, 2003).

A água é, certamente, o fator individual que mais influencia nas alterações dos alimentos, a quantidade de água está relacionada com a umidade relativa do ar e temperatura, significando que uma diminuição do teor de água pode ocorrer devido ao aumento da temperatura, muito embora a umidade relativa seja um fator decisivo para essas variações (ALMEIDA et al., 2006).

A disponibilidade da água nos alimentos exerce diversas funções na realização das reações químicas, bioquímicas e também no desenvolvimento de microrganismos; essas funcionalidades ocorrem em virtude da atividade de água, que indica a intensidade das forças que unem a água com outros componentes não aquosos (ORDOÑEZ et al., 2005).

FELLOWS (2006) relatou que a água exerce uma pressão de vapor nos alimentos dependendo da quantidade de água presente, da temperatura existente, da concentração dos solutos (sais e açúcares) presentes; portanto, descreve a atividade de água (Equação 2.1) como a razão da pressão de vapor da água no alimento e a pressão de vapor saturada de água, na mesma temperatura”.

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

Em que:

P - pressão de vapor do alimento;

P<sub>0</sub>- pressão de vapor da água pura na mesma temperatura.

A água disponível nos alimentos medida como atividade de água é um fator crítico que determina a vida útil de produtos alimentícios; torna-se mais importante do que o teor de água pois a atividade de água determina o limite mínimo de água (água não-ligada) para o crescimento de microrganismos (MOURA e GERMER, 2004).

Na maioria dos alimentos frescos a atividade de água é de 0,99, valores que favorecem a deterioração dos alimentos com a proliferação de agentes deteriorantes. As bactérias Gram-negativas necessitam de a<sub>w</sub> maior que as bactérias Gram-positivas, porém os mofo crescem a partir de 0,80 (JAY, 2005).

A maioria das bactérias não se desenvolve em  $a_w$  abaixo de 0,91 e bolores em  $a_w$  abaixo de 0,8. Alguns fungos xerofílicos podem crescer em  $a_w$  de até 0,65. Na Tabela 2.2 tem-se os valores de atividade de água em que o crescimento dos microrganismos é inibido.

**Tabela 2.2** - Relação entre a atividade de água ( $a_w$ ) e o crescimento de alguns microrganismos

Faixa de atividade de água	Microrganismos
0,95-1,00	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>C. perfringens</i> , esporos de bactérias, alguma leveduras
0,91-0,95	<i>Salmoella</i> , <i>C. botulinium</i> , <i>Lactobacillus</i> , alguns fungos
0,87-0,91	Quase todas as leveduras, <i>Micrococcus</i>
0,80-0,87	Quase todos os fungos, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Saccharomyces sp.</i>
0,75-0,80	Quase todas as bactérias halofílicas
0,65-0,75	Fungos xerofílicos

Fonte: JAY (2005)

De forma geral, o efeito da redução da atividade de água a um valor abaixo do ótimo, é aumentar a duração da fase logarítmica de crescimento dos micro-organismos e diminuir a velocidade e o tamanho da população final. Esses efeitos são resultantes da influência adversa da baixa quantidade de água sobre as atividades metabólicas, todas as reações químicas das células necessitam de um meio aquoso, contudo, a atividade de água influencia outros parâmetros, como o pH, a temperatura de crescimento e o potencial de oxirredução (Eh) (JAY 2005).

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

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

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

#### 3.1 - Matéria-prima

Foram utilizadas, como matéria-prima, pitayas de casca vermelha com polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus* Web. Britton e Rose) (Figura 3.1) produzidas no estado do Ceará, em estágio de maturação maduro e maltodextrina com dextrose equivalente igual a 10 (DE 10) doada pela Corn Products Brasil.



**Figura 3.1** - Pitaya (*Hylocereus polyrhizus* Web. Britton e Rose)

#### 3.2 - Caracterização física da pitaya *in natura*

Foram analisados cinquenta exemplares de pitaya *in natura* quanto às medidas físicas, comprimento e largura, utilizando um paquímetro digital. A massa dos frutos foi pesada em balança semianalítica e o rendimento da polpa foi calculado através da Equação 3.1.

$$R = \frac{MS}{MF} 100 \quad (3.1)$$

em que:

R - rendimento (%)

MS - massa da polpa sem sementes (g)

MF - massa do fruto (g)

### 3.3 - Processamento dos frutos

As pitayas foram acondicionadas em caixa de papelão, transportadas para o laboratório e selecionadas manualmente, retirando-se os frutos que apresentavam danos físicos, presença de injúrias e estágio de maturação divergente de maduro; em seguida foram avaliadas as características físicas, posteriormente submetidas à lavagem em água corrente e, logo após foram sanitizadas, submergindo-as em recipientes contendo uma solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, por um período de 15 minutos; finalizando com o enxágue em água corrente para remover o excedente da solução sanitizante.

Após escoamento da água, os frutos foram distribuídos na bancada e conduzidos para o despolpamento manual, dividindo-os em quatro partes com facas de aço inoxidável; com o auxílio de uma colher fez-se a separação da polpa, contendo as sementes, da casca; a polpa, fracionada em porções de 0,5 kg, foi acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenada em freezer a -22 °C.

Posteriormente, as polpas foram descongeladas, separadas das sementes pela passagem em prensa hidráulica e homogeneizadas; Em seguida foram reembaladas, congeladas novamente por imersão em nitrogênio líquido (-196 °C) e armazenadas em freezer a -22 °C, sendo estocadas nessas condições para análises posteriores.

Na Figura 3.2 encontram-se as etapas do processamento dos frutos para a obtenção da polpa de pitaya.



**Figura 3.2** - Etapas para obtenção da polpa de pitaya integral

### **3.4 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de pitaya integral**

A polpa foi caracterizada determinando-se, em triplicata, o teor de água, pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável, açúcares redutores, açúcares totais, açúcares não-redutores e cinza, de acordo com as metodologias descritas no manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). A medida da atividade de água foi realizada a 25 °C por leitura direta utilizando-se o equipamento AquaLab CX-2 Decagon. O conteúdo de betacianinas foi determinado em espectrofotômetro, em triplicata, no comprimento de onda de 538 nm, de acordo com o procedimento adotado por LIM et al. (2011). A medida dos parâmetros de cor da polpa foi realizada utilizando-se um espectrofotômetro portátil

Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, que fornece leituras de luminosidade ( $L^*$ ), intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) e intensidade de azul ( $-b^*$ ).

### **3.5 - Elaboração e secagem das formulações**

Foram realizados testes preliminares para a escolha das formulações e para os parâmetros da secagem por aspersão, com base em trabalhos realizados por TONON et al. (2009) e OLIVEIRA et al. (2013). Os testes iniciais para as formulações foram realizados com 15, 20, 25, 30 e 35% de maltodextrina (DE=10) nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C, com os bicos aspersores com diâmetros de 0,7 e 1,0 mm, a vazão de alimentação da bomba peristáltica de 0,5 L/h e a vazão do ar comprimido de 30 L/min.

A partir dos resultados desses testes foram estabelecidas as formulações com 25, 30 e 35% de maltodextrina e os parâmetros do secador para as secagens foram os seguintes:

- Vazão de alimentação da bomba peristáltica: 0,5 L/h
- Diâmetro do bico aspersor: 0,7 mm
- Temperaturas do ar de secagem: 150, 170 e 190 °C
- Vazão do ar comprimido: 30 L/min

Na elaboração de cada formulação a polpa foi colocada em liquidificador doméstico e adicionada a maltodextrina aos poucos, nas respectivas concentrações 25, 30 e 35%, sob batimento, para total homogeneização. Foi utilizado o secador por aspersão (*spray drying*) de bancada LM MSD 1.0 da Labmaq para secagem das mesmas.

### **3.6 - Caracterização química, física e físico-química das formulações**

As formulações elaboradas com polpa de pitaya e maltodextrina nas concentrações de 25, 30 e 35% foram avaliadas em relação ao teor de água, pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável, relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável e cinzas, de acordo com as metodologias do IAL (2008). O conteúdo de betacianinas foi determinado em espectrofotômetro conforme LIM et al. (2011). A atividade de água ( $a_w$ ) foi determinada por meio de leitura direta a 25 °C em higrômetro aqualab, modelo CX-2

(Decagon) e a medida dos parâmetros de cor foi realizada com espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L.

### **3.7 - Análises químicas, físicas e físico-químicas das polpas de pitaya em pó**

#### **3.7.1 -Rendimento**

O rendimento do pó das formulações foi avaliado a partir da razão da massa final do pó pela massa inicial da formulação.

#### **3.7.2 -Teor de água**

O teor de água foi determinado conforme a metodologia do IAL (2008).

#### **3.7.3 -Atividade de água**

As medidas da atividade de água foram determinadas por leitura direta a 25 °C em equipamento Aqualab CX-2 (Decagon).

#### **3.7.4 -pH**

O pH foi determinado através do método potenciométrico. O potenciômetro foi previamente calibrado com soluções tampão de pH 7,00 e 4,00 imergindo-se, em seguida, o eletrodo em um béquer contendo a amostra e se fazendo a leitura direta no equipamento. Os resultados foram expressos em unidades de pH.

#### **3.7.5 -Acidez total titulável**

A acidez total titulável foi determinada por titulação da amostra com solução de NaOH a 0,1 M (IAL, 2008).

### **3.7.6 - Açúcares redutores**

A determinação dos açúcares redutores foi realizada através da metodologia do IAL (2008). Os resultados foram expressos em percentagem de glicose.

### **3.7.7 -Betacianinas**

O conteúdo de betacianinas foi determinado em espectrofotômetro de acordo com LIM et al. (2011).

### **3.7.8 - Cor**

Foram avaliados, nas amostras em pó, os parâmetros de cor  $L^*$  - luminosidade; vermelho ( $+a^*$ ), intensidade de azul ( $-b^*$ ) e de amarelo ( $+b^*$ ) através do espectrofotômetro portátil MiniScan Hunter Lab XE Plus, modelo 4500 L.

### **3.7.9 -Solubilidade**

A solubilidade do pó foi determinada colocando-se 2 g da amostra em pó em 50 mL de água destilada a 25 °C em um becker de 150 mL, sob agitação constante utilizando um agitador magnético e verificando o tempo decorrido para a dissolução total da amostra segundo a metodologia descrita por GOULA e ADAMOPOULOS (2005b).

### **3.7.10 -Molhabilidade**

A molhabilidade do pó foi determinada através da metodologia descrita por SCHUBERT (1993), na qual cerca de 1 g da amostra em pó é vertida em um béquer de 250 mL contendo 100mL de água destilada a temperatura ambiente verificando-se, através de cronômetro, tempo necessário para a completa imersão do pó. O cálculo da taxa de molhabilidade foi feito conforme a Equação 3.2.

$$M = \frac{N}{t} \quad (3.2)$$

em que:

M - molhabilidade

N - massa da amostra (g)

t - tempo (min)

### 3.7.11 -Densidade aparente

A densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) foi determinada em triplicata, pesando-se a amostra em uma proveta graduada de 10 mL e posteriormente calculada a relação entre a massa da amostra e o volume da proveta (Equação 3.3).

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (3.3)$$

em que:

$\rho_{ap}$  - densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>)

m - massa (kg)

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

### 3.7.12 -Densidade compactada

A densidade compactada ( $\rho_c$ ) foi avaliada, em triplicata, de acordo com a metodologia de TONON (2009), que consiste em pesar a amostra em uma proveta graduada de 10 mL e aplicar 50 batimentos na proveta com a amostra sobre a bancada de uma altura fixa de 2,5 cm. Anota-se o volume no qual a amostra foi compactada e calcula-se a relação entre a massa e volume compactado (Equação 3.4).

$$\rho_c = \frac{m}{V_c} \quad (3.4)$$

em que:

$\rho_c$  - densidade compactada (kg/m<sup>3</sup>)

m - massa (kg)

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

### 3.7.13 - Densidade absoluta

A densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ) foi determinada a 25 °C em um picnômetro de gás hélio automático (AccuPyc 1330 Automatic Gas Pycnometer Micromeritics, Norcross, USA), segundo a metodologia de WEBB e ORR (1997).

### 3.7.14 - Porosidade

A porosidade foi calculada conforme a Equação 3.5, a partir da relação entre a densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) e a densidade absoluta ( $\rho_{abs}$ ).

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}}\right)100 \quad (3.5)$$

em que:

$\varepsilon$  - porosidade (%)

$\rho_{ap}$  - densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{abs}$  - densidade absoluta (kg/m<sup>3</sup>)

### 3.7.15 - Tempo de escoamento

O tempo de escoamento das amostras em pó foi determinado utilizando-se um funil com diâmetro de 15mm de abertura inferior (saída) e diâmetro de abertura superior de 70 mm. O funil é fixado em um suporte universal com argola de sustentação, sob o qual é colocada uma placa para receber a amostra drenada de uma altura fixa de 25 mm da base em relação à saída do funil; foram pesadas 5 g enquanto esta amostra e essa massa foi vertida no funil, cuja abertura de saída foi vedada. Removeu-se a vedação do funil e deu-se início à medição do tempo de escoamento. Quando toda a amostra escoou o tempo decorrido foi considerado como tempo de escoamento.

### 3.7.16 - Fator de Hausner

O Fator de Hausner foi calculado a partir dos dados de densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) e a densidade compactada ( $\rho_c$ ), conforme a Equação 3.6.

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_{ap}} \quad (3.6)$$

onde:

$FH$  - Fator de Hausner

$\rho_{ap}$  - densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ )

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

### 3.8 - Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram avaliadas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, para a amostra em pó selecionada a partir dos resultados obtidos das análises de betacianinas e a intensidade de vermelho (+a\*) utilizando-se o equipamento *Aqualab* da Decagon Devices, utilizando-se o método indireto estático de CAPRISTE e ROTSTEIN (1982).

As amostras com aproximadamente 2 g foram pesadas e acondicionadas no porta amostra do *Aqualab*, para medição imediatamente da atividade de água no referido equipamento na temperatura desejada; em seguida, as amostras foram colocadas em recipientes de vidro hermético contendo água a fim de propiciar um ambiente para adsorção de umidade, os quais foram mantidos na temperatura de trabalho (20, 30 e 40 °C). As leituras da atividade de água foram iniciadas em intervalos de tempo curtos de 4 min e posteriormente aumentados para 1 hora e/ou 2 horas; a massa da amostra também foi determinada a cada leitura. Ao final, a amostra foi levada para a estufa para determinação da massa seca e em seguida calculado o teor de água de equilíbrio.

Os modelos matemáticos de GAB, Peleg e Oswin, apresentados na Tabela 3.1 foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó usando-se o programa Statistica, versão 5.0, através de regressão não linear.

**Tabela 3.1** - Modelos matemáticos das isotermas de adsorção de água

Modelo	Equação
GAB	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$
Peleg	$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2}$
Oswin	$X_e = a \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$

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

### 3.9 - Armazenamento acelerado das polpas de pitaya em pó

Após selecionar a melhor amostra em pó através das análises dos resultados, dos parâmetros betacianinas e intensidade de vermelho, procedeu-se ao armazenamento acelerado dessa amostra sob condições de temperatura (30 e 40 °C) e umidade relativa média controlada em torno de 83%.

As amostras em pó foram acondicionadas em embalagens flexíveis laminadas (camada polietileno de baixa densidade cristal e outra camada de polietileno tereftalato metal) e colocadas em recipientes de vidro hermético, contendo soluções saturadas de cloreto de potássio (KCl), as quais propiciam um ambiente de umidade relativa média aproximada de 83%. Esses recipientes foram colocados em câmaras do tipo BOD nas temperaturas de 30 e 40 °C (condição acelerada). As amostras em triplicata colocadas nesses ambientes, foram analisadas a cada 10 dias, durante 60 dias, determinando-se: teor de água, pH, acidez total titulável, de acordo com as metodologias do IAL (2008); atividade de água a 25 °C (Aqualab 3TE Decagon); solubilidade (TONON et al., 2009); cor (espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus) e betacianinas determinada em espectrofotômetro (LIM et al., 2011).

### 3.10 - Cinética de degradação das betacianinas e da cor

A análise de degradação das betacianinas foi realizada com a amostra de pó selecionada, escolhida após resultados das análises betacianinas e intensidade de vermelho. Foram utilizados recipientes hermeticamente fechados contendo solução saturada de cloreto de potássio (KCl), que induz uma atmosfera com umidade relativa em torno de 83%, nos quais foi colocado 1 g de amostra. Os potes foram acondicionados em câmaras com três temperaturas diferentes (25, 30 e 40 °C) e a cada dois dias eram realizadas análises de cor (espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus) e conteúdo de betacianinas (LIM et al., 2011) durante o período de 15 dias.

As constantes cinéticas de degradação de betacianinas de ordem zero e de segunda ordem foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 3.2. Para avaliar qual o melhor modelo foi utilizado, como critério, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 3.2** - Modelos cinéticos de ordem zero, primeira ordem e de segunda ordem

Ordem da reação	Modelo
Zero	$A = A_0 - k\theta$
Primeira	$\ln A = \ln A_0 - k\theta$
Segunda	$\frac{1}{A} = k\theta + \frac{1}{A_0}$

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

O tempo de meia vida ( $\theta_{(1/2)}$ ) foi calculado por meio da Equação 3.7 para o modelo cinético de ordem zero, com a Equação 3.8 para o modelo cinético de primeira ordem e com a Equação 3.9 para o modelo cinético de segunda ordem. O valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação das betacianinas e da cor.

$$\theta_{(1/2)} = \frac{A_0}{2k} \quad (3.7)$$

$$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{k} \quad (3.8)$$

$$\theta_{(1/2)} = \frac{1}{kA_0} \quad (3.9)$$

### 3.10.1 - Efeito da temperatura

Foi utilizada a equação do tipo Arrhenius (Equação 3.10), para expressar as taxas de reação (constante da velocidade da reação) em função da temperatura.

$$k = A \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (3.10)$$

em que:

k - constante de velocidade da reação

A - fator pré-exponencial

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

R - constante universal dos gases

T - temperatura absoluta

O fator  $Q_{10}$ , que informa o aumento ou diminuição na taxa de reação quando o produto é armazenado em uma temperatura de 10 °C maior, foi determinado pela Equação 3.11.

$$Q_{(10)} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (3.11)$$

em que:

$Q_{10}$  - fator

k - constante de velocidade da reação

T - temperatura absoluta (K)

### **3.11 - Análise de dados**

A análise estatística dos dados obtidos experimentalmente foi realizada utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 beta, para os tratamentos dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos das polpas. Para o estudo das formulações elaboradas com maltodextrina foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A avaliação estatística dos parâmetros teor de água, atividade de água, acidez total titulável, betacianinas, luminosidade e intensidade de vermelho, foi o fatorial 3 (concentração de maltodextrina) x 3 (temperaturas) com 3 repetições.

O tratamento dos dados do armazenamento foi realizado usando o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (2 x 7), com 2 temperaturas (30 e 40 °C), 7 tempos de armazenamento (0, 10,20, 30, 40, 50 e 60 dias) e 3 repetições e para a comparação entre médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Caracterização da pitaya *in natura*

Apresentam-se, na Tabela 4.1, os valores médios e os desvios padrão das dimensões, da massa e do rendimento da pitaya, medidos em 50 frutos.

O valor encontrado para a massa média das pitayas de 356,86 g foi inferior aos obtidos para massa média de pitayas (*Hylocereus costaricensis*) *in natura* por YAH et al. (2008) e NERD et al. (1999) quando trabalharam com *Hylocereus undatus* 469,2 a 437,5 g, respectivamente. ZHUANG et al. (2012) também encontraram valores médios maiores que 500g para pitaya (*Hylocereus undatus*) de casca vermelha com polpa branca.

O valor médio para o comprimento (eixo maior ou eixo longitudinal) dos frutos, de 9,02 cm, foi menor que as médias encontradas por LE BELLEC et al. (2006) para o comprimento de pitayas *Hylocereus costaricensis*, o qual variou de 10 a 15 cm e para as pitayas *Hylocereus polyrhizus* que variou entre 10 a 12 cm.

As médias obtidas por ESQUIVEL et al. (2007b) para a dimensão do segundo maior eixo em exemplares de pitaya *Hylocereus* ssp. de diferentes genótipos variaram de 4,54 a 7,74 cm, valores inferiores à média de 8,76 cm encontrada para os frutos estudados no presente trabalho.

**Tabela 4.1** - Valores médios e desvios padrão da massa e dimensões das pitayas *in natura* e rendimento da polpa

Parâmetro	Média e desvio padrão
Massa (g)	356,86 ± 25,34
Comprimento (eixo maior) (cm)	9,02 ± 5,49
Largura (segundo maior eixo) (cm)	8,76 ± 5,83
Rendimento da polpa (%)	57,06 ± 2,73

Os valores de rendimento da polpa de 57,06%, se aproximaram do reportado por CHAVÉZ (2011), que encontrou valores médios aproximados de rendimento da polpa de pitaya (*Hylocereus* ssp.), para seis diferentes genótipos de 55,9%. JUÁREZ et al. (2009)

encontraram valores superiores de rendimento de polpa para dois genótipos diferentes de pitaya de casca e polpa vermelha (*Hylocereus pupurium*), os quais foram de 76,5 e 79,6%.

#### **4.2 – Caracterização química, física e físico-química da polpa de pitaya integral**

Na Tabela 4.2 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da polpa de pitaya.

O teor de água de 87,44% para a polpa de pitaya integral foi similar à média encontrada por CANUTO et al. (2007) e LISBÔA (2010), de 87,9 e 87,8%, respectivamente, para o figo da índia; valores maiores de teor de água, de 90,71%, foram encontrado para frutos de mandacaru por MELO (2008).

A atividade de água de 0,988 para a polpa de pitaya integral indica um alimento com elevado conteúdo de água livre ( $a_w > 0,90$ ). Valores próximos de atividade de água de 0,980 foram encontrados por FERREIRA et al. (2014) para a polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*); NUNES et al. (2013) verificaram que a atividade de água da polpa de mandacaru tem valor de 0,990. Segundo BEJAR et al. (2012) alto valor de atividade de água pode favorecer várias mudanças físico-químicas e microbiológicas, sendo reconhecido que a diminuição da atividade de água é necessária para aumentar a vida de prateleira do produto.

O valor de pH de 4,37 limita o desenvolvimento microbiano; valor similar foi encontrado para frutos de mandacaru com pH de 4,4, determinado por SILVA e ALVES (2009). Valor de pH superior foi obtido por MEDINA et al. (2007), para frutos de palma forrageira (figo-da-índia) de 6,32.

O valor dos sólidos solúveis totais, de 12,27 °Brix, encontra-se na média de valores para frutos de cactáceas, semelhantemente aos valores determinados por YAH et al. (2008) para frutos de pitaya de casca vermelha e polpa branca, com 12,60 °Brix.

**Tabela 4.2** - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da polpa de pitaya

Parâmetros	Média e desvio padrão
Teor de água (%)	87,44 ± 0,26
Atividade de água (25 °C)	0,988 ± 0,001
pH	4,37 ± 0,02
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,27 ± 0,02
Acidez total titulável (% ácido málico)	0,32 ± 0,001
SST/ATT (Ratio)	38,35 ± 0,31
Açúcares redutores (% glicose)	3,09 ± 0,001
Açúcares totais (% glicose)	4,39 ± 0,001
Açúcares não redutores (% sacarose)	1,23 ± 0,001
Cinzas (%)	0,44 ± 0,041
Betacianinas (mg/100 g)	23,12 ± 0,38
Luminosidade (L*)	10,03 ± 0,02
Intensidade de vermelho (+a*)	37,21 ± 0,03
Intensidade de azul (-b*)	-2,06 ± 0,07

O valor referente à acidez total titulável da polpa de pitaya, de 0,32% de ácido málico, foi inferior ao encontrado para pitaya (*Hylocereus undatus*) por BRUNINI e CARDOSO (2011) de 1,42 g ácido cítrico/100 g, porém SIM et al. (2013) encontraram valor de acidez total titulável para pitaya (*Hylocereus undatus*) de 0,23% ácido cítrico. A acidez titulável é em muitos frutos, utilizada como critério para a classificação dos mesmos quanto ao sabor, conjuntamente com os teores de sólidos solúveis sendo, portanto, um importante fator de qualidade.

A relação dos sólidos solúveis totais/acidez total titulável (ratio) encontrada para a pitaya foi de 38,35, índice inferior de 15,88 foi avaliada por SOUZA et al. (2007) para as partes comestíveis de quipá (*Tacinga inamoena*) uma cactácea regional. Quanto maior o valor do ratio mais agradável ao paladar é a polpa de fruta de vez que o teor de sólidos solúveis totais é alto e/ou a acidez é baixa.

O valor encontrado para os açúcares redutores da polpa foi inferior aos reportados por OLIVEIRA et al. (2011) e ALMEIDA et al. (2009) para as polpas do fruto da palma (figo da índia) e mandacaru de 7,28 e 10,40% de glicose, respectivamente. SILVA e ALVES (2009) também estudando as características físico-químicas do mandacaru, obtiveram um teor de açúcares redutores de 5,76%.

O teor de açúcares totais, 4,39%, foi inferior aos valores encontrados por WICHIENTHOT et al. (2010) para duas variedades de pitaya, a de polpa vermelha e a de polpa branca, com 6,49 e 6,77 g/100 g, respectivamente.

O conteúdo de açúcares não redutores da polpa de pitaya integral apresentou resultados inferiores em relação aos valores encontrados por BAHIA et al. (2010) para o mandacaru (2,94%).

O valor obtido para cinzas, de 0,44%, foi maior que os encontrados por OLIVEIRA et al. (2010) para pitayas de polpas vermelha e branca, que foram de 0,36 e 0,39%, e menores que os de LIAOTRAKOON et al. (2013b) para pitayas de casca vermelha com polpa branca e casca vermelha com polpa vermelha, de 1,25 e 1,55%, respectivamente; TONON et al. (2009) encontraram valor semelhante para polpa de açaí cujo teor de cinzas foi de 0,44%.

As betacianinas foram inferiores ao quantificado por SAÉNZ et al. (2009) trabalhando com a polpa de figo da índia (*Opuntia ficus-indica*) que encontraram valores iguais a 28,09 para betanina equivalente/100 g e por AZEREDO et al. (2007), estudando extrato de beterraba que encontraram quantidade de betacianinas equivalentes a 28,82 mg/100 g.

O valor encontrado da luminosidade ( $L^*$ ) para a polpa integral de pitaya foi inferior ao determinado por LIAOTRAKOON et al. (2013a), para polpas de pitaya branca e vermelha de 39,09 e 26,25, respectivamente. Valores superiores também foram encontrados por NUNES et al. (2013) para o mandacaru, equivalente a 24,07.

A intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) da polpa de pitaya confirma a impressão visual transmitida pela cor da polpa. Resultados próximos de intensidade de vermelho de 35,64 foram relatados por QUEK et al. (2007) para polpa de melancia e valores inferiores foram relatos por LIAOTRAKOON et al. (2013b) para pitaya de casca e polpa vermelha (*Hylocereus ssp.*) com média de 9,14.

A intensidade de azul (-b\*) para a polpa de pitaya apresentou maior predominância da cordo que o constatado por LIAOTRAKON et al. (2013a) para polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) que foi de -1,93.

#### **4.3 - Caracterização química, físico-química e física das formulações**

Com base em testes preliminares de secagem por aspersão foram escolhidas três formulações as quais foram estabelecidas pela incorporação de 25, 30 e 35% de maltodextrina (DE 10) à polpa de pitaya integral.

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos das formulações. Para os valores do teor de água observam-se reduções estatisticamente significativas com o aumento da maltodextrina, ao contrário da atividade de água, em que não se observam diferenças estatisticamente significativas em seus valores com o aumento da concentração de maltodextrina.

Os valores de pH foram semelhantes nas três formulações. De acordo com a classificação de BARUFFALDI e OLIVEIRA (1998) o pH das três formulações encontra-se dentro de valores de produtos considerados ácidos (pH entre 3,7-4,5). GALDINO (2011) verificou valores superiores para pH, em torno de 5,44, ao adicionar maltodextrina (25, 30 e 35%) às formulações de polpa de figo da Índia, porém entre as amostras não foram observadas diferenças significativas.

Os valores dos sólidos solúveis das formulações seguiram uma ordem crescente de valores com o acréscimo de maltodextrina. MELO (2012) obteve um aumento de 2% na formulação de polpa de atemoia (50% polpa de atemoia + 50% de água destilada + 25% de maltodextrina) em relação à polpa integral.

O resultado para a acidez total titulável (% de ácido málico) foi maior para a formulação com 25% de maltodextrina. Entre as demais concentrações de maltodextrina (30 e 35%), não houve diferença significativa. Resultado semelhante foi relatado por GOMES (2009) para formulações de polpa de buriti com diferentes concentrações de maltodextrina (5, 10 e 15%) de 0,29% de ácido cítrico, não ocorrendo diferença estatística para as três concentrações de maltodextrina. Avaliando a relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável, o valor mais alto, de 93,99, foi observado para a formulação

com maior concentração de maltodextrina (35%) acompanhando o aumento dos sólidos solúveis totais propiciado pelo acréscimo de maltodextrina.

**Tabela 4.3-** Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos das formulações

Parâmetros	Formulações		
	Concentração de maltodextrina (%)		
	25	30	35
Teor de água (%)	71,45 ± 0,07 a	68,35 ± 0,22 b	66,61 ± 0,10 c
Atividade de água (25 °C)	0,985 ± 0,003 a	0,986 ± 0,002 a	0,984 ± 0,003 a
pH	4,07 ± 0,01	4,08 ± 0,01	4,06 ± 0,01
Sólidos solúveis totais (° Brix)	20,40 ± 0,00 c	23,40 ± 0,00 b	25,40 ± 0,00 a
Acidez total titulável (% ácido málico)	0,28 ± 0,00 a	0,27 ± 0,00 b	0,27 ± 0,00 b
SST/ATT	71,74 ± 0,12 c	86,05 ± 0,05 b	93,99 ± 0,03 a
Cinzas (%)	0,47 ± 0,01 a	0,47 ± 0,01 a	0,46 ± 0,01 a
Betacianinas (mg/100g)	14,42 ± 0,00 a	15,03 ± 0,51 a	15,22 ± 0,92 a
Luminosidade (L*)	19,36 ± 0,03 a	17,30 ± 0,80 b	17,26 ± 0,02 b
Intensidade de vermelho (+a*)	49,82 ± 0,07 a	46,83 ± 0,16 b	47,06 ± 0,09 b
Intensidade de azul (-b*)	-4,06 ± 0,18 a	-1,31 ± 0,05 c	-1,71 ± 0,08 b

Os teores de cinzas para as formulações com 25, 30 e 35% de maltodextrina se mantiveram sem variação estatística entre 0,46 e 0,47%, indicando que as diferentes concentrações de maltodextrina não influenciaram na quantidade de minerais das formulações. MELO (2007) também observou que o conteúdo mineral nas formulações de leite de cabra com umbu-cajá adicionada 10 e 15% de maltodextrina não sofreu influência significativa do acréscimo do aditivo.

Observa-se que o conteúdo de betacianinas não variou de forma significativa entre as três formulações.

No parâmetro luminosidade ( $L^*$ ) a primeira formulação, com 25% de maltodextrina, apresentou os maiores valores, de 19,36 estatisticamente maiores que as demais formulações (30 e 35% de maltodextrina). Resultados superiores de luminosidade 62,92 foram encontrados por MELO (2012) para a formulação de polpa de atemoia (50% polpa + 50% água destilada + 40% de maltodextrina) e por FERNANDES (2013) para três formulações de polpa de manga Keitt com diferentes concentrações de maltodextrina (30, 35 e 40%) de 36,58; 37,74 e 38,26, respectivamente.

A formulação que apresentou maior intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) foi a formulação com percentual de maltodextrina, de 25%, com 49,82. Os valores de 46,83 e 47,06 para as formulações de 30 e 35%, respectivamente, não apresentaram diferença significativa entre si mas são estatisticamente menores que na primeira formulação. O mesmo foi relatado por OLIVEIRA et al. (2006) sobre o comportamento de redução de intensidade de vermelho entre a polpa de pitanga integral e a formulada com 25% de maltodextrina + 30% água destilada.

As formulações para a intensidade de azul ( $-b$ ) apresentaram diferença significativa a nível de 1% de probabilidade com o aumento do aditivo (maltodextrina) para as três formulações. A maior intensidade de azul ( $-b^*$ ) foi para formulação com menor percentual de maltodextrina (25%), o que era esperado devido à maior quantidade de polpa.

#### **4.4 – Caracterização química, física e físico-química da polpa de pitaya em pó**

Na Tabela 4.4 observam-se os valores médios dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa de pitaya em pó com adições de 25, 30 e 35% de maltodextrina obtida por secagem por aspersão nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C. Verifica-se que os resultados obtidos para o pH se mantiveram entre 4,63 e 4,81, classificando o produto como alimento pouco ácido. Do conjunto de dados verifica-se tendência de aumento discreto do pH com a temperatura de secagem. SANTOS et al. (2014) e ROCHA et al. (2014) reportaram valores menores de pH de 3,88 para goiaba e caju em pó atomizados. BASTOS et al. (2005) encontraram valores aproximados de 4,59 para polpa de manga desidratada, pelo método de secagem em camada de espuma.

Verifica-se que com o aumento da temperatura houve tendência de redução do teor de água para a amostra com 25% de maltodextrina enquanto nas demais concentrações de

maltodextrina os pós apresentaram valores estatisticamente semelhantes com o aumento da temperatura. Entre as concentrações observa-se tendência de redução na temperatura de 150 °C.

As amostras em pó, com teor de água entre 2,02 e 2,60%, se encontram dentro de uma faixa segura para o armazenamento impossibilitando o crescimento microbiano e reações químicas e enzimáticas. Os valores estão próximos dos encontrados por TONON et al. (2013) na secagem por aspersão de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí, para diversos agentes carreadores. Valores de grandeza maior foram obtidos para a goiaba em pó liofilizada com 10% de maltodextrina com teor de água de 5,31 (ZEA et al., 2013) e de 6,01% para a ciriguela atomizada, a 110 °C, com 14% de maltodextrina (SILVA JÚNIOR et al., 2013). O conteúdo de água para o pó da casca de pitaya secada por aspersão, variou de 2,23 a 4,41% (BAKAR et al., 2013).

**Tabela 4.4** - Valores médios dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa de pitaya em pó secada com diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas

Parâmetros	Temp. (°C)	Concentração de maltodextrina (%)		
		25	30	35
pH	150	4,65	4,71	4,73
	170	4,63	4,71	4,76
	190	4,81	4,80	4,75
Teor de água (%)	150	2,60 aA	2,47 aAB	2,24 aB
	170	2,38 abA	2,41 aA	2,19 aA
	190	2,20 bAB	2,28 aA	2,02 aB
Acidez total titulável (% ácido málico)	150	1,01 aA	0,94 aB	0,88 aC
	170	0,94 bA	0,86 bB	0,82 bC
	190	0,94 bA	0,82 cB	0,69 cC
Cinzas (%)	150	1,71 aA	1,39 bB	1,20 abC
	170	1,26 bA	1,34 bA	1,30 aA
	190	1,63 aA	1,60 aA	1,17 bB
Açúcares redutores (% glicose)	150	26,96 bA	23,28 bB	23,23 cB
	170	25,84 cA	25,63 aA	25,52 aA
	190	27,42 aA	25,88 aB	24,84 bC
Betacianinas (mg/100 g)	150	58,44 aA	53,44 aB	51,95 aC
	170	47,79 bA	44,59 bB	42,26 bC
	190	42,45 cA	38,14 cB	31,16 cC

Obs: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Para a acidez total titulável os teores mais elevados foram encontrados na menor temperatura de secagem e com a menor concentração de maltodextrina. Maiores teores em temperaturas mais baixas podem ser atribuídos a um efeito menos pronunciado da temperatura do que do tempo de exposição enquanto que nas amostras com menor concentração de maltodextrina o teor de ácidos é proporcionalmente menos diluído. Valores maiores de 1,40 e 1,46% de ácido cítrico para a acidez total titulável para polpa de mandacaru em pó secada por aspersão com adição de maltodextrina DE 10 e 14 foram encontrados por OLIVEIRA et al. (2015), respectivamente. Diferente, ROCHA et al. (2014) encontraram valor inferior para a acidez total titulável, de 0,40% de ácido cítrico para polpa de cajú em pó, produzida em secador por aspersão.

A polpa de pitaya em pó apresentou maior percentual de cinzas para a menor concentração de maltodextrina (25%). Entre as temperaturas não se observa efeito consistente sobre o teor de cinzas. Valor superior de cinzas foi encontrado para a pitanga roxa desidratada pelo processo de secagem em camada de espuma com teor médio de 4,26% (BARRETO, 2011).

Os açúcares redutores apresentaram diferença significativa entre as amostras, com o aumento da concentração de maltodextrina ocorreu tendência de redução nos teores de açúcares. BASTOS et al. (2005) e MELO (2012), estudando a polpa de manga em pó e a polpa do mandacaru em pó desidratadas pelo método de secagem em camada de espuma, obtiveram valores inferiores para os açúcares redutores de 5,34-5,39% e 8,52%, respectivamente. COSTA (2012) usando o secador por aspersão para obtenção da polpa em pó de maracujá orgânico obteve valor superior de 30,79% glicose. Valor médio de 13% de glicose para os açúcares redutores foi encontrado por OLIVEIRA et al. (2006) para o pó de pitanga desidratada pelo processo de secagem por aspersão.

O teor de betacianinas sofreu influência estatisticamente significativa com a temperatura de secagem, com reduções entre as temperaturas em todas as concentrações de maltodextrina. A variação no teor de maltodextrina influenciou, de forma detectável, este constituinte, o qual apresentou o valor mais alto na concentração menor enquanto os valores inferiores (38,14 e 31,16 mg/100 g) foram encontrados para a temperatura mais elevada (190 °C). Valor superior de betacianinas foi analisado por SANTOS et al. (2007) em frutos do cacto jiotilla (*Escontria chiotilla*) liofilizado, no qual obtiveram resultado de 220 mg de betacianina/100 g de pó. CAI e CORKE (2000), trabalhando com secagem por aspersão de betacianina extraída de amarantho, também verificaram uma perda maior desse

pigmento com o aumento da temperatura e constataram que temperaturas superiores a 180 °C não são indicadas para secagem de betacianinas. BAKAR et al. (2013) trabalhando com casca de pitaya pó, pelo processo de secagem por aspersão, comprovaram que maiores concentrações de maltodextrina e menores temperaturas de entrada do ar de secagem levaram a uma perda menor de betacianina.

Na Tabela 4.5 estão apresentados os valores médios dos parâmetros físicos da polpa de pitaya em pó com adições de 25, 30 e 35% de maltodextrina obtida por secagem por aspersão nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C. Observa-se que com o aumento da temperatura e da concentração ocorreu aumento no rendimento da pitaya em pó. TONON et al. (2008) estudando o processo de secagem por aspersão para a polpa de açaí, verificaram que os pós obtidos nas temperaturas mais elevadas do ar de secagem promoveram maiores rendimentos e que o maior rendimento foi de 55,66%.

Os valores médios de atividade de água encontrados para as três concentrações de maltodextrina e três temperaturas, variaram de 0,210 a 0,286. Valores próximos foram encontrados por TONON et al. (2013) quando trabalharam com polpa de açaí utilizando quatro diferentes agentes carreadores com valor médio de 0,272; e por QUEK et al. (2007) para polpa de melancia em pó, obtida em secador por aspersão nas temperaturas de 145, 155, 165 e 175 °C, com 3 e 5% de maltodextrina que obtiveram valor médio de 0,241.

Observa-se, nas amostras de polpa de pitaya em pó, que na concentração de 35% de maltodextrina nas três temperaturas que as atividades de água não apresentaram diferença significativa, ao contrário das amostras com 25 e 30% de maltodextrina cuja atividade de água apresentou tendência de redução com o aumento da temperatura de secagem. O menor valor de atividade de água encontrado, de 0,210; para a temperatura de secagem de 190 °C e 25% de maltodextrina, não diferiu estatisticamente das amostras com maior concentração. Resultados de atividade de água que variaram de 0,05 a 0,30 foram relatados por SILVA JÚNIOR et al. (2013) para ciriguela em pó obtida em secador por aspersão utilizando 10, 14, 20, 26 e 30% de maltodextrina (DE 10) e diferentes temperatura de secagem (90, 110, 140, 170 e 190 °C).

**Tabela 4.5** - Valores médios dos parâmetros físicos da polpa de pitaya em pó secada com diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas

Parâmetros	Temp. (°C)	Concentração de maltodextrina (%)		
		25	30	35
<b>Rendimento (%)</b>	<b>150</b>	13,25 bB	13,70 bB	17,28 bA
	<b>170</b>	14,75 abB	14,80 bB	18,45 abA
	<b>190</b>	15,40 aB	18,35 aA	19,68 aA
<b>Atividade de água (25 °C)</b>	<b>150</b>	0,286 aA	0,233 aB	0,212 aC
	<b>170</b>	0,233 bA	0,232 aAB	0,218 aB
	<b>190</b>	0,210 cA	0,217 bA	0,215 aA
<b>Solubilidade (g/s)</b>	<b>150</b>	0,34 bA	0,20 bB	0,34 bA
	<b>170</b>	0,20 cB	0,50 aA	0,50 aA
	<b>190</b>	0,50 aA	0,50 aA	0,50 aA
<b>Molhabilidade(g/min)</b>	<b>150</b>	0,50 aA	0,33 aB	0,33 aB
	<b>170</b>	0,14 bA	0,13 bB	0,11 bC
	<b>190</b>	0,09 cB	0,09 cB	0,10 bA
<b>Densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>150</b>	640 aA	640 aA	640 aA
	<b>170</b>	620 bA	530 bB	520 bC
	<b>190</b>	540 cA	410 cB	350 cC
<b>Densidade compactada (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>150</b>	680 aA	670 aA	680 aA
	<b>170</b>	570 bA	520 bAB	500 bB
	<b>190</b>	480 cA	420 cAB	400 cB
<b>Densidade absoluta (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>150</b>	1.385,4 a C	1.406,8 a B	1.412,5 aA
	<b>170</b>	1.327,2 cA	1.262,5 cB	1.2390 cC
	<b>190</b>	1.334,2 bB	1.327,3 bC	1.381,8 bA
<b>Porosidade (%)</b>	<b>150</b>	53,74 aA	54,42 bA	54,71 bA
	<b>170</b>	53,62 aB	57,77 aA	57,77 aA
	<b>190</b>	53,62 aB	57,77 aA	57,77 aA
<b>Tempo de escoamento (s)</b>	<b>150</b>	2,05 bA	2,05 bA	2,05 cA
	<b>170</b>	2,05 bB	2,05 bB	3,05 bA
	<b>190</b>	3,05 aB	4,05 aA	4,03 aA
<b>Fator de Hausner</b>	<b>150</b>	1,06 aA	1,05 aA	1,05 bA
	<b>170</b>	0,83 bB	0,98 bA	0,95 cA
	<b>190</b>	0,88 bB	1,01 abB	1,14 aA

Obs: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

A solubilidade apresentou tendência de aumento tanto com o aumento da concentração de maltodextrina como com a temperatura, mas este valor apresentou um limite máximo de 0,50 g/s atingido, já na temperatura intermediária, 170 °C e na concentração intermediária, 30% de maltodextrina, mantendo-se assim a 190 °C em todas as concentrações. OLIVEIRA et al. (2013) estudando a solubilidade de partículas de

morango produzidas com diferentes agentes carreadores, obtiveram valores de solubilidade de 87,15 a 91,44%.

A molhabilidade apresentou redução estatisticamente significativa com o aumento da temperatura. Entre as diferentes concentrações, no entanto, embora os maiores valores sejam encontrados na amostra com 25% de maltodextrina, se configura uma redução quando se comparam esses valores com os das concentrações mais altas. GOMES et al. (2002) constataram valores próximos de 0,18 g/min para molhabilidade, avaliando a polpa de acerola desidratada mediante a secagem de uma solução com 90% de polpa de acerola e 10% de maltodextrina em um secador de leito de jorro com temperatura do ar de secagem de 70 °C.

As densidades aparentes e as densidades compactadas diminuíram com a elevação da temperatura nas três concentrações de maltodextrinae também diminuíram com o aumento da temperatura, exceto na temperatura de 150 °C que apresentaram valores estatisticamente iguais. OBÓN et al. (2009) encontraram valores para densidade aparente de 520 a 560 kg/m<sup>3</sup> para o pó de figo da índia secado em secador por aspersão nas temperaturas de 80, 120 e 160 °C. ZEA et al. (2013) quantificaram para a pitaya em pó elaborada com 10% de maltodextrina e liofilizada, valor de densidade compactada de 571 kg/m<sup>3</sup>.

Os valores médios da densidade absoluta das amostras de pitaya em pó diferiram estatisticamente entre si, apresentando média geral de 1.340,74 kg/m<sup>3</sup>. Resultados inferiores foram encontrados por OLIVEIRA et al. (2006) para a pitanga em pó com adição de 15% de maltodextrina, obtendo valor de densidade absoluta de 1.192,3 kg/m<sup>3</sup>.

A porosidade não diferiu estatisticamente com o aumento da temperatura na concentração de 25% de maltodextrina, nas demais concentrações ocorreu uma tendência de aumento com o acréscimo da temperatura. Valores aproximados de porosidade foram analisados por SOUZA et al. (2009) no intervalo de 50-59%, para polpa de tomate secada por atomização com adição de 10% de maltodextrina (DE-10) e 1% de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) com ar de secagem entre 200 a 220 °C.

O tempo de escoamento ocorreu tendência de aumento com o aumento da temperatura e com o aumento da concentração de maltodextrina também houve tendência de aumento, exceto na temperatura de 150 °C; os tempos de escoamento variaram de 2,05 a 4,05 s. Valores superiores foram encontrados por GALDINO (2015) para atemoia em pó

secada em camada de espuma em cinco temperaturas e espessuras diferentes, obtendo valores de 1s para todas as amostras analisadas.

O fator de Hausner das amostras na temperatura de 150 °C não apresentou diferença significativa com o aumento de maltodextrina nas temperaturas de 170 e 190 °C houve tendência de aumento com o aumento da concentração de maltodextrina. Através do fator de Hausner avalia-se a coesividade das amostras e verifica-se que os valores foram menores do que 1,2 sendo considerados pós com baixa coesividade (SANTHALAKSHMY et al., 2015) encontraram, que correspondem a um material com bom fluxo. PATIL et al. (2014) trabalhando com secagem por aspersão de polpa de goiaba nas temperaturas de 170, 180 e 185 °C com três diferentes concentrações de maltodextrina (7; 9,5 e 12%), valores maiores para o Fator de Hausner de 1,72 a 1,8, com alta coesividade.

Na Tabela 4.6 estão apresentados os valores médios dos parâmetros da cor da polpa de pitaya em pó com adições de 25, 30 e 35% de maltodextrina obtida na secagem por aspersão nas temperaturas de 150, 170 e 190 °C.

**Tabela 4.6** - Valores médios dos parâmetros da cor da polpa de pitaya em pó secada com diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas

Parâmetros	Temp. (°C)	Concentração de maltodextrina (%)		
		25	30	35
Luminosidade (L*)	150	47,21 cC	51,52 cB	51,96 cA
	170	58,07 aB	58,90 bA	56,41 bC
	190	57,14 bC	61,22 aB	63,37 aA
Intensidade de vermelho (+a*)	150	44,95 aA	43,56 aC	44,34 aB
	170	41,25 bC	41,42 bB	41,74 bA
	190	36,51 cA	36,02 cB	34,79 cC
Intensidade de azul (-b*) ou de amarelo (+b*)	150	-11,38	-13,26	-13,37
	170	-1,08	-2,29	-1,30
	190	+13,45	+10,79	+8,41

Obs: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

Observa-se que a luminosidade (L\*) demonstrou tendência de aumento com o acréscimo da concentração de maltodextrina e com a temperatura. O aumento da luminosidade com o aumento da temperatura visto que a rapidez da secagem proporciona a manutenção dos pigmentos presentes nas amostras, enquanto que o aumento devido ao

aumento de maltodextrina pode se justificar pela característica naturalmente mais clara do aditivo em relação à polpa. SILVA et al. (2008) trabalhando com polpa de tamarindo em pó obtido pelo processo de secagem em camada de espuma com temperatura do ar de secagem de 50, 60, 70 e 80 °C obtiveram valores de luminosidade menores, que variaram de 30,65 a 34,38. Valores maiores de luminosidade foram encontrados por KARIM e CHEE-WAI (1999) para a polpa de carambola em pó desidratada pelos métodos de secagem em camada de espuma e liofilização.

A intensidade de vermelho (+a\*) sofreu reduções estatisticamente significativas e progressivas com o aumento de temperatura indicando o efeito do aquecimento sobre os pigmentos presentes nas amostras. O contrário foi observado com a concentração de maltodextrina, cujas variações não afetaram a intensidade de vermelho. SAÉNZ et al. (2009) obtiveram valores que variaram de 24,4 a 34,7 de intensidade de vermelho (+a\*) para polpa em pó de figo-da-índia secado em secador por aspersão com dois agentes carreadores, maltodextrina e inulina.

A intensidade de azul (-b\*) foi reduzindo com o aumento da temperatura passando para a escala da intensidade de amarelo (+b\*) na temperatura de 190 °C; na temperatura de 190 °C apresentou-se uma intensidade de amarelo. A cor na escala da intensidade de azul (-8,12 a -8,24) foi verificada por AZEREDO et al. (2007) na amostra em pó de betacianinas extraídas das beterrabas secadas pelo método de secagem por aspersão com três concentrações de maltodextrina (3, 4 e 5%).

#### **4.5 - Armazenamento acelerado**

A amostra de pitaya em pó selecionada para o armazenamento acelerado foi determinada a partir dos maiores conteúdos de betacianinas e intensidade de vermelho (+a\*), nas condições de temperatura de secagem de 150 °C com a polpa secada com 25% de maltodextrina. A amostra em pó selecionada foi acondicionada em embalagens flexíveis laminadas e armazenadas no período de 60 dias, com atmosfera controlada em estufas BOD, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e umidade relativa média de 83%, obtida com o uso de soluções saturadas de KCl, com as análises realizadas a cada 10 dias.

#### 4.5.1 - Teor de água

Verificam-se na Tabela 4.7 os valores médios do teor de água da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento; constata-se que os teores de água aumentaram com o tempo de armazenamento e com o aumento da temperatura. Na temperatura de 30 °C o teor de água variou de 2,21 a 5,22% ocorrendo um aumento de 136% ao final de 60 dias de armazenamento; para a temperatura de 40 °C os teores de água para a amostra em pó foram de 2,21 a 5,71%, compreendendo um aumento médio de 158% no teor de água, ao final do armazenamento. ENDO et al. (2007) observaram durante o estudo realizado com o pó de maracujá obtido por secagem por aspersão, armazenado a 30 e 40 °C durante 180 dias em embalagens metálicas, o mesmo comportamento (aumento do teor de água com o aumento da temperatura). Apesar das embalagens terem baixa permeabilidade ao vapor d'água demonstraram ter permitido a absorção de água. Segundo TEIXEIRA NETO et al. (2004), devido ao tempo de exposição à umidade relativa e a temperatura do meio, ocorre a migração de água para o produto, sendo esta acentuada em temperaturas mais elevadas, em virtude da permeabilidade dos filmes aumentar com a temperatura.

Observa-se, comparando o efeito da temperatura, que nos tempos 0, 30 e 40 dias não ocorreu diferença significativa de teor de água entre as amostras armazenadas a 30 e 40 °C, mas a partir de 50 dias ocorreram valores mais elevados a 40 °C, culminado aos 60 dias de armazenamento, com 5,71%. SILVA et al. (2005) verificaram ao estudar a vida de prateleira do umbu-cajá em pó acondicionado em embalagem laminada por 60 dias, um aumento no teor de água de 24%, ao final do tempo de estudo.

**Tabela 4.7-** Valores médios de teor de água da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Teor de água (%)	
	30 °C	40 °C
0	2,21 dA	2,21 dA
10	2,90 cB	3,20 cA
20	3,23 cB	4,15 bA
30	4,42 bA	4,33 bA
40	4,46 bA	4,55 bA
50	4,78 bB	5,32 aA
60	5,22 aB	5,71 aA

MG = 4,05%; CV= 4,01%; DMS colunas = 0,42; DMS para linhas = 0,27

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

Obs: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de tukey, a 5% de probabilidade

#### 4.5.2 - Atividade de água

Na Tabela 4.8 encontram-se os valores médios da atividade de água da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. No período de 60 dias de armazenamento houve um aumento de 20% na atividade de água das amostras em pó para a temperatura de 30 °C; entretanto, para as amostras submetidas a 40 °C o aumento foi de 41,7%, demonstrando que a atividade de água das amostras sofreu influência da temperatura no período avaliado. A atividade de água da amostra armazenada a 40 °C apresentou valores estatisticamente maiores que a amostra a 30°C a partir de 10 dias de armazenamento mantendo-se, assim, durante todo o período estudado. GALDINO (2015) verificou aumento de até 32,61% para a atividade de água para polpa de atemoia em pó armazenada durante 60 dias em três diferentes temperaturas (20, 30 e 40 °C), sob condições de umidade relativa de 83%.

**Tabela 4.8** - Valores médios de atividade de água da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Atividade de água	
	30 °C	40 °C
0	0,243 cA	0,243 cA
10	0,268 bB	0,314 bA
20	0,269 bB	0,313 bA
30	0,271 bB	0,314 bA
40	0,276 bB	0,319 abA
50	0,281 bB	0,323 abA
60	0,304 aB	0,363 aA

MG = 0,291; CV= 2,91%; DMS colunas = 0,0219; DMS para linhas = 0,0142

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

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

Notou-se que, nessas condições, a permeabilidade da embalagem ao vapor d'água permitiu a absorção de água pelas amostras. Entretanto, os valores obtidos durante o armazenamento representam uma faixa ótima para amostras secas significando que a embalagem contribui para a boa estabilidade do produto. Verifica-se ainda que os valores da atividade de água apresentam condições desfavoráveis para crescimento microbiano, reações químicas e enzimáticas (ORDÓÑEZ et al., 2005).

LISBÔA et al. (2012) avaliando o armazenamento do figo-da-índia em pó em duas temperaturas (25 e 40 °C) com duas umidades relativas diferentes (55 e 83%) em um período de 100 dias, constataram igualmente um aumento da atividade de água com o aumento da temperatura.

Observa-se que a partir de 10 dias de armazenamento a atividade de água da polpa de pitaya em pó na temperatura de 30 °C modificou-se de forma lenta, não apresentando diferença estatisticamente significativa até os 50 dias. Porém, entre as temperaturas de 30 e 40 °C, exceto no tempo inicial, verificaram-se diferenças significativas em todos os tempos de armazenamento com os maiores valores na temperatura de 40 °C.

### 4.5.3- pH

Na Tabela 4.9 tem-se os valores médios de pH da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. Os dados encontrados para a polpa de pitaya em pó, demonstraram tendência à redução do pH com o tempo de armazenamento em ambas as temperaturas. Contrariamente, BREDA et al. (2012) analisando o pH da polpa de guavira em pó, relataram aumento do pH no período do armazenamento, o qual foi maior em condições aceleradas do que em condições ambientais.

De maneira geral a amostra de pitaya em pó selecionada pode ser classificada como um produto pouco ácido ( $\text{pH} > 4,5$ ).

Os valores de pH da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento nas duas temperaturas, com variação de 4,53 a 4,60 situaram-se relativamente próximos aos encontrados por MELO (2012) para polpa de atemoia em pó obtida pela secagem por aspersão cujo valor médio foi cerca de 4,94.

**Tabela 4.9** - Valores médios de pH das amostras de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	pH	
	30 °C	40 °C
0	4,60 ± 0,05	4,60 ± 0,05
10	4,47 ± 0,06	4,56 ± 0,06
20	4,45 ± 0,02	4,50 ± 0,05
30	4,47 ± 0,06	4,57 ± 0,04
40	4,57 ± 0,05	4,57 ± 0,03
50	4,55 ± 0,03	4,57 ± 0,05
60	4,56 ± 0,02	4,53 ± 0,03

### 4.5.4–Acidez total titulável

Na Tabela 4.10, apresentam-se os valores médios de acidez total titulável da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. A variação dos valores de acidez total titulável durante todo o armazenamento para as temperaturas de 30 e 40 °C esteve entre 0,98-1,03%

de ácido málico. A amostra de pitaya em pó na temperatura de 30 °C apresentou um comportamento de acidez total titulável estável até o final do armazenamento. Diferente do encontrado por BREDA et al. (2012) para guavira (*Campomanesia adamantium*) em pó com duas condições de armazenamento, ambiente (25 °C/75% UR) e acelerado (35 °C/90% UR) os autores constataram aumentos de 31,71 a 34,35% na acidez total titulável, respectivamente.

MENEZES et al. (2009) obtiveram amostras em pó de acerola verde utilizando dois processos distintos de secagem, o primeiro em estufa com circulação de ar e o outro por liofilização, e estudaram, em condições ambientais, a estabilidade dos pós durante 180 dias. Os autores observaram que a acidez total titulável diminuiu para ambos os processos, até o final do armazenamento.

A polpa de pitaya em pó apresentou valor de acidez superior ao encontrado por OLIVEIRA et al. (2006) para a polpa de pitanga em pó secada por aspensão, que foi de 0,73% de ácido cítrico e inferior ao estudado por OLIVEIRA et al. (2007) para as polpas de abacaxi e maracujá em pó atomizadas com 10% de maltodextrina, obtendo valores de 6,08 e 6,96% de ácido cítrico, respectivamente.

**Tabela 4.10** - Valores médios de acidez total titulável da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Acidez total titulável (% ác. málico)	
	30 °C	40 °C
0	1,00 aA	1,00 abA
10	1,00 aA	1,00 abA
20	1,00 aA	1,01 abA
30	1,00 aA	1,01 abA
40	0,98 aB	1,03 aA
50	1,00 aA	1,02 abA
60	1,00 aA	0,99 bA

MG = 1,00; CV= 1,29%; DMS colunas = 0,03; DMS para linhas = 0,02

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

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

Entre as temperaturas os valores da acidez total titulável permaneceram sem diferença significativa, exceto no tempo de 40 dias que não demonstrou tendência alguma.

#### **4.5.5– Solubilidade**

Estão apresentados, na Tabela 4.11, os valores médios de solubilidade da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. O resultado da solubilidade apresentou tendência de diminuição nos primeiros 10 dias de armazenamento nas temperaturas de 30 e 40 °C. A partir dos 20 dias a solubilidade aumentou e dos 30 dias até o final do armazenamento permaneceu inalterada. O aumento da temperatura de armazenamento não demonstrou influência na solubilidade, com valores estatisticamente semelhantes durante praticamente todo o armazenamento, apesar do aumento do teor de água das amostras ao longo do armazenamento. ENDO et al. (2007) observaram, estudando a solubilidade do maracujá em pó atomizado e armazenado em um período de 180 dias em temperatura ambiente, observaram uma diminuição da solubilidade com o tempo de armazenamento, de 99,15 a 98,61%. COSTA et al. (2013) também constataram uma redução expressiva da solubilidade, de 7,67%, no decorrer de 360 dias de armazenamento em polpa de maracujá em pó secado por aspersão.

A solubilidade inicial da polpa de pitaya em pó, de 0,36 g/s, foi inferior à encontrada por LEE et al. (2013) em polpa de pitaya vermelha em pó obtido por secagem por atomização de 136 s.

**Tabela 4.11-** Valores médios de solubilidade de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Solubilidade (g/s)	
	30 °C	40 °C
0	0,36 cA	0,36 bA
10	0,35 dA	0,35 cA
20	0,42 bB	0,53 aA
30	0,53 aA	0,53 aA
40	0,53 aA	0,53 aA
50	0,53 aA	0,53 aA
60	0,53 aA	0,53 aA

MG = 0,47; CV= 0,29%; DMS colunas = 0,00; DMS para linhas = 0,00

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

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

#### 4.5.6 – Luminosidade (L\*)

Na Tabela 4.12 apresentam-se os valores médios de luminosidade (L\*) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. Observa-se que a luminosidade não sofreu alterações estatisticamente significativas com o decorrer do tempo de armazenamento nas temperaturas de 30 e 40 °C, exceto pontualmente no tempo de 20 dias de armazenamento. Essa ausência de escurecimento da amostra indica que a embalagem protegeu a amostra contra a luz favorecendo a estabilidade da cor. A luminosidade da polpa de pitaya em pó, que apresentou média geral de 45,6, é inferior à encontrada por GALDINO (2011) para polpa de figo-da-índia em pó de 68,1, secada por aspensão, armazenada por 40 dias sob condições de umidade relativa de 83% e temperaturas de 25 e 40 °C.

**Tabela 4.12** - Valores médios de luminosidade (L\*) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Luminosidade (L*)	
	30 °C	40 °C
0	45,59 bA	45,59 aA
10	45,49 abA	45,18 aA
20	45,04 bB	45,55 aA
30	45,18 abA	45,45 aA
40	45,56 abA	45,44 aA
50	45,79 aA	45,59 aA
60	45,79 abA	45,77 aA

MG = 45,50; CV= 0,58%; DMS colunas = 0,69; DMS para linhas = 0,44

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

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

LOUREIRO et al. (2013) verificaram, estudando a polpa de buriti em pó obtida por secagem em estufa com circulação de ar, acondicionada em embalagens de polietileno e laminada durante 90 dias de armazenamento, que a luminosidade não foi influenciada pelo tipo de embalagem durante o armazenamento, contrariamente, ALEXANDRE et al. (2014), estudando os parâmetros de cor de pitanga em pó acondicionada em embalagem multifoliada, durante 60 dias de armazenamento em condições ambientais com umidade relativa média de 75% a redução de 18,89% da luminosidade ao final do armazenamento.

#### 4.5.7 – Intensidade de vermelho (+a\*)

Tem-se, na Tabela 4.13, os valores médios de intensidade de vermelho (+a\*) da polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. Houve tendência de redução da intensidade de vermelho apenas na temperatura de 40 °C e, ainda assim, apenas entre o tempo inicial e os demais tempos.

Avaliando o efeito da temperatura observa-se que as amostras diferiram estatisticamente na maioria dos tempos, mas ao final do armazenamento os valores se

assemelham, demonstrando pequena influência da temperatura sobre o parâmetro intensidade de vermelho.

A intensidade de vermelho se manteve inalterada para a polpa de buriti em pó armazenada por 90 dias em condições ambientais em dois tipos de embalagem, demonstrando a eficiência da embalagem em proteger a cor do produto (LOUREIRO et al., 2013). Inversamente, ALEXANDRE et al. (2014) e LISBÔA et al. (2012) observaram trabalhando com polpa de pitanga e figo-da-índia em pó, respectivamente, reduções progressivas na intensidade de vermelho durante o armazenamento. De acordo com HENRIETTE (2004) as principais funções das embalagens são de conter e proteger constituindo-se em uma barreira entre o alimento e o ambiente externo, retardando ao máximo a degradação devido à presença de fatores como luz, oxigênio e teor de água.

**Tabela 4.13** - Valores médios de intensidade de vermelho (+a\*) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de vermelho (+a*)	
	30 °C	40 °C
0	45,09 aA	45,09 aA
10	45,09 aA	44,22 bB
20	44,72 aA	44,27 bB
30	44,72 aA	44,28 bB
40	44,63 aA	44,42 bA
50	44,76 aA	44,31 bB
60	44,68 aA	44,34 bA

MG = 44,62; CV= 0,46%; DMS colunas = 0,53; DMS para linhas = 0,34

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

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

#### 4.5.8 – Intensidade de azul (-b\*)

Apresentam-se, na Tabela 4.14, os valores médios de intensidade de azul (-b\*) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. Observa-se que, para a intensidade de

azul, não ocorreu variação estatística significativa no decorrer do tempo de armazenamento exceto para o tempo de 10 e 60 dias na temperatura de 30 e 40 °C, respectivamente. A estabilidade da intensidade de azul da amostra de polpa de pitaya em pó indica que a embalagem promoveu uma barreira eficaz contra a luz e oxigênio, evitando possíveis modificações na cor.

TONON et al. (2009) também identificaram estudando a cor do suco de açaí em pó produzido pelo método de secagem por aspersão nas temperaturas de 138, 170 e 202 °C, a coloração intensa de azul que foi igual a -2,41; -2,40 e -193, respectivamente.

**Tabela 4.14** - Valores médios de intensidade de azul (-b\*) de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Intensidade de azul (-b*)	
	30 °C	40 °C
0	-14,88 abA	-14,88 aA
10	-15,32 aA	-14,87 aA
20	-14,55 abA	-14,11 aA
30	-14,27 bA	-14,23 aA
40	-14,23 bA	-14,27 aA
50	-14,42 bA	-14,04 aA
60	-14,41 bA	-13,06 bB

MG = 1,11; CV= 9,04%; DMS colunas = 0,21; DMS para linhas = 0,214

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

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

#### 4.5.9 – Betacianinas

Estão apresentados, na Tabela 4.15, os valores médios de betacianinas de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento. Verifica-se-se que os valores decresceram ao longo do armazenamento nas duas temperaturas sendo que na temperatura de 40 °C a redução entre o início e o final do armazenamento foi maior, confirmando que a temperatura influencia significativamente na degradação de betacianinas da pitaya em pó.

A 30 °C a redução de betacianinas entre o tempo zero e 60 dias foi de 15,7%, enquanto a 40 °C foi de 21,6%.

Comparando o efeito da temperatura em cada tempo tem-se, praticamente, uma equivalência entre a degradação das betacianinas até os 10 dias de armazenamento. A partir de 30 dias as reduções são menores na temperatura de 30 °C, permanecendo assim até o final do armazenamento.

Valores maiores de degradação de betacianinas, de 36,7%, foram encontrados por SAÉNZ et al. (2009) para figo-da-índia secado por aspersão, armazenado na temperatura de 60 °C, durante 44 dias. Inicialmente, o valor de betacianinas encontrado para a pitaya em pó foi de 92,33 mg/100 g, próximo ao avaliado por AZEREDO et al. (2007) para beterraba em pó atomizada com 3% de maltodextrina (DE 10) com valor de 90 mg/100 g.

MATTOS et al. (2002) avaliando a polpa da cactácea tuna (*Opuntia boldinghi*) liofilizada e armazenada durante 90 dias, reportaram um valor final de betacianinas de 0,05g/L.

**Tabela 4.15** - Valores médios de betacianinas de polpa de pitaya em pó durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (dia)	Betacianinas (mg/100 g)	
	30 °C	40 °C
0	92,33 aA	92,33 aA
10	83,54 bA	83,61 bA
20	79,17 cB	80,25 cA
30	78,56 cdA	75,82 dB
40	78,49 cdA	75,80 dB
50	78,65 cdA	75,67 dB
60	77,81 dA	72,39 eB

MG = 80,32; CV= 0,47%; DMS colunas = 0,97; DMS para linhas = 0,63

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

Obs: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de tukey, a 5% de probabilidade

#### 4.6 - Isotermas de adsorção de água

Têm-se, na Tabela 4.16, os parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, para a polpa de pitaya em pó selecionada. Os modelos de GAB e Oswin apresentaram os menores valores dos desvios percentuais médios (P) em todas as temperaturas enquanto o modelo de Peleg apresentou os maiores valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) nas temperaturas de 30 e 40 °C. Diante dos valores de  $R^2$  e P verifica-se que os modelos de GAB e Oswin, em todas as temperaturas e o Peleg na temperatura de 40 °C, podem ser usados na estimativa das isotermas da polpa de pitaya em pó selecionada, por terem apresentado  $R^2 > 0,98$  e  $P < 10\%$ .

Verifica-se que os teores de água na monocamada molecular ( $X_m$ ), fornecido pelo modelo de GAB, para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C foram de 5,5139; 5,4916 e 6,2447% b.s., respectivamente. Esses valores da monocamada indicam que o teor de água está em uma faixa segura para manter a estabilidade da polpa de pitaya em pó. PAGLARINI et al. (2013) avaliando as isotermas de adsorção de água, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, da polpa de manga seca que o modelo de GAB foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com valores na monocamada ( $X_m$ ) de 0,076, 0,060, 0,054 e 0,042 b.s., respectivamente. OLIVEIRA et al. (2013) observaram que o melhor modelo que se ajustou aos dados experimentais para as isotermas de adsorção da polpa de morango em pó para os diferentes agentes carreadores com os menores valores de P e os maiores valores de  $R^2$  foi o modelo de GAB. MELO (2008) encontrou que o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água a 20 °C da polpa do fruto do mandacaru em pó, desidratada a 70 e 80 °C, com coeficientes de determinação superiores a 0,99.

**Tabela 4.16** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água, a 20, 30 e 40 °C, da polpa de pitaya em pó

Modelo	Temperatura	Parâmetros			$R^2$	P (%)	
	(°C)	$X_m$	C	K			
GAB	20	5,5139	2,8420	0,9855	0,9954	8,91	
	30	5,4916	1,1785	0,9909	0,9963	8,57	
	40	6,2447	1,3913	0,9850	0,9988	7,13	
Oswin	Temperatura	a	b	$R^2$	P (%)		
	(°C)						
Oswin	20	7,8447	0,8108	0,9956	8,68		
	30	5,9496	0,9311	0,9962	8,78		
	40	7,2301	0,8799	0,9986	7,08		
Peleg	Temperatura	$K_1$	$n_1$	$K_2$	$n_2$	$R^2$	P (%)
	(°C)						
Peleg	20	34,9954	2,1336	158,6666	20,6128	0,9953	13,70
	30	28,6674	2,1710	125,0324	15,8761	0,9968	11,52
	40	21,6185	1,5361	113,9328	11,6080	0,9996	8,61

De acordo com GOULA et al. (2008) o conteúdo de água na monocamada é aquele que possibilita, em determinada temperatura, maior estabilidade e degradação mínima de qualidade do alimento; abaixo deste valor as taxas de reação de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas.

A constante C do modelo de GAB, que representa o calor total de sorção da primeira camada, apresentou diminuição com o aumento da temperatura entre 20 e 30 °C. O parâmetro C, que é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (ALEXANDRE et al., 2007), teve seu maior valor, de 2,8420, na temperatura de 20 °C.

O parâmetro K do modelo de GAB, que representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido apresentou aumento de seus valores entre as temperaturas de 20 e 30 °C.

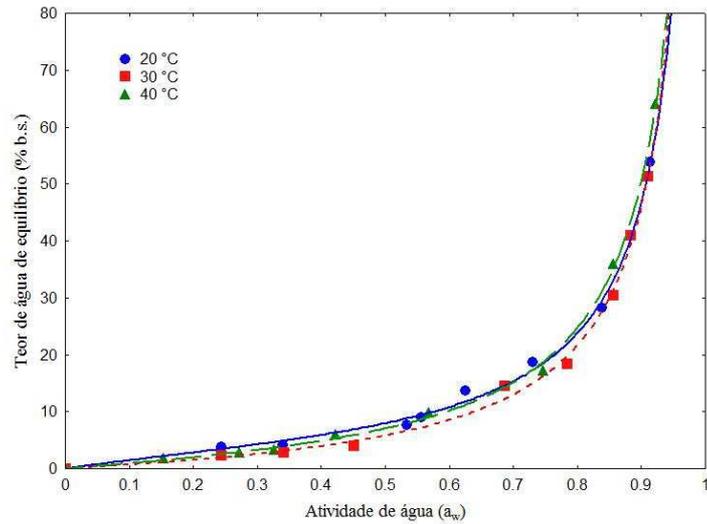
As isotermas de adsorção da polpa de pitaya em pó foram classificadas como tipo III, em todas as temperaturas (20, 30 e 40 °C), de acordo com BLAHOVEC (2004) em razão de apresentar  $0 < K \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$ . FEITOSA (2014) estudando o comportamento higroscópico da polpa de murta em pó na temperatura de 25 °C obteve curvas de comportamento do tipo II e III e verificou que o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando  $R^2$  superior a 0,999. De acordo com os valores obtidos do parâmetro C por MOSQUERA et al. (2012) para isotemas de adsorção de pó liofilizado de morango, com e sem maltodextrina e goma arábica, foram classificadas como tipo II. FERNANDES (2013) estudando o comportamento das isotermas de adsorção de água a 25 °C de manga em pó (secada por aspersão a 190 °C com 40% de maltodextrina) também relatou um comportamento de isotermas do tipo III, com C de 0,045 e K de 0,796. O comportamento de uma isoterma do tipo III é característico de amostras com altas concentrações de açúcares e solutos e apresenta baixa adsorção por capilaridade (CAMPOS et al., 2009).

Na Figura 4.1 estão apresentadas as isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da polpa de pitaya em pó selecionada com ajuste pelos modelos de GAB, Oswin e Peleg. Observam-se os teores de água de equilíbrio (% b.s.) em função dos seus respectivos valores da atividade de água ( $a_w$ ). Verifica-se que os valores do teor de água de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) aumentaram com o aumento da atividade de água em todas as temperaturas (20, 30 e 40 °C), o que era esperado, visto que ambientes com umidade relativa elevada proporcionam uma adsorção maior de água pelo material exposto, até atingir o equilíbrio. O mesmo aumento do teor de água de equilíbrio com o aumento da atividade de água foi encontrado por OLIVEIRA et al. (2011) para a polpa de sapoti liofilizada.

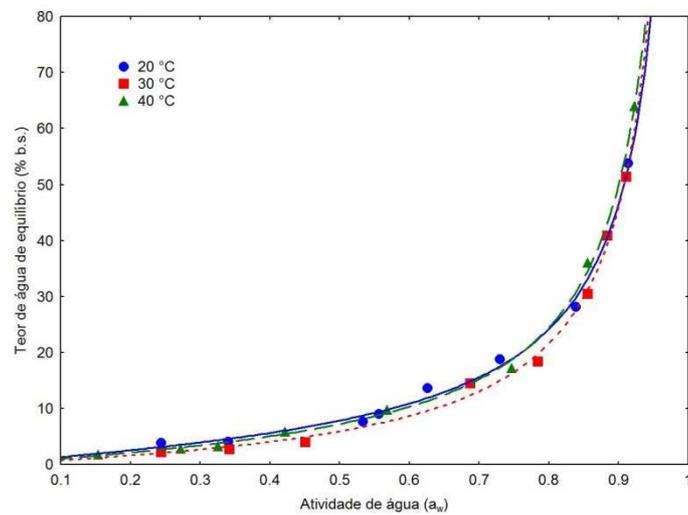
Os valores das atividades de água iniciais abaixo de 0,6 correspondem a níveis que permitem a estabilidade do produto durante o armazenamento por longos períodos assegurando proteção contra reações químicas, enzimáticas e microbiológicas. A atividade de água da pitaya em pó variou entre 0,154 a 0,923 para teores de água de equilíbrio entre 1,77 a 64,00% b.s. OLIVEIRA (2013) encontrou, estudando as isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C da polpa de morango atomizada a 180 °C com maltodextrina DE 5 e DE 10, valores de teores de água de equilíbrio variando de 29,2 a 32,8 g/100 g matéria seca. A atividade de água se correlaciona de forma suficientemente adequada a taxas de crescimento microbiano e a taxas de muitas reações de degradação, tornando-se

um indicativo da estabilidade e segurança microbiana de um produto (DAMODARAN et al., 2010).

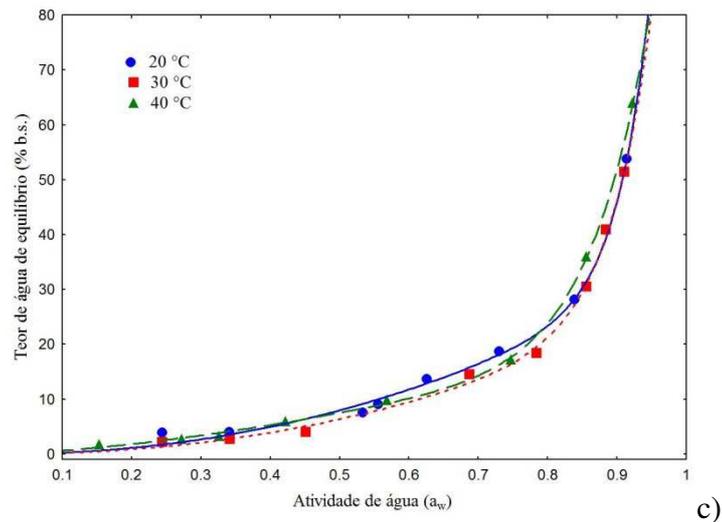
Observa-se que as isotermas de adsorção de água da polpa de pitaya em pó apresentaram curvas muito próximas entre as temperaturas, comportamento que também foi observado por MOREIRA et al. (2013) nas isotermas de adsorção de manga liofilizada nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C.



a)



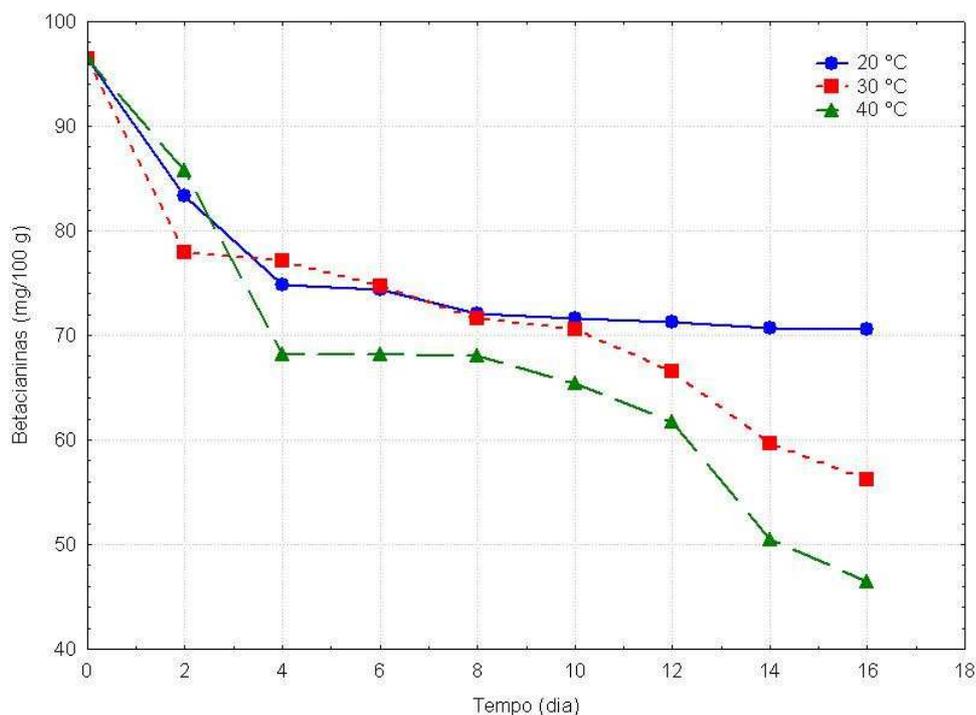
b)



**Figura 4.1** - Isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C da polpa de pitaya em pó selecionada com ajustes pelos modelos de: a) GAB; b) Oswin; e c) Peleg

#### 4.7 - Cinética de degradação de betacianinas da amostra em pó selecionada

Para o estudo da cinética de degradação de betacianinas (Figura 4.2) foi selecionada a polpa de pitaya em pó obtida na secagem a 150 °C e com 25% de maltodextrina. Inicialmente, a polpa de pitaya em pó apresentou um conteúdo de betacianinas de 96,41 mg/100 g; no final do tempo avaliado (16 dias) o conteúdo de betacianinas foi reduzido na temperatura de 20 °C para 70,77 mg/100 g; na temperatura de 30 °C para 52,21 mg/100 g; e na temperatura de 40 °C para 46,47 mg/100 g, indicando que com o aumento da temperatura ocorre maior degradação das betacianinas.



**Figura 4.2** - Cinética de degradação de betacianinas da polpa de pitaya em pó selecionada em diferentes temperaturas

A degradação de betacianinas ocorre devido à sensibilidade do ácido betalâmico a altas temperaturas e pode precipitar, tornando-se indisponível para a reação de regeneração. É equivalente ao produto ciclodopa-5-O-glicosídeo, podendo sofrer reações de oxidação e iniciar polimerização com outros compostos. Contudo, se a temperatura aumenta, particularmente na presença de oxigênio, ocorre uma degradação irreversível da betanina (SCHIOZER e BARATA, 2007).

Semelhantemente, SAÉNZ et al. (2009), também encontraram degradações do teor de betacianinas para polpa de figo-da-índia em pó atomizada, utilizando dois agentes carreadores: a maltodextrina e a inulina sob condições de temperatura de 60 °C por 44 dias. Diminuição no teor de betacianinas também foi relatada por RESHMI et al. (2012) para o estudo do efeito da temperatura na estabilidade de betacianinas em frutos de bertalha (*Basella alba*). HARIVAINDARAN et al. (2008) realizaram extrações de betacianinas em amostras de cascas de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) em três temperaturas diferentes (50, 80 e 100 °C), sob centrifugação, no tempo de 5 minutos, onde observaram que com o aumento da temperatura ocorreu aumento na extração de betacianinas. REBECCA et al.

(2008), encontraram uma tendência de estabilidade das betalaínas avaliando extratos de polpa de pitaya obtidas em temperatura de 40, 60, 80 e 100 °C por 10 minutos.

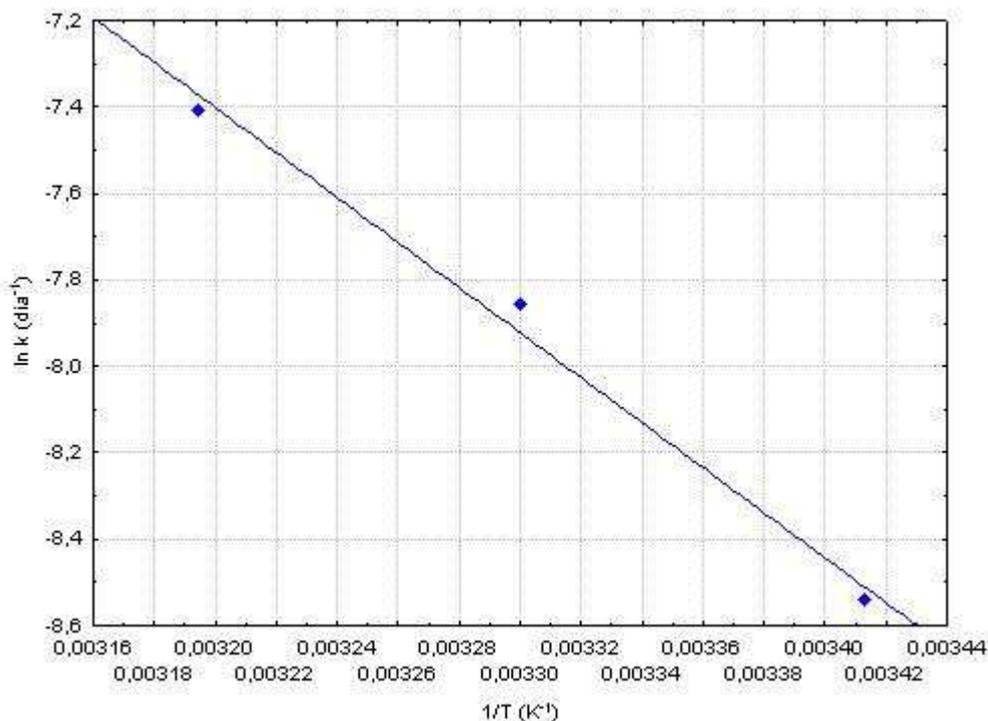
Na Tabela 4.17 tem-se os parâmetros dos modelos cinéticos de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem, usados para avaliar a degradação das betacianinas, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, da polpa de pitaya em pó selecionada. Verifica-se que o modelo que apresentou os melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foi o de segunda ordem, com  $R^2$  entre 0,7025 e 0,9603; observa-se que a constante de velocidade de reação ( $k$ ) aumentou com o aumento da temperatura. Este comportamento era previsto em razão de que a temperatura influencia na degradação das betacianinas.

O tempo de meia vida ( $\Theta_{(1/2)}$ ) foi determinado pela constante da velocidade de reação ( $k$ ) do modelo de segunda ordem. Observando-se os resultados com o aumento da temperatura ocorreu diminuição do tempo de meia-vida ( $\Theta_{(1/2)}$ ) para todos os modelos cinéticos testados, demonstrando que o conteúdo de betacianinas da polpa de pitaya em pó se degrada rapidamente em temperaturas mais elevadas. Os tempos de meia vida do modelo de segunda ordem variaram de 59,88 a 17,47 dias para as temperaturas de 20 a 40 °C: esses valores são muito inferiores ao encontrado por CAI e CORKE (2000) ao avaliarem a estabilidade de betacianinas em pó extraídas de amaranto, produzidas a partir da secagem por aspersão com uma mistura de maltodextrinas com DE 25 e DE 10 e armazenadas a 25 °C com umidade relativa de 32% que encontraram um tempo de meia vida de 63,6 semanas.

**Tabela 4.17** - Parâmetros cinéticos de degradação de betacianinas em três diferentes temperaturas da polpa de pitaya em pó selecionada

<b>Ordem zero</b>			
	<b>20 °C</b>	<b>30 °C</b>	<b>40 °C</b>
<b>A<sub>0</sub> (mg/100 g)</b>	86,1998	88,3720	89,2458
<b>k (1/dia)</b>	1,2585	2,0073	2,6768
<b>R<sup>2</sup></b>	0,6455	0,8817	0,8873
<b>Θ<sub>(1/2)</sub> (dia)</b>	34,25	22,01	16,67
<b>Primeira Ordem</b>			
	<b>20 °C</b>	<b>30 °C</b>	<b>40 °C</b>
<b>A<sub>0</sub> (mg/100 g)</b>	85,8299	89,1633	90,9764
<b>k(1/dia)</b>	0,0156	0,0276	0,0396
<b>R<sup>2</sup></b>	0,6743	0,9122	0,9071
<b>Θ<sub>(1/2)</sub> (dia)</b>	44,35	25,12	17,51
<b>Segunda Ordem</b>			
	<b>20 °C</b>	<b>30 °C</b>	<b>40 °C</b>
<b>A<sub>0</sub> (mg/100 g)</b>	85,4701	90,4977	94,4555
<b>k(1/dia)</b>	0,000195	0,000386	0,000606
<b>R<sup>2</sup></b>	0,7025	0,9603	0,9468
<b>Θ<sub>(1/2)</sub> (dia)</b>	59,88	28,63	17,47

Para avaliar o efeito da temperatura sobre a constante da velocidade de reação (k) do modelo de segunda ordem, da cinética de degradação de betacianinas da polpa de pitaya em pó, foi aplicada uma equação do tipo Arrhenius representada graficamente na Figura 4.3. Observa-se que  $\ln k$  diminui com o inverso da temperatura.



**Figura 4.3** - Representação gráfica da equação do tipo Arrhenius para a constante da velocidade de reação (k) do modelo de segunda ordem em função do inverso da temperatura

Na Tabela 4.18 tem-se os parâmetros da equação de Arrhenius, o coeficiente de determinação e o fator ( $Q_{10}$ ) da cinética de degradação de betacianinas da polpa de pitaya em pó selecionada. A energia de ativação é a energia necessária para que a reação ocorra e a partir da Figura 4.4 obteve-se o valor de  $E_a$  de 43,31 kJ/mol com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9903.

Observa-se, nesta tabela, que o valor de  $Q_{10}$  foi de 1,98 e 1,57, para variação de 20-30 °C e 30-40 °C, respectivamente. O maior valor de  $Q_{10}$  se encontra na faixa de temperatura de 20-30 °C, indicando a menor perda de betacianinas.

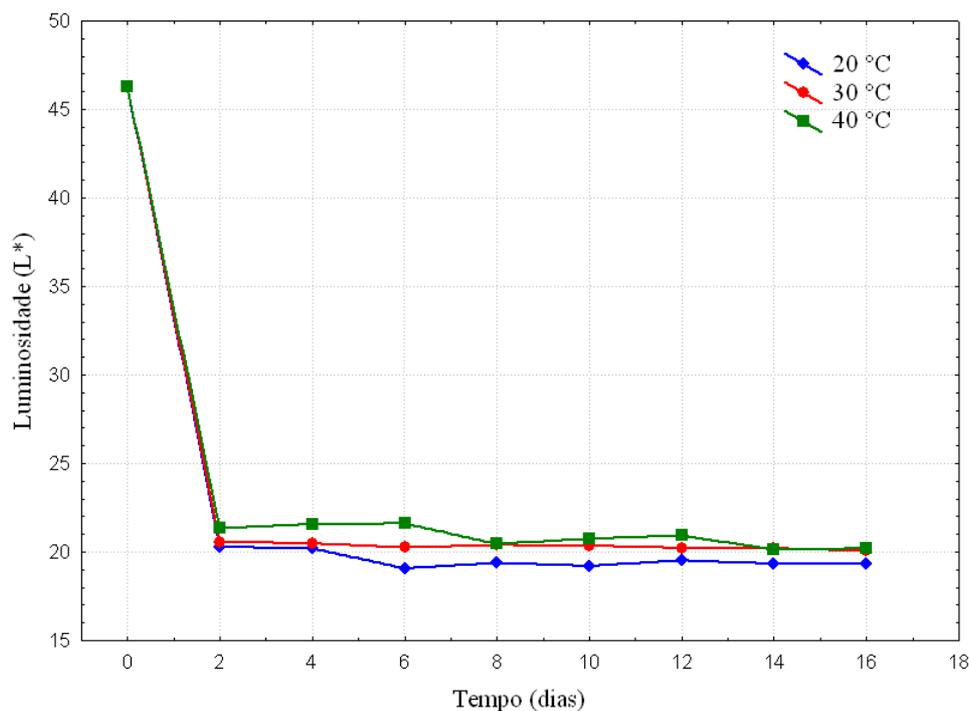
**Tabela 4.18**- Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficiente de reação ( $Q_{10}$ ) para a degradação de betacianinas da polpa de pitaya em pó

Intervalo (°C)	Parâmetros da eq. de Arrhenius			Coeficiente de temperatura ( $Q_{10}$ )	
	A (1/dia)	$E_A$ (kJ/mol)	$R^2$	(20-30 °C)	(30-40 °C)
<b>20-40</b>	10588,25	43,31	0,9903	1,98	1,57

#### 4.8 - Cinética de degradação da luminosidade da amostra em pó selecionada

Na Figura 4.4 se encontra a variação da luminosidade da polpa de pitaya em pó selecionada em função do tempo, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Nota-se que o parâmetro da luminosidade apresentou maiores valores na maior temperatura entre o segundo e o décimo sexto dia, indicando que temperaturas mais altas proporcionaram amostras mais claras. A redução desse parâmetro é justificada pela degradação das betacianinas, ou seja, diminuição do pigmento natural de coloração vermelha. A diminuição das betacianinas pode ser provocada pela temperatura, oxigênio, presença de luz, atividade de água e variação de pH (DAMODARAN et al., 2010). Ressalta-se que nem todos os pigmentos são igualmente afetados pela temperatura, como demonstrado em PUA et al. (2008) que estudando o efeito da temperatura (28 e 38 °C) em polpa de jaca em pó durante o período de 12 semanas, constataram uma redução deste parâmetro com o aumento da temperatura.

Observa-se, na Figura 4.4 da cinética de degradação da luminosidade ( $L^*$ ) que o intervalo do tempo zero ao tempo de 2 dias apresentou um escurecimento expressivo, fato que pode ser associado à adsorção de água contida na amostra de polpa de pitaya em pó, após ficar 24 horas em condições de umidade relativa de 83%; no tempo zero expressava um teor de água equivalente a 2,4% com uma  $a_w$  igual a 0,2. Pode-se constatar que as luminosidades entre os tempos de 2 e 4 dias praticamente permaneceram estáveis em todas as temperaturas. Observa-se que em todas as temperaturas a partir do oitavo dia até o décimo sexto dia as luminosidades mantiveram-se praticamente inalteradas. A baixa luminosidade das amostras é inversamente proporcional ao conteúdo de betacianinas. A luminosidade nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C resultou em um valor médio de 20,23 do segundo dia ao final.



**Figura 4.4** - Cinética de degradação da luminosidade ( $L^*$ ) da polpa de pitaya em pó selecionada em diferentes temperaturas

Na Tabela 4.19 tem-se os parâmetros dos modelos cinéticos de degradação da luminosidade, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, para a polpa de pitaya em pó. Constatase que os maiores resultados obtidos para os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram para o modelo cinético de segunda ordem, mas resultaram em baixos valores.

Os resultados para os tempos de meia-vida ( $\Theta_{(1/2)}$ ) foram obtidos através dos cálculos da constante de velocidade ( $k$ ) da reação de ordem zero e segunda ordem. Analisando os valores nota-se que a reação de ordem zero e segunda ordem revelou aumento do tempo de meia vida para a temperatura de 30 °C, indicando maior estabilidade da luminosidade da polpa de pitaya em pó nessa temperatura. Verifica-se que os menores valores da constante cinética estão representados pela reação de segunda ordem, variando de 0,00097 a 0,00109. Menores valores, de  $3,42 \times 10^{-5}$  para as constantes cinéticas de primeira ordem, foram encontrados por ÁVILA e SILVA (1999) para a redução da luminosidade em purê de pêssego durante o processamento térmico a 75 °C.

**Tabela 4.19** - Parâmetros cinéticos de degradação da luminosidade em três diferentes temperaturas da polpa de pitaya em pó

Temperatura (°C)	Ordem zero				Segunda ordem			
	A <sub>0</sub>	k (dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Θ <sup>(1/2)</sup> (dia)	A <sub>0</sub>	k (dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Θ <sup>(1/2)</sup> (dia)
20	29,97	0,9331	0,3277	16,06	25,51	0,00109	0,3628	35,89
30	30,29	0,8870	0,3148	17,08	26,05	0,00097	0,3339	39,49
40	31,03	0,9178	0,3505	16,91	27,24	0,00104	0,4125	35,26

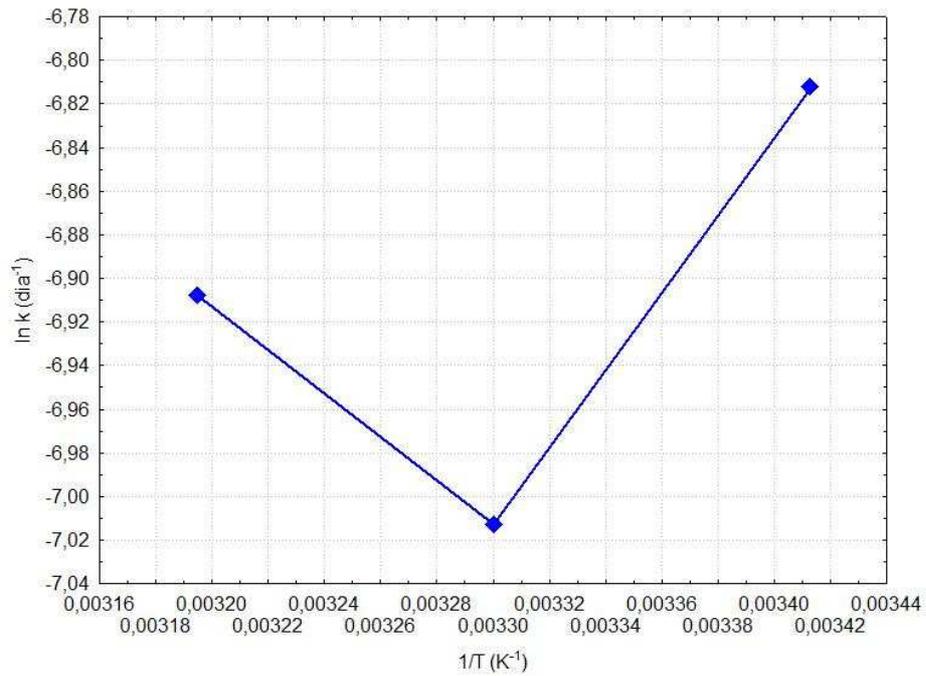
Na Tabela 4.20 constam os parâmetros da equação de Arrhenius e o coeficiente de reação (Q<sub>10</sub>) para a luminosidade da polpa de pitaya em pó.

Nota-se que o valor de Q<sub>10</sub> foi de 0,89 e 1,07 para variação de 20-30 °C e 30-40 °C, respectivamente. O maior valor de Q<sub>10</sub> se mantém na faixa de temperatura de 30-40 °C, indicando que a amostra tem maior luminosidade, ou seja, apresenta-se mais clara.

**Tabela 4.20** - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficiente de reação (Q<sub>10</sub>) para a degradação da luminosidade da polpa de pitaya em pó

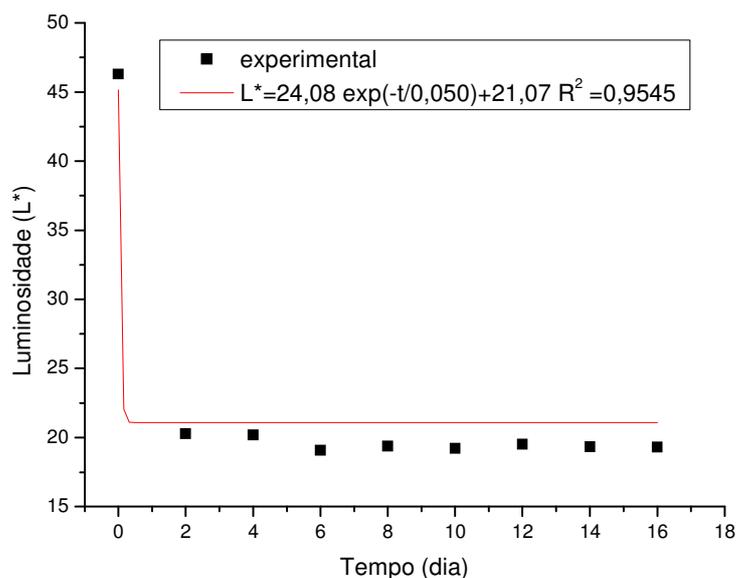
Intervalo (°C)	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de temperatura (Q <sub>10</sub> )	
	A	E <sub>A</sub> (kJ/mol)	R <sup>2</sup>	(20-30 °C)	(30-40 °C)
20-40	0,000486	1,90	0,1815	0,89	1,07

Na Figura 4.5 está a representação gráfica da constante cinética de ordem zero e de segunda ordem, em função da temperatura e da cinética de degradação da luminosidade da polpa de pitaya em pó. Na inclinação da reta (E<sub>a</sub>/R) obteve-se a energia de ativação de 3,67 kJ/mol para a polpa de pitaya em pó, com coeficiente de determinação R<sup>2</sup> de 0,766.



**Figura 4.5** - Representação gráfica da equação de Arrhenius para a constante cinética de segunda ordem para a degradação da luminosidade ( $L^*$ ) da polpa de pitaya em pó selecionada

Como as cinéticas de ordem zero e primeira ordem não resultaram em altos valores de  $R^2$ , fez-se o ajuste dos dados da luminosidade por uma equação exponencial de decaimento resultando em um bom ajuste da equação aos dados experimentais ( $R^2 = 0,9545$ ); desta forma, pode-se estimar os dados da luminosidade por meio desta equação.

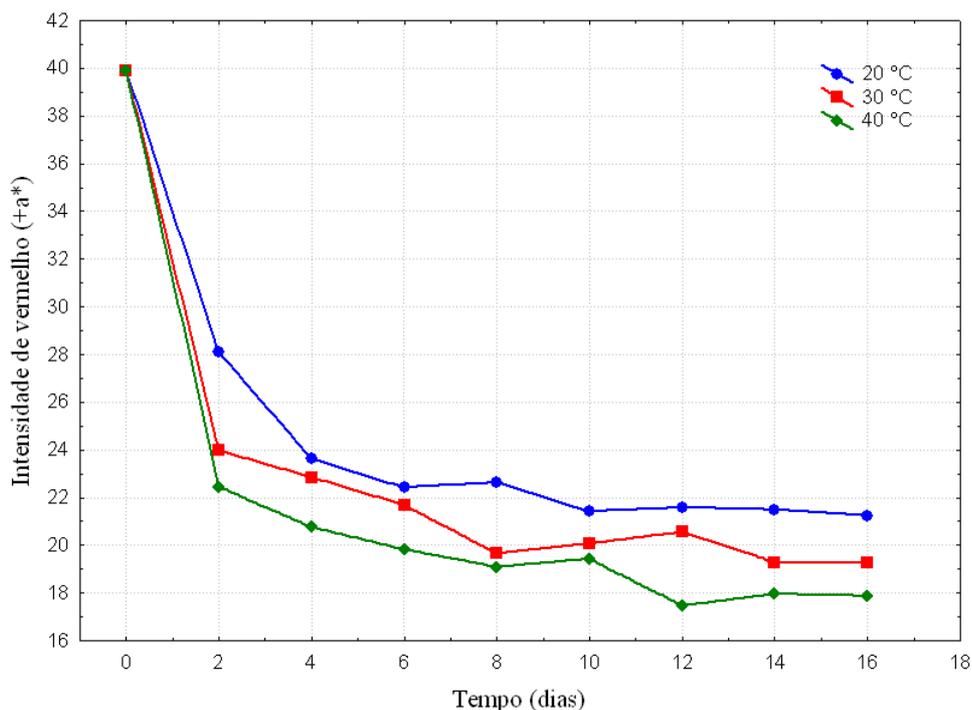


**Figura 4.6** - Valores médios da luminosidade ( $L^*$ ) de polpa de pitaya em pó em função do tempo em diferentes temperaturas, com ajuste pela equação exponencial de decaimento

#### 4.9 - Cinética de degradação da intensidade de vermelho ( $+a^*$ ) da amostra em pó selecionada

Na Figura 4.7 encontra-se a degradação da intensidade de vermelho da polpa de pitaya em pó selecionada nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Observa-se que a intensidade de vermelho se reduz com o aumento da temperatura e com o tempo. MELO et al. (2015) também identificaram o comportamento em extrato de casca de pitaya vermelha. A possível explicação é que, com o aquecimento, a cor vermelha característica das betalaínas é degradada a diferentes tons de amarelo, característicos de betaxantinas e ácido betalâmico.

A degradação de betalaínas é geralmente acompanhada por uma mudança acentuada na cor, resultante da formação de produtos de degradação do ácido betalâmico (HERBACH et al., 2006).



**Figura 4.7** - Cinética de degradação da intensidade de vermelho (+a\*) de polpa de pitaya em pó selecionada em diferentes temperaturas

O tempo de meia vida, apresentado na Tabela 4.21, foi calculado a partir da constante de velocidade (k) da reação de ordem zero e de segunda ordem. Observa-se que, com o aumento da temperatura ocorreu diminuição do tempo de meia-vida demonstrando que a intensidade de vermelho (+a\*) da polpa de pitaya em pó selecionada se degrada com a elevação da temperatura.

LOPES et al. (2005) obtiveram, estudando a cinética de degradação da intensidade de vermelho (+a\*) para polpa de pitanga, maiores valores nos parâmetros cinéticos em relação à polpa de pitaya, que para a ordem zero, a constante de velocidade (k) foi igual a  $0,197 \text{ dia}^{-1}$  e o tempo de meia-vida ( $t_{(1/2)}$ ) de 251,68 dias.

**Tabela 4.21** - Parâmetros cinéticos de degradação da intensidade de vermelho (+a\*) em três diferentes temperaturas da polpa de pitaya em pó selecionada

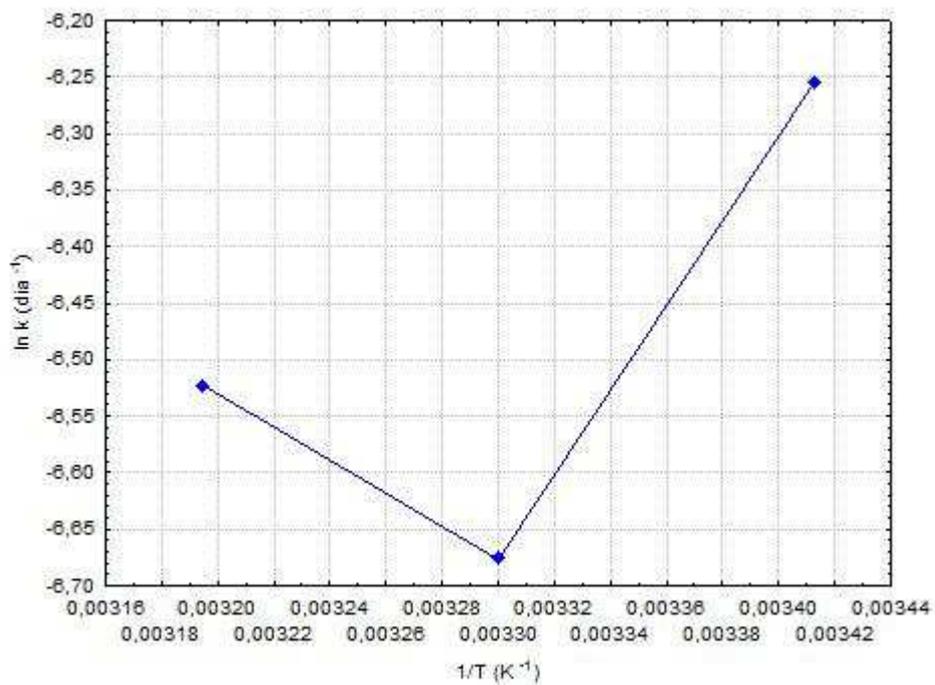
Temperatura (°C)	Ordem zero				Segunda ordem			
	A <sub>0</sub>	k (dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Θ <sub>(1/2)</sub> (dia)	A <sub>0</sub>	k (dia <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Θ <sub>(1/2)</sub> (dia)
20	31,36	0,8300	0,5579	18,89	30,02	0,00109	0,6703	30,50
30	29,97	0,8566	0,5217	17,49	28,38	0,00126	0,6832	27,96
40	28,88	0,953	0,4976	15,95	26,85	0,00147	0,6681	25,37

Na Tabela 4.22 tem-se os resultados dos parâmetros da equação de Arrhenius cujo os valores de Q<sub>10</sub> mostraram-se próximos porém maior na faixa de temperatura de 30-40 °C. A energia de ativação resultou em um valor de 10,47 kJ/mol.

**Tabela 4.22** - Parâmetros da equação de Arrhenius e coeficiente de reação (Q<sub>10</sub>) para a degradação da intensidade de vermelho (+a\*) da polpa de pitaya em pó

Intervalo (°C)	Parâmetros de Arrhenius			Coeficiente de reação(Q <sub>10</sub> )	
	A	E <sub>A</sub> (kJ/mol)	R <sup>2</sup>	(20-30 °C)	(30-40 °C)
20-40	0,000024	10,47	0,4149	1,15	1,17

Na Figura 4.8. se encontra a representação gráfica da cinética de degradação da intensidade de vermelho pela equação de Arrhenius, por meio da constante cinética de segunda ordem da polpa de pitaya em pó. Através da inclinação da reta obteve-se a energia de ativação de 10,47 kJ/mol com um coeficiente de determinação R<sup>2</sup> de 0,4149. NARKPRASOM et al. (2012) analisaram a perda de cor em pigmentos de betacianinas extraídos da planta djulis (*Chenopodium formosanum*Koidz.) durante o processo térmico (20-50 °C) e encontraram uma E<sub>a</sub> da ordem de 81,04 kJ/mol.



**Figura 4.8** - Representação gráfica pela equação de Arrhenius da constante cinética de segunda ordem para a degradação da intensidade de vermelho (+a\*) da polpa de pitaya em pó selecionada

## 5 - CONCLUSÕES

- A polpa de pitaya integral apresentou teor de água elevado (87,4%), alta atividade de água (0,988) e pH baixo (pH = 4,37) classificando-a como alimento perecível, ácido e com susceptibilidade ao crescimento microbiano;

- A polpa de pitaya integral apresentou valor considerável de betacianinas 23,12 mg/100 g e com predominância da intensidade de vermelho, característico da própria cor da polpa de pitaya;

- O acréscimo de maltodextrina nas formulações não influenciou nos parâmetros de atividade de água, pH e betacianinas, mas houve diminuição no teor de água e nos parâmetros de cor entre duas formulações.

- As características físico-químicas, químicas e físicas do pó, foram melhor preservadas na temperatura de secagem de 150 °C com adição de 25% de maltodextrina;

- Ocorreu um aumento no teor de água e na atividade de água durante o armazenamento da amostra em pó selecionada e tendência à estabilidade para acidez total titulável, pH, luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de azul;

- A classificação das isotermas de adsorção de água da polpa de pitaya em pó selecionada foi do tipo III e dentre os modelos avaliados os que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram o de GAB e de Oswin;

- Com o aumento da temperatura houve maior aumento na degradação das betacianinas e da intensidade de vermelhada polpa de pitaya em pó selecionada e comportamento inverso para a luminosidade;

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83-91, 2014.

ALMEIDA, F. A. C.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. **Tecnologia de armazenagem de sementes**. 1. ed. Campina Grande: 2006. 402p.

ALMEIDA, M. M. de.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M., VALENÇA, A. R. Caracterização física-química de frutos do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 15-20, 2009.

ALVARADO, M. R. M.; CRUZ, M. A. G.; RINDERMANN, R. S. Pitahaya de México: producción y comercialización en el contexto internacional. In: VALEZ, C. A. F. **Pitayas y pitahayas**. Chapingo: Universidade Autónoma Chapingo, México, 2003. p. 97-121.

ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596p.

ÁVILA, I. M. L. B.; SILVA, C. L.M. Modeling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 2, p. 161-166, 1999.

AZEREDO, H. M. C.; PEREIRA, A. C.; SOUZA, A. C. R.; GOUVEIA, S. T.; MENDES, K. C. B. Study on efficiency of betacyanin extraction from red beetroots. **Internacional Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 12, p. 2464-2469, 2009.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2. ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195 p.

AZEREDO, H. M. C.; SANTOS, A. N.; SOUZA, A. C. R.; MENDES, K. C. B.; ANDRADE, M. I. R. Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. **American Journal of food Technology**, v. 2, n. 4, p. 307-312, 2007.

BAHIA, E. V. A.; MORAIS, L. R. V.; SILVA, M. P.; LIMA, O. B. V.; SANTOS, S. F. Estudo das características físico-químicas do fruto do Mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.) cultivado no sertão Pernambucano. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 2010, Maceió. **Anais...** Maceió: 2010. CD Rom.

BAKAR, J. E. S. C.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. M.; ADZHAN. N. Spray-Drying Optimization for Red Pitaya Peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food Bioprocess Technology**, v. 6, n. 5 p. 1332–1342, 2013.

BARRETO, I. M. A. **Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma**. 2011. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. 3.ed. São Paulo: Atheneu, 1998. 316p.

BASTOS, D. C.; PIO, R.; SCARPARE FILHO, J. A.; LIBARDI, M. N.; ALMEIDA, L. F. P.; GALUCHI, T. P. D.; BAKKER, S. T. Propagação da pitaya vermelha por estaquia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1106-1109, 2006.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Desidratação da polpa de manga “Tommy Atkins” utilizando a técnica de foam mat drying: Avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 4 p. 283-290, 2005.

BEJAR, A. K.; MIHOUBI, N. B. KECHAU, N. Moisture sorption isothermas: experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1728-1735, 2012.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.

BREDA, C. A.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CORREIA, C. A. C. Shelf life of powdered campomanesia adamantium pulp in controlled environments. **Food Chemistry**, v. 135, n. 4, p. 2960-2964, 2012.

BRUNINI, M. A.; CARDOSO S. S. Qualidade de pitaias de polpa branca armazenadas em diferentes temperaturas. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 78-84, 2011.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CAI, Y. Z.; SUN, M.; CORKE, H. Characterization and application of betalain pigments from plants of the *Amaranthaceae*. **Trends Food Science Technology**, v. 9, n. 16, p. 370-376, 2005.

CAMPOS, A. R. N. I.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. S. C.; OLIVEIRA, M. M. Isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 734-740, 2009.

CANTO, A. R.; ALBARADO, J. C. G.; SANTAROSA, M. G. G.; RAMOS, C. J.; GARCÍA, M. C. M.; HERNÁNDEZ, L. J. P.; LAZO, V. R.; MEDINA, L. R.;

RODRÍGUEZ, R. R.; TORRES, E. T.; GARCÍA, S. V.; ESPERANZA ZÁRATE ELOÍSA. **El cultivo de pitahaya em Yucatan**. Universidad Autonoma Chapingo:Yucatán, 1993. 53 p.

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

CAO, X. Q.; VASSEN, R.; SCHWARTZ, S.; JUNGEN, W.; TIETZ, F.; STÖEVER, D. Spray-drying of ceramics for plasma-spray coating. **Journal European Ceramic Society**, v. 20, n. 14-15, p. 2433-2439, 2000.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2003. 207 p.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. 392 p.

CHANG, F.R.; YEN, C. R. Flowering and fruit growth of pitaya (*Hylocereus undatus* Britt. e Rose). **Journal of Chinese Society for Horticultural Science**, v. 43, n. 4, p. 314-321, 1997.

CHÁVEZ, R. M. **Relaciones entre genótipo, productividad y calidad de fruto em pitahaya (*Helecereus ssp.*)**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Colegio de potg graduado- Institución de Enseñanza e investigación em Ciências Agrícolas, Montecillo, México, 2011.

CHITARRA, A. B; CHITARRA, M. I. F. **Técnicas modernas em pós-colheita de frutas tropicais**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2006. 171 p.

COSTA, J. N.; FIGUEIRÊDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; GONZAGA, M. L. C.; CONSTANT, P. B. L.; SOARES, D. J. Study of the stability of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) powder from organic farming. **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p.705-716, 2013.

COSTA, J. N. **Estudo da estabilidade de maracujá (*Passiflora edulis* Simis f. *flavicarpa* Degener) em pó, proveniente de cultivo orgânico**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CRUZ, L. G.; MORENO, Y. S.; GUADARRAMA, S. V. Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). **Revista Fitotécnica Mexicana**, v. 35, n. 5, p. 1-5, 2012.

DAIÚTO, E. R.; CEREDA, M. P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3. cap. 16, p. 449-474.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DONADIO, L. C. Pitaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 637-928, 2009.

ENDO, E.; BORGES, S. V.; DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 382-386, 2007.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F.; CARLE, R. Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 81, n. 1, p. 7-14, 2007b.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F.; CARLE, R. Phenolic compound profiles and their corresponding antioxidant capacity of purple pitaya (*Hylocereus* sp.) genotypes. **Zeitschrift fur Naturforsch**, v. 62, n. 9, p. 636-644, 2007a.

FEITOSA, M. R. **Secagem por aspersão e em camada de espuma da polpa de murta**. 2014. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNANDES, T. K. S. **Secagem por aspersão da polpa de manga cv. Keitt**. 2013. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FERREIRA, A. P. R.; SOUSA, M. S. M. L.; LIMA N. D.; SOUSA, S. L.; SANTOS, S. M. L.; COSTA J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Estudo comparativo das características físicas e físico-químicas de pós de pitaya roxa (*hylocereus polyrhizus*) obtidos por secagem em leito de jorro e *spray-dryer*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 19. 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2014. CD Rom.

GALDINO, P. O. **Secagem em camada de espuma da polpa de atemoia e armazenamento do pó**. 2015. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GALDINO, P. O. **Secagem por aspersão da polpa do figo-da-índia**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008. 511p.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray drying in microencapsulation of food ingredients: Na overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.

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

GOMES, P. O. **Secagem por aspersão da polpa de buriti**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GONÇALVES, L. C. P.; TRASSI, M. A. D.; LOPES, N. B.; DÖRR, F. A.; SANTOS, M. T.; BAADER, W. J.; OLIVEIRA, V. X.; BASTOS, E. L. A comparative study of the purification of betanin. **Food Chemistry**, v. 131, n. 1, p. 231-238, 2012.

GOULA, A. M.; ADAMAPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. **Drying Technology**, v. 26, p. 726-737, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMAPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 35-42, 2005b.

GOULA, A. M.; ADAMAPOULOS, K. G. Stability of lycopense during spray drying of tomato pulp. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 38, n. 5, p. 479-481, 2005a.

HAMERSKI, L.; REZENDE, M. J. C.; SILVA, B. V. Usando as cores da natureza para atender aos desejos do consumidor: Substâncias naturais como corantes na indústria alimentícia. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 3, p. 394-420, 2013.

HARIVAINDARAN, K.; REBECCA, V.; O. P. S. Study of optimal temperature, pH and stability of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel for use as potential natural colorant. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 11, n. 18, p. 2259-2263, 2008.

HENRIETTE, H. H.C. **Fundamentos da estabilidade de alimentos**. Embrapa / Banco do Brasil, 2004, cap. 4.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation-structural and chromatic aspects. **Journal of food science**, v. 71, n. 4, p. 41-50, 2006.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. ed. digital. São Paulo, 2008. 1020 p.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed., 2005. 711 p.

JUÁREZ, S.; RAMÍREZ MIRELES, F. J.; CRUZ HERNÁNDEZ, T. Caracterización de dos clones de pitahaya roja (*hylocereus purpusii*) de jalisco, México. **Revista Chapingo Serie Zonas Aridas**, v. 8, n. 2, p. 115-122, 2009.

JUNQUEIRA, K. P.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BELLON, G.; LIMA, C. A.; SOUZA, L. S. Diversidade genética de pitayas nativas do cerrado com base em marcadores RAPD. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 819-824, 2010.

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

LABMAQ DO BRASIL LTDA. **Manual de Operações do Mini-Spray Dryer MSD 0.5**. Departamento de Engenharia. (engenharia@labmaqdobrasil.com.br). 2003.

LANGRISH, T. A. G.; FLETCHER, D. F. Spray drying of food ingredients and applications of CFD in spray drying. **Chemical Engineering and Processing**, v. 40, n. 4, p. 345-354, 2001.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de *achocolatado* de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 115-123, 2003.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, n. 4, p. 237-250, 2006.

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. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 8, n. 11, p. 2013.

LIAOTRAKOON, W.; DE CLERCQ, N.; VAN HOED, V.; DE WALLE, D. V.; Lewille, B.; DEWETTINCK, K. Impact of thermal treatment on physicochemical, antioxidative and rheological properties of white-flesh and red-flesh dragon fruit (*Hylocereus* spp.) purees. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 416-430, 2013a.

LIAOTRAKOON, W.; DE CLERCQ, N.; VAN HOED, V.; DEWETTINCK, K. Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) seed oils: their characterization and stability under storage conditions. **Journal American Oil Chemecias Society**, v. 90, n. 2, p. 207–215, 2013b.

LIM, S. D.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; TALIB, R. A.; ENDAN, J.; AZIZ, M. G. Effect of extraction parameters on the yield of betacyanins from pitaya fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) pulps. **Journal Food Agriculture and Environment**, v. 9, n.2, p. 158-162, 2011.

LISBÔA, C. G. C. **Armazenamento de figo-da-índia em pó sob atmosfera controlada.** 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIRÊDO R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216–221, 2012.

LOPES, A. S.; MATTIETTO, R. A.; MENEZES, H. C. Estabilidade da polpa de pitanga congelada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 553–559, 2005.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: efeito das embalagens nas características química e físicas. **Journal Bioscience**, v. 29, n. 5, p. 1092-1100, 2013.

LUDERS, L.; McMAHON, G. The pitaya or dragon fruit (*Hylocereus undatus*). Australia: Department of Primary Industry, Fisheries and Mines. **Northern Territory Government**, v. 238/10, n. 778, 2006. 4p.

MARTIN, L. G. P. **Estudo da secagem da polpa de cupuaçu por atomização.** 2013. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola Estadual de Campinas, Campinas.

MASTERS, K. **Spray drying.** 6 ed. England: Longman Scientific e Technical and John Wiley e Sons Inc. New York, 2002. 725 p.

MATTOS, A. V.; MORENO, D. C.; ALVAREZ, M. J. M.; BELÉM, D. R. C. Estabilidad de betalainas en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii* Br. et R.) sometidas a un proceso de liofilización. **Revista Facultad Agronomia**, v. 19, n. 4, p. 324-331, 2002.

MEDINA, E. M. D.; RODRIGUEZ, E. M. R.; ROMERO, C. D. Chemical characterization of *Opuntia Dillenii* and *Opuntia ficus-indica* fruits. **Food Chemistry**, v. 103, n. 1, p. 38-45, 2007.

MELLO, F. R.; BERNARDO, C.; DIAS, C. O.; GONZAGA, L.; AMANTE, E. R.; FETT, R.; Lys.; CANDIDO, M. B. Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 323-328, 2015.

MELO, J. C. S. **Produção e armazenamento de formulações de leite de cabra e polpa de umbu-cajá**. 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

MELO, K. S. **Secagem de polpa do fruto do mandacaru**. 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MELO, K. S. **Secagem por aspersão da polpa de atemoia**. 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

MENEZES, A. R. V.; SILVA JÚNIOR, A.; CRUZ, H. L. L.; ARAUJO, D. R.; SAMPAIO, D. D. Estudo comparativo do pó da acerola verde (*Malphigia emarginata* D.C.) obtido em estufa por circulação de ar e por liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2009.

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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-1098, 2013.

MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; ARAÚJO, N. A.; MARQUES, V. B. Produção e qualidade de frutos de pitaiá- vermelha com adubação orgânica e granulado bioclástico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. esp., p. 762-766, 2011.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 201-206, 2012.

MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M. **Reações de transformação e vida de prateleira de alimentos processados**. Campinas: ITAL, 2004. 92 p. (Manual Técnico, n.6)

NARKPRASOM, K.; WANG, S.; HSIAO, S.; TSAI, P. Kinetics of color loss of djalulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) extracts during storage in different concentrations of alcohol and temperature. **APCBEE Procedia**, v. 2, n. 7-8, p. 32-36, 2012.

NERD, A.; GUTMAN, F.; MIZRAHI, Y. Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). **Postharvest Biology and Technology**, v. 17, n. 1, p. 39-45, 1999.

NUNES, J. T.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SANTIAGO, V. M. S.; GOMES, J. P. Caracterização química e colorimétrica da polpa de mandacaru. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 28, n. 2, p. 102-106, 2013.

OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 471-479, 2009.

OETTERER, M.; REGITANO D'ARCE, M. A.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2006. 612 p.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITOS, J. G.; Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 147-153, 2015.

OLIVEIRA, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; MASCARENHAS, R.J. Caracterização físico-química e nutricional do fruto da palma (*Opuntia ficus indica* L. mill) cultivada no sertão do sub-médio São Francisco. **Holos**, v. 3, n. 27, p. 113-119, 2011.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, L. A.; ABREU, W. C.; OLIVEIRA C. L.; PINTO, K. M.; CARVALHO G. B. M.; BARCELOS, M. F. P. Composição química da pitaia vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*). In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 6., 2010, Minas Gerais. **Anais...** Minas Gerais, 2010.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.

OLIVEIRA, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; ALMEIDA, C. A. Caracterização físico-química das polpas dos ramos do mandacaru. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 89-92, 2007.

ORDÓNEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de alimentos, componentes dos alimentos e processos**. 1.ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1. 294 p.

PAGLARINI, C. S.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PORTO, D. P.; SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3 p. 299-305, 2013.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...**, 2006. 1 CD.

PATIL, V.; CHAUHAN, A, K.; SINGH, S. P. Influence of spray drying technology on the physical and nutritional properties of guava powder. **Internacional Journal Current Microbiology Applied Sciences**, v. 3, n. 9, p. 1224-1237, 2014.

PUA, C.K.; N.; HAMID, S.; TAN, C.P; MIRHOSSEINI, H.; ABD, R.; RUSUL, G. Storage stability of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder packaged in aluminium laminated polyethylene and metallized co-extruded biaxially oriented polypropylene during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 4, p. 419-428, 2008.

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

REBECCA, O. P. S.; ZULIANA, R.; BOYCE, A. N.; CHANDRAN, S. Determining pigment extraction efficiency and pigment stability of dragon fruit. **Journal of Biological Sciences**, v. 8, n. 7, p. 1174-1180, 2008.

RESHMI, S. K.; ARAVINDHAN, K. M.; DEVI, S. P. the effect of light, temperature, pH on stability of betacyanin pigments in *Basella alba* fruit. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 5, n. 4, p. 107-110, 2012.

ROCHA, É. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 62, p. 646-651, 2014.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622, 2009.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, n. 1, p. 37-43, 2015.

SANTOS, A. A. C.; FLORÊNCIO, A. K. G. D.; ROCHA, É. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba empó obtida por *spray-dryer*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 508-514, jul-set, 2014.

SANTOS, C. M. G.; CERQUEIRA, R. C.; FERNANDES, L. M. S.; DOURADO, F. W. N.; ONO, E. O. Substratos e regulador vegetal no enraizamento de estacas de pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 625-629, 2010.

SANTOS, J. S.; FRANCO, Z. M. E.; PELAYO, Z. C.; ARMELLA, V. M. A.; YÁÑEZ, L., M. L.; GUERRERO, L. I.A. Partial characterization of the red pigment from the Mexican fruit cactus “Jiotilla” (*escontria chiotilla* W. Britton & Rose). **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 6, n. 1, p. 19-25, 2007.

SCHIOZER, A. L.; BARATA L. E. S. Estabilidade de corante e pigmentos de origem vegetal. **Fitos**, v. 3, n. 3, p. 6-24, 2007.

SCHUBERT, H. Food particle technogy. Part I: properties of particles and particles food sytems. **Journal of food engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-30, 1993.

SCHUCK, P. Understanding the factors affecting spraydried dairy powder properties and behavior In: CORREDIG Dairy-derived ingredients, 1. 2009. Boca Raton: CRC.

SCHUCK, P.; DOLIVET, A.; JEANTET, R. **Analytical methods for food and dairy powders**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012. 248 p.

SCHUCK, P.; JEANTET, R.; CARVALHO, A. F. **Lactose crystallization and drying of whey**.Viçosa: UFV, 2010.

SILVA, L. R., ALVES, R. E. Caracterização físico-química de frutos de “mandacaru”. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 199-205, 2009.

SILVA JÚNIOR, M. E.; MORAIS, B. D. M.; MACIEL, M. I. S. Secagem por atomização de polpa de ciriguela (*Spondias purpúrea* L.): influência das variáveis de processo e sua qualidade. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX, 8., 2013, Recife. **Anais...** Recife, 2013.

SILVA, A. C. C. **Produção e qualidade de frutos de pitaya (*Hylocereus undatus*)**. 2011. (Mestrado em Ciências Agrárias e Veterinárias) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2011.

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

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. Caracterização físico-química de frutos de “mandacaru”. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 199-205, 2009.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1179-1184, 2005.

SIM, H. L.; HONG, Y.; YOON, W. B.; YUK, H. Behavior of salmonella spp. and natural microbiota on fresh-cut dragon fruits at different storage temperatures. **International Journal of Food Microbiology**, v. 160, n. 2, p. 239-244, 2013.

SOUZA, A. C. M.; ROJAS, G. G.; ANDRADE, S. A. C.; GUERRA, N. B. Características físicas, químicas e organolépticas de quipá (*Tacinga inamoena*, *Cactaceae*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 292-295, 2007.

SOUZA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V.; CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 291-294, 2009.

STINTINZ, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. **Food Chemistry**, v. 77, n. 2, p. 101-106, 2002.

TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A.; QUAST, D. G. **Reações de transformação e vida de prateleira de alimentos processados**. 3. ed. Campinas: ITAL, 2004. (Manual Técnico, 6).

TENORE, G. C.; NOVELLINO, E.; BASILE, A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. **Journal Functional of Foods**, v. 4, n. 1, p. 129-136, 2012.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

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

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p.70-76, 2013.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos Naturais Bioativos. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009.

WANITCHANG, J.; TERDWONGWORAKAUL, A.; WANITCHANG, P.; NOYPITAK S. Maturity sorting index of dragon fruit: *Hyloceresus polyrhizus*. **Journal of Food Engineering**, v. 10, n. 3, p. 409-416, 2010.

WEBB, P. A.; ORR, C. **Analytical methods in fine particle technology**. Micromeritics Instrument Corporation: Norcross, USA, 1997. 301 p.

WICHIENTHOT, S.; JATUPORNPIPAT, M.; RASTALL. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 850-857, 2010.

WYBRANIEC, S.; PLATZNER, I.; GERESH, S., GOTTLIEB, H. E.; HAIMBERG, M.; MOGILNITZKI, M.; MIZRAHI, Y. Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. **Phytochemistry**, v. 58, n. 1, p. 1209-1212, 2001.

WYBRANIEC, S.; NOWAK-WYDRA, B.; MITKA, K.; KOWALSKI, P.; MIZRAHI, Y. Minor betalains in fruits of *Hylocereus* species. **Phytochemistry**, v. 68, n. 1, p. 251-259, 2007.

YAH, A. R.; PEREIRA, S. S.; VELOZ, C. S; SAÑUDO, R. B.; DUCH, E. S. Cambios físicos, químicos y sensoriales em frutos de pitahaya (*Hylocereus undactus*) durante su desarrollo. **Revista Fitotécnica Mexicana**, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2008.

ZEA, L. P.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; LING, C. N.; AMIN, N. A. M. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powder. **Powder Technology**, v. 247, n. 1, p. 1-7, 2013.

ZEE, F.; YEN, C. R.; NISHINA, M. Pitaya (Dragon Fruit, Strawberry Pear). **Fruits and Nuts**, v. 3, p. 1-3, 2004.

ZHUANG, Y.; ZHUANG, Y.; SUN, L. Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1279-1285, 2012.