



Recebido: 09/03/2023 | Revisado: 04/08/2023 | Aceito: 08/08/2023 | Publicado: 31/08/2023.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 10.31416/rsdv.v11i2.568

## **Avaliação do pó da polpa de pitáia vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) adicionada de diferentes adjuvantes de secagem**

*Evaluation of red pitáia (*Hylocereus polyrhizus*) pulp powder added to different drying adjuvants*

**ALVES, Thallyne de Brito. Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos**  
Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus do PICI - Fortaleza-Ceará-Brasil. CEP: 60.356-000 /  
Telefone: (88) 99278.9330 / E-mail: thallyneba@gmail.com

**AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim. Doutor em Engenharia de Alimentos**  
Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus do PICI - Fortaleza-Ceará-Brasil. CEP: 60.356-000 / Telefone:  
(85) 99656.5449 / E-mail: mafonso@ufc.br

**EÇA, Kaliana Sitonio. Doutor em Engenharia de Alimentos**  
Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus do PICI - Fortaleza-Ceará-Brasil. CEP: 60.356-000 / Telefone:  
(85) 98131.2402 / E-mail: kaliana.se@gmail.com

### **RESUMO**

Esta pesquisa teve o objetivo de avaliar a influência da maltodextrina, goma Arábica e dextrina sobre as características físicas do pó da polpa de pitáia vermelha obtido por liofilização. Os adjuvantes foram adicionados à polpa na concentração de 20% (m/m), totalizando três amostras que foram desidratadas em liofilizador. A avaliação morfológica dos pós foi realizada através de microscopia eletrônica por varredura (MEV) e a da fluidez foi realizada através do índice de fluidez utilizando-se do equipamento Powder Flow Test (PFT). As isotermas de sorção dos pós foram determinadas a 25 e 40°C através de ajuste dos modelos de GAB, BET, Oswin e Henderson. A amostra contendo maltodextrina apresentou partículas maiores e com bordas mais arredondadas que as demais amostras. O pó contendo maltodextrina obteve um índice de fluidez de 4,11 sendo classificado como de fácil fluidez, já os pós contendo goma Arábica e dextrina apresentaram valores de 3,44 e 3,54, respectivamente, sendo classificados como coesos. O melhor ajuste para as isotermas de sorção das amostras foi obtido pelo modelo de BET, com erro médio relativo de 2,78%. Através das isotermas observou-se o pó contendo dextrina foi mais estável em relação a absorção de água. Desta forma, conclui-se que o tipo de adjuvante utilizado pode influenciar de maneira distinta as características físicas de um pó. Em relação aos três adjuvantes utilizado, a adição da maltodextrina favoreceu a fluidez enquanto que a dextrina reduziu o ganho de umidade.

**Palavras-chave:** Adjuvantes; Índice de fluxo; Fluidez de pós; Fruta tropical.

### **ABSTRACT**

This research aimed to evaluate the influence of maltodextrin, gum Arabic and dextrin on the physical characteristics of red pitaya pulp powder by lyophilization. The adjuvants were added to the pulp at concentration of 20% (m/m) and the three samples were dried in a lyophilizer. The powder morphology was evaluated using the scanning electron microscopy (SEM) and the flowability was evaluated by the flow index using the Powder Flow Tester (PFT). The powder sorption



isotherms were determined at 25 and 40°C by adjusting the GAB, BET, Oswin and Henderson models. The sample containing maltodextrin showed larger particles with more rounded edges than the other samples. The powder containing maltodextrin obtained a flow index of 4.11 being classified as easy to flow, whereas the powders containing gum Arabic and dextrin showed values of 3.44 and 3.54, respectively, being classified as cohesive. The best fit for the sorption isotherms was obtained by the BET model, with a mean relative error of 2.78%. Through the isotherms it was observed that the powder containing dextrin was more stable in relation to water absorption. Thus, the type of adjuvant used can influence the physical characteristics of a powder in a different way. Regarding the three adjuvants used, the addition of maltodextrin favored fluidity whereas dextrin reduced water absorption.

**keywords:** Adjuvants; Fluidity index; Powder fluidity; Tropical fruit.

## Introdução

A busca por uma alimentação saudável e o aumento do consumo de alimentos contendo substâncias bioativas incrementam o desenvolvimento de novos produtos, especialmente aqueles elaborados a partir de fruta. Dentre as frutas, algumas pouco conhecidas como a pitaiá, cactácea frutífera, tem demonstrado grande potencial nos mercados interno e externo (ANDRADE; MARTINS; SILVA, 2008). A pitaiá vermelha (*H. polyrhizus*) conhecida como fruta do dragão, atraiu a atenção de pesquisadores e processadores de alimentos por seu potencial fonte de compostos bioativos (TZE et al., 2012). Além disso, sua intensa cor vermelha pode servir para realçar a cor de diversos alimentos.

Considerada um fruto tropical, pouco ácido e levemente adocicado, a pitaiá se deteriora com relativa facilidade e, conseqüentemente, sua vida útil pós-colheita é curta, em torno de 10 dias em condições ambiente (HOA et al., 2006; CORDEIRO et al., 2015). Uma maneira de disponibilizar uma fruta em qualquer época é através da sua secagem. Além disso, a secagem pode agregar valor ao produto, reduzir custos de transporte, aumentar as possibilidades de uso pela indústria e consumidor.

Os pós de frutas são utilizados principalmente na elaboração de bebidas consumidos diretamente como sucos. Porém, outras possibilidades de utilização são encontradas, tais como, ingredientes em comida para bebês, doces, iogurte de frutas, sopa, bolo, sorvete e confeitos (ZEA et al., 2013; PATIL; CHAUHAN; SINGH, 2004). Podem ainda ser utilizados para realçar a cor, o sabor e o valor nutricional de diversos alimentos (SAIFULLAH et al., 2016).

Os pós de frutas podem apresentar algumas características não desejáveis, tais como, aglomeração devido a sua higroscopicidade. Desta forma, torna-se necessário a utilização de agentes adjuvantes de secagem para promover um pó mais estável, de melhor manuseio, tornando-o menos higroscópico (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009). Diferentes agentes adjuvantes resultam em pós com propriedades diferentes, dependendo da estrutura e das características de cada adjuvante utilizado (NAYAK; RASTOGI, 2010), influenciando também na estabilidade do pó obtido (YOUSEFI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2011). Além disso, podem influenciar no tamanho e formato das partículas, densidade, propriedades físico-químicas, estabilidade química, solubilidade em água, higroscopicidade e fluidez (TZE et al., 2012).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da maltodextrina, goma arábica e



dextrina sobre o pó da polpa de pitaia, avaliando a morfologia das partículas, fluidez e as isotermas de sorção.

## Material e métodos

### 2.1 Matéria prima e preparação das amostras

A polpa de pitaia vermelha foi adquirida em comércio local da cidade de Fortaleza-CE. As polpas acondicionadas em sacos de polietileno com 100 g cada foram mantidas sob congelamento (-18 °C) até a realização dos experimentos. Os adjuvantes de secagem utilizados foram a maltodextrina, marca Maltogill-DE20 da Cargill, a dextrina alimentícia marca Amisol® 4800 e a goma arábica, marca CAS9000-01-5 da Êxodo Científica, adquiridos no comércio local da cidade de Fortaleza-CE. Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal do Ceará.

As polpas foram descongeladas sob temperatura de refrigeração e cada adjuvante foi adicionado até concentração de 20% (m/m), a seguir homogeneizado com o auxílio de um agitador de soluções modelo TE 120 da empresa TECNAL. Desta forma, foram elaboradas três amostras que, a seguir, foram congeladas e mantidas a -38°C por 24h em ultra freezer modelo CL90-40V da empresa Terroni Equipamentos Científicos. Em seguida, as amostras congeladas foram transferidas para um liofilizador modelo LS3000 da empresa Terroni Equipamentos Científicos, onde foram liofilizadas por 24 h. As pressões finais do liofilizador alcançaram entre 20 e 30 Pa e a temperatura final das amostras em pó foi 25°C. Após as liofilizações, as amostras foram trituradas em moinho de faca (Marconi, modelo MA048) e acondicionados a vácuo em embalagens laminadas compostas de PET, alumínio e poliamida até o início das análises.

### 2.2 Avaliação morfológica e fluidez dos pós da polpa de pitaia

A avaliação morfológica dos pós obtidos foi realizada através de microscópio eletrônico por varredura (MEV). Amostras dos pós foram depositadas sobre fita adesiva dupla face, fixadas em suporte metálico e recobertas com platina e ouro em metalizadora modelo Q 1550T ES, marca Quorum. Foram obtidas micrografias com resolução de 2000x utilizando um microscópio modelo FEG 450, marca Quanta.

A avaliação da fluidez dos pós foi realizada com o auxílio do equipamento Powder Flow Test (PFT), da empresa Brookfield Engineering Laboratories. Amostras, em duplicata, foram colocadas em bandejas circulares de aço inox e transferidas ao equipamento que aplicou tensões variadas na superfície dos pós para medição dos parâmetros de escoamento. Foram obtidas as relações entre tensões não confinadas de deslizamento e tensões principais de consolidação. Para classificar a fluidez dos pós utilizou-se o índice de fluxo ( $I_f$ ) conforme Equação 1 e Tabela 1, de acordo com Jenike (1964).

$$I_f = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (01)$$

em que:  $I_f$  = Índice de fluxo;  $\sigma_1$  = média da tensão principal de consolidação, kPa;  $\sigma_c$  = média da tensão não confinada de deslizamento, kPa.

**Tabela 1** - Classificação da fluidez de pós.

Fluidez	Índice de fluxo ( $I_f$ )
Sem escoamento	$I_f < 1$
Muito coesivo	$1 < I_f < 2$
Coesivo	$2 < I_f < 4$
Fácil	$4 < I_f < 10$
Livre	$> 10$

Fonte: Jenike (1964).

### 2.3 Avaliação das isothermas de sorção do pó da polpa de pitaia

Na elaboração das isothermas dos pós da polpa de pitaia vermelha foi utilizado o método gravimétrico estático, descrito por Spiess e Wolf (1987), utilizando-se soluções salinas saturadas ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaBr}$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{BaCl}_2$ ) colocadas em recipientes de vidro com tampa, condicionando diferentes umidades relativas entre 21 e 90%. Amostras dos pós com 0,6 g, foram colocadas em cadinhos de alumínio dentro dos recipientes de vidros, os quais foram transferidos para B.O.D com temperatura interna de 25 e 40 °C. Os cadinhos foram pesados em balança analítica com intervalos de 24h até variação de massa abaixo de 1%, ou seja, até as amostras atingirem a umidade de equilíbrio. Posteriormente, as amostras tiveram sua atividade de água medida em medidor modelo AQUALAB 4TEV. A umidade de equilíbrio ( $U_e$ ) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca, conforme a Equação 2.

$$U_e = \frac{M_E - M_S}{M_S} \quad (02)$$

Onde:  $U_e$  = umidade de equilíbrio ( $\text{g.g}^{-1}$ );  $M_E$  = massa da amostra no equilíbrio (g);  $M_S$  = massa da amostra seca (g).

Na construção das isothermas dos pós, os modelos de GAB, BET, Henderson e Oswin (Tabela 2) foram ajustados aos dados experimentais.

**Tabela 2** - Modelos matemáticos para a descrição das isothermas de adsorção.

Modelo	Equação*	
GAB	$U_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$	03
BET	$U_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \left[ \frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$	04
Henderson	$U_e = \left[ \frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}}$	05
Oswin	$U_e = a \cdot \left[ \frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$	06

\* $U_e$  - umidade de equilíbrio ( $\text{g.g}^{-1}$ );  $X_m$  - conteúdo de água na monocamada molecular ( $\text{g.g}^{-1}$ );  $a_w$  - atividade de água;  $n$  - número de camadas moleculares;  $C$ ,  $K$  - constantes de sorção;  $a$ ,  $b$  - parâmetros de ajuste

Os modelos foram avaliados segundo os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) e os erros médios relativos ( $E$ ), segundo Equação 7 (KUROZAWA; EL-AOUAR; MURR, 2005).

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - M_{pi})|}{M_i} \quad (07)$$

Onde:  $E$  = erro médio relativo;  $M_i$  = Valor experimental;  $M_{pi}$  = Valores preditos pelo modelo;  $n$  = Número de dados experimentais.

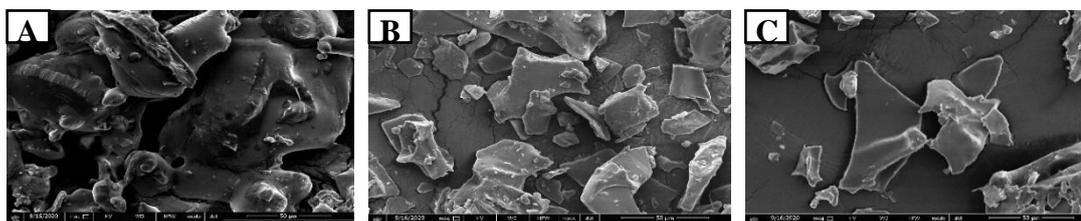
## Resultados e discussão

### 3.1 Avaliação da morfologia das partículas

As micrografias obtidas pela microscopia eletrônica por varredura (MEV) são apresentadas na Figura 1. Pode-se verificar que os diferentes adjuvantes resultaram em diferentes formatos das partículas.

A forma é uma propriedade importante para determinar o comportamento das partículas e pode ser usada como um filtro antes da classificação do tamanho (ORTEGA-RIVAS, 2009). A partir das imagens da Figura 1 observa-se que os pós obtidos a partir da mistura de diferentes adjuvantes apresentaram partículas que se diferenciaram pelo tamanho, formato e superfície.

**Figura 1** - Micrografias (2000x) dos pós da polpa de pitaiá vermelha liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina (A), goma arábica (B), dextrina (C).



Ao comparar o efeito dos três adjuvantes sobre o pó da polpa de pitaiá observou-se que as partículas do pó contendo maltodextrina apresentaram-se maiores do que as demais. Observou-se ainda que as partículas dos pós contendo goma Arábica e dextrina estão mais dispersas. Estas variações podem ter ocorrido devido à estrutura molecular dos agentes adjuvantes utilizados, conforme relatado por Fazaeli et al. (2012). Além disso, os pós produzidos com goma arábica e dextrina não obtiveram muita aglomeração como no pó produzido com maltodextrina, fato que pode ser explicado devido a maior temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) da goma arábica (170 °C) em relação a maltodextrina, uma vez que, quanto menor a  $T_g$  mais aderência e pegajosidade são observados nos pós (COLLARES; FINZER; KIECKBUSCH, 2004; BHANDARI; HOWES, 1999).

Observou-se também que o formato das partículas contendo maltodextrina apresentaram-se mais esféricas que as demais, fato que pode contribuir com uma melhor fluidez do pó. Por outro lado, as partículas com formatos mais retos e com arestas pontiagudas podem provocar intertravamentos entre si, dificultando assim o deslize entre as partículas diminuindo sua fluidez. As partículas contendo goma Arábica e dextrina apresentaram-se mais pontiagudas, especialmente aquela contendo dextrina. Tal comportamento pode ser confirmado pelo resultado das tensões não confinadas de deslizamento ( $\sigma_c$ ) (Tabela 3), cujos menores valores foram observados no pó contendo



maltodextrina, assim como, por seu maior índice de fluxo ( $I_f$ ), descrito no item 3.2, indicando uma melhor fluidez desse pó em relação aos pós contendo goma Arábica e dextrina.

O tamanho das partículas também pode interferir na característica de fluidez de um pó. Segundo Fitzpatrick et al. (2004), o pó parece menos capaz de fluir quando contém partículas com tamanho pequeno, porque então a superfície por unidade de massa aumenta. As partículas do pó contendo maltodextrina foram maiores (Figura 1), apresentando ligações entre si, resultando em menores espaços vazios. Ferrari et al. (2013) observaram que as partículas de pó de amora-preta produzidas com maltodextrina foram maiores do que as partículas obtidas com goma arábica, concordando com o observado neste trabalho. Seerangurayar et al. (2017) também observaram que as partículas de tâmaras em pó contendo maltodextrina foram maiores se comparadas aquelas contendo goma Arábica, apresentando melhor fluidez. Adiba et al. (2011), relatam que a variação no tamanho das partículas e na distribuição do tamanho pode ser causada por diferentes composições dos pós e seu conteúdo biológico.

Observou-se que a liofilização da polpa de pitaia gerou pós completamente amorfos (Figura 1). Tais estruturas são caracterizadas por um estado desordenado em que não há repetição de formas geométricas e presença de faces planas bem estabelecidas, sendo comuns em produtos liofilizados (ALVES et al., 2008). Já os pós obtidos em secagem por aspersão em secadores do tipo spray dryer possuem partículas com formatos predominantemente esféricos. Shaaruddin et al. (2017) ao avaliarem a pitaia em pó obtida em spray dryer e contendo 20% de maltodextrina observaram pós com partículas de formas esféricas irregulares e extensos 'amassados' na superfície. Estes amassados são relatados como típicos dos adjuvantes à base de polissacarídeos (RODRÍGUEZ et al., 2013). Já Zea et al. (2013), na liofilização de pitaia contendo maltodextrina, observaram que as partículas dos pós apresentaram formas irregulares e estrutura cristalina, atribuindo este fato à liofilização e a natureza fibrosa e porosa dos pós de frutas, uma vez que o pó era preparado a partir de frutas inteiras.

Suravanichnirachorn et al. (2018), na obtenção de pó de maio (*Antidesma bunius* L. Spreng) liofilizado verificaram que as estruturas das partículas irregulares e de vários tamanhos. As partículas dos pós liofilizados podem apresentar poros devido ao processo de congelamento, onde os cristais de gelo formados no congelamento são removidos na etapa da secagem (FRANCESCHINIS et al., 2014).

Nas amostras contendo 20% de goma Arábica e de dextrina (Figura 1B e 1C), a aglomeração diminuiu consideravelmente em relação a amostra com 20% de maltodextrina (Figura 1A), apresentando partículas irregulares. Os diferentes adjuvantes estudados neste trabalho provocaram mudanças nos formatos e nas superfícies das partículas, que se tornaram mais lisas, menos esféricas e menos aglomeradas com a presença da goma Arábica e a dextrina. Resultados semelhantes foram relatados por Gurak; Cabral; Rocha-Leão (2013) para suco de uva liofilizado encapsulado com maltodextrina e goma Arábica.

Araújo et al. (2020), ao estudarem polpa de coco liofilizada contendo 15% de maltodextrina, observaram que as amostras apresentavam formas irregulares. Afonso et al. (2019), ao liofilizarem polpa de manga com 15% de maltodextrina, observaram que as partículas, em geral, exibiram



formas variadas e irregulares, além da presença de poros e partículas com superfícies predominantemente ásperas, semelhantes a Figura 1.

### 3.2 Avaliação da fluidez do pó da polpa de pitaia liofilizada

A avaliação da fluidez das amostras foi realizada pela determinação dos índices de fluidez ( $I_f$ ) das três amostras dos pós de pitaia vermelha a partir da Equação 1 e dos valores das tensões apresentadas na Tabela 3.

A amostra do pó contendo maltodextrina apresentou valor de 4,11 para o  $I_f$ , classificando-o como de fácil fluidez, de acordo com a Tabela 1. Já os pós contendo goma Arábica e dextrina obtiveram, respectivamente, 3,44 e 3,54 para o  $I_f$ , classificando-os como coesos. Afonso et al. (2019) obtiveram comportamento semelhante em seu estudo sobre os pós da polpa de manga, obtendo 4,52 no valor do  $I_f$  no pó contendo 15% de maltodextrina. Maciel et al. (2020a), ao estudarem os pós da polpa de cupuaçu liofilizada contendo 15 e 25% de maltodextrina, os classificaram como de fácil fluidez. Segundo Mohammed et al. (2011), os formatos das partículas podem provocar interconexões entre si, dificultando o escoamento do pó. Segundo Geldart; Abdullah; Verlinden (2009), o intertravamento mecânico pode desempenhar um papel importante, particularmente em materiais não esféricos. As partículas da amostra contendo maltodextrina (Figura 1A) apresentaram bordas mais arredondadas que as demais, o que pode justificar uma melhor fluidez. A fluidez de um pó também pode ser explicada em termos de adesão entre partículas ou viscosidade que é afetada pelo alto teor de açúcar presente nos alimentos (BHANDARI e HOWES, 1999).

Lopes Neto et al. (2007) afirmam que uma compreensão completa do comportamento da fluidez de um alimento em pó é uma tarefa difícil pelo fato de existirem elementos não considerados como conservantes, sais, ácidos, óleos e gorduras, que podem influenciar nas propriedades físicas e na fluidez.

**Tabela 3** - Tensão principal de consolidação ( $\sigma_1$ ) e tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ) do pó da polpa de pitaia contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma Arábica e dextrina.

Maltodextrina		Goma Arábica		Dextrina	
$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_c$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_c$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_c$ (kPa)
2,11	0,88	2,32	1,05	2,03	0,914
5,15	1,55	5,65	1,92	5,06	1,75
11,62	3,37	11,84	3,63	11,62	3,54
25,92	5,79	22,71	6,38	23,82	6,76
49,66	11,40	40,36	11,14	50,01	13,21

O tipo de adjuvante utilizado influenciou no comportamento das tensões aplicadas as amostras dos pós (Tabela 3). Observou-se que a presença dos adjuvantes utilizados influenciou nos valores da tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ). Uma menor tensão não confinada de deslizamento para uma mesma tensão principal de consolidação ( $\sigma_1$ ) aplicada indica uma melhor fluidez do pó. De maneira contrária, segundo Lopes Neto et al. (2007), quanto maior o valor da tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ) de um pó, menor é sua fluidez frente à mesma tensão de consolidação, ou



seja, maior a dificuldade de seu escoamento.

Pode-se observar na Tabela 3 que o comportamento dos pós contendo goma Arábica e dextrina se aproximam, enquanto o pó contendo a maltodextrina tende aos menores valores de tensão não confinada de deslizamento, indicando ser dentre as amostras aquela de melhor fluidez.

### 3.3 Isotermas de adsorção dos pós da polpa de pitaia

Os modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin foram ajustados aos dados experimentais para construção das isotermas de adsorção do pó da polpa de pitaia contendo maltodextrina, goma arábica e dextrina. Os ajustes de cada modelo são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Parâmetros de ajuste das isotermas de adsorção do pó da polpa de pitaia contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma arábica e dextrina.

Modelos	Parâmetros	Maltodextrina		Goma Arábica		Dextrina	
		25 °C	40 °C	25 °C	40 °C	25 °C	40 °C
GAB	$X_m$	0,0795	0,0924	0,0830	0,123	0,0731	0,0793
	C	2,21	1,89	3,10	1,21	2,52	1,62
	K	0,984	0,961	0,988	0,927	0,971	0,963
	$R^2$	0,999	0,999	0,999	0,998	0,999	0,999
	E (%)	2,46	3,07	3,01	2,27	3,06	4,45
BET	$X_m$	0,0722	0,0784	0,0773	0,0890	0,0632	0,0673
	C	2,82	2,47	3,89	1,83	3,69	2,07
	n	39,4	24,2	41,3	19,8	32,1	24,8
	$R^2$	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
	E (%)	3,24	3,64	2,91	1,55	1,72	3,62
Henderson	a	0,636	0,728	0,653	0,720	0,670	0,706
	b	3,12	3,44	2,98	3,28	3,52	3,76
	$R^2$	0,993	0,995	0,995	0,996	0,992	0,996
	E (%)	11,5	8,02	12,2	6,64	11,0	10,5
Oswin	a	0,106	0,114	0,120	0,120	0,100	0,0923
	b	0,830	0,797	0,809	0,797	0,777	0,824
	$R^2$	0,999	0,999	0,999	0,997	0,999	0,999
	E (%)	2,82	3,91	3,95	4,49	3,43	3,76

$X_m$  - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos);  $R^2$  - coeficiente de determinação; E (%) - erro médio relativo; C, K - constante de sorção da camada molecular; n - número de camadas moleculares; a, b - parâmetros de ajuste.

Os modelos GAB, BET e Oswin mostraram bons ajustes ( $R^2 \geq 0,999$ ), e menores erros relativos. O modelo Henderson não se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais por apresentar erros médios relativos acima de 10%. Na média, o modelo de GAB apresentou um erro médio relativo de 3,05%, o de BET de 2,78% e o de Oswin de 3,73%. Assim, o modelo de BET foi escolhido para representar as isotermas de sorção dos pós de polpa de pitaia vermelha liofilizada para os três



adjuvantes estudados.

O modelo BET tem sido usado por muitos pesquisadores para prever as isotermas de sorção de produtos alimentícios. Segundo Timmermann, Chirife e Iglesias (2001), os modelos GAB e BET estão intimamente relacionados, já que o modelo GAB é uma extensão do modelo BET, fazendo com que os valores sejam bem próximos e apenas particularidades do produto ou do método escolhido acabem por se ajustar a um ou ao outro modelo. Molina et al. (2014), estudando pó de pitaia liofilizada, concluíram que os modelos GAB e BET foram ajustados para o pó da polpa da pitaia, entretanto, o modelo BET foi o recomendado para descrever as isotermas de sorção, considerando maiores valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e menores valores de erro médio relativo (E%). Ribeiro, Costa e Afonso (2016), no estudo do comportamento higroscópico do pó de polpa de acerola liofilizada, mostra que o modelo de BET obteve o melhor ajuste para apresentar as isotermas de sorção de pó de polpa de acerola. Porém, Oliveira, Afonso e Costa (2011), obtiveram os melhores ajustes com os modelos de GAB e Oswin para sapoti liofilizado. Maciel et al. (2020b), obtiveram com melhor ajuste para as isotermas do pó de polpa de goiaba o modelo GAB.

Os modelos matemáticos de GAB e BET apresentam parâmetros com sentido físico. Segundo Goula et al. (2008), o teor de umidade na monocamada ( $X_m$ ) proporciona, em determinada temperatura, maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento; abaixo deste valor as taxas de reações de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas. O parâmetro  $X_m$  (teor umidade da monocamada), ajustado nos modelos GAB e BET, corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida a locais específicos na superfície do alimento e é considerado um valor crítico, acima do qual a taxa de algumas reações de degradação aumenta e a estabilidade da matriz alimentar diminui (COMUNIAN et al., 2011). Conforme a Tabela 4, observou-se que houve um leve aumento da umidade na monocamada ( $X_m$ ) nos pós da polpa de pitaia para os três adjuvantes quando a temperatura subiu de 25 a 40°C. Moreira et al. (2013) e Pena et al. (2010) encontraram comportamento semelhante para o pó da polpa de manga liofilizada e para o pó de açaí, respectivamente. Uma hipótese para esse comportamento é o aumento da solubilidade dos açúcares presentes com o aumento da temperatura, além disso a elevação da temperatura pode alterar ligeiramente a estrutura do alimento liberando sítios ativos para ligação da água.

Quanto ao parâmetro K do modelo de GAB, segundo Catelam, Trindade e Romero (2011), representa uma medida das interações entre as moléculas da monocamada e o adsorvente, observamos valores inferiores a 1,0. Segundo Alexandre, Figueiredo e Queiroz (2007), os valores de K menores que 1,0 são característicos para alimentos, o que indica que a isoterma tende a uma assíntota com atividade de água igual a 1,0.

Todos os parâmetros que mencionamos para os modelos de Oswin e Henderson são os esperados, já que Blahovec (2004), afirma que o modelo de Henderson deve apresentar  $a > 0$  e  $b \geq 1$  e o modelo de Oswin deve apresentar  $a > 0$  e  $1 \geq b > 0$ . A referência aos parâmetros dentro desses intervalos indica que não há mudanças na concavidade das funções; portanto, esses parâmetros são matematicamente consistentes (ALCÂNTARA et al., 2009).

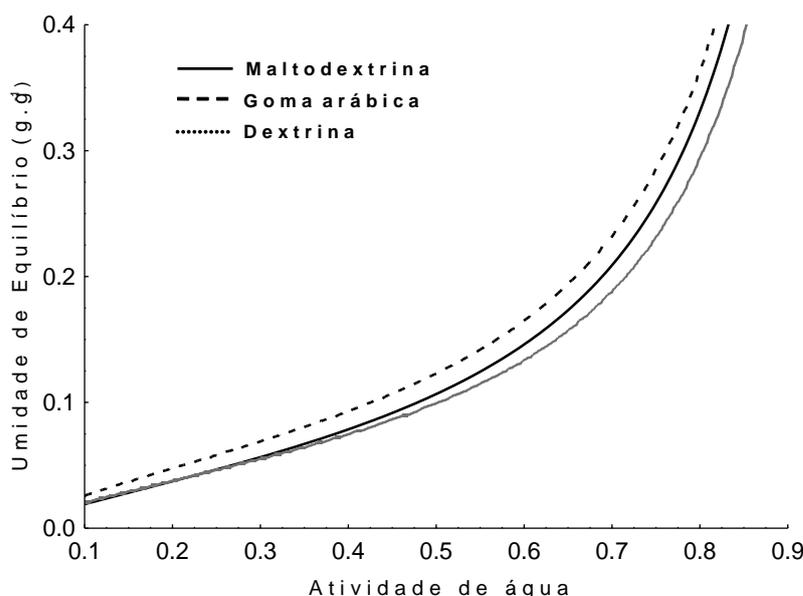
As isotermas segundo o modelo de BET são apresentadas nas Figuras 2 e 3. Observa-se que o teor



de umidade de equilíbrio da polpa de pitaia vermelha em pó aumentou exponencialmente com o aumento da atividade de água nas duas temperaturas, seguindo a forma de isotermas que mostram curvas Flory-Huggins, tipo III, formato “J” de acordo com a classificação de Brunauer, Deming e Teller (1940). Tal comportamento é típico de alimentos ricos em componentes solúveis, que ocorrem pela adsorção de um solvente abaixo da temperatura de transição vítrea. O modelo BET é adequado para representar curvas de sorção do tipo III, observadas em materiais com alto conteúdo de açúcares (RAHMAN, 2008), como pós de frutas (TONON et al., 2009; CAPARINO et al., 2013; CASTOLDI et al., 2015). Esses mesmos tipo e formato de isotermas foi obtido por Ribeiro, Costa e Afonso (2016), em seus estudos com pós de acerola liofilizada.

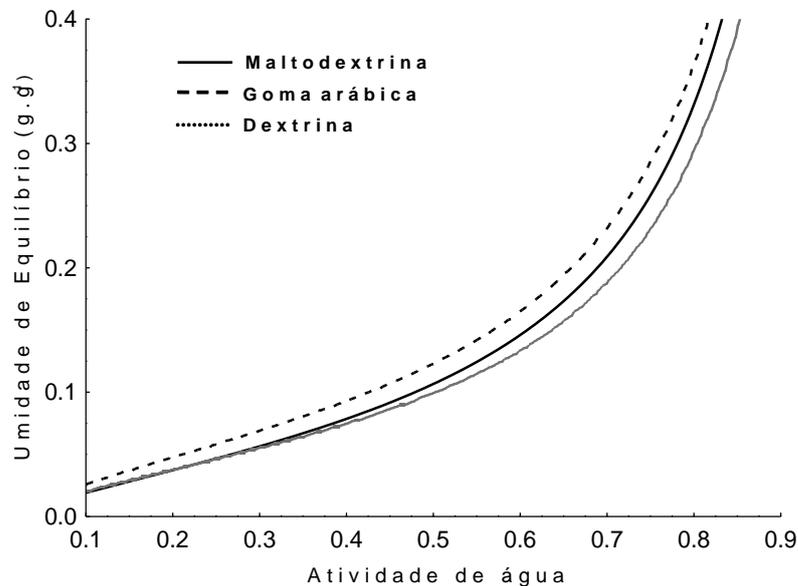
Através das Figuras 2 e 3 observa-se que o pó mais estável em relação a absorção de água é aquele contendo dextrina pois em uma mesma atividade de água apresentou menor umidade de equilíbrio, especialmente nas faixas de maior atividade de água. Observou-se ainda que o aumento da atividade de água é diretamente proporcional ao aumento da umidade de equilíbrio dos pós. Em ambas as temperaturas estudadas (25 °C e 40 °C) as isotermas apresentaram-se bem próximas para os pós de pitaia. No entanto observa-se uma tendência a maior absorção de água quando se tem a goma arábica como adjuvante, principalmente nas atividades de água superiores a 0,5 que representa uma umidade relativa de 50% de um ambiente onde o pó seja exposto. Constata-se ainda, pelas Figuras 2 e 3, que a temperatura não foi um fator de grande alteração da umidade de equilíbrio dos pós, indicando que o comportamento dos pós a 25 e 40 °C frente ao ganho de umidade é semelhante.

**Figura 2** - Isotermas de sorção a 25°C do pó da polpa de pitaia liofilizada contendo 20% de maltodextrina, 20% de goma arábica e 20% de dextrina.





**Figura 3** - Isotermas de sorção a 40°C do pó da polpa de pitaia liofilizada contendo 20% de maltodextrina, 20% de goma arábica e 20% de dextrina



## Conclusões

As partículas dos pós da polpa de pitaia apresentaram estruturas diferentes em função dos adjuvantes de secagem utilizados. As partículas do pó contendo maltodextrina apresentaram superfícies mais arredondadas e com mais ligações entre si. Os pós contendo goma Arábica e dextrina resultaram em partículas menores e arestas mais pontiagudas. A presença da maltodextrina na polpa de pitaia resultou em um pó com melhor fluidez. Já a presença da dextrina na polpa de pitaia em pó, de maneira contrária, contribuiu na diminuição da fluidez do pó.

O modelo matemático de BET foi aquele que melhor representou as isotermas do pó da polpa de pitaia. De acordo com as isotermas avaliadas para os três adjuvantes, a dextrina adicionada a polpa, contribuiu para um melhor comportamento em relação ao ganho de umidade, especialmente em altos valores de atividade de água.

## Referências

ADIBA, B.D.; SALEM, B.; NABIL, S.; ABDEL HAKIM, M. Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera* L.) and spirulina (*Spirulina sp.*) powders. *Powder Technology*, n. 208, p. 725-730, 2011.

AFONSO, M. R. A.; RODRIGUES, B. K. M.; COSTA, J. M. C. DA; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 23, n. 2, p. 133-137, 2019.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 81-



87, 2009.

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

ALVES, C. C. O.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; PRADO, M. E. T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. *Rev. Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, n.4, p. 830-839. out.-dez. 2008.

ANDRADE, R. A. DE; MARTINS, A. B. G.; SILVA, M. T. H. Development of seedlings of red pitaya (*Hylocereus undatus* Haw) in different substrate volumes. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 30, p. 697-700, 2008.

ARAÚJO, T. M. R.; FARIAS, M. D. L.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA; EÇA, K. S. Maltodextrin on the flow properties of green coconut (*Cocos nucifera* L.) pulp powder. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 44:e003220, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202044003220>. Acesso em: 21 nov. 2020.

BHANDARI, B. R. & HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *J. Food Eng.* v. 40, n. 1, p. 71-79, 1999.

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

BRUNAUER, S., DEMING, L.S., TELLER, E. On a theory of Van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*. v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.

CAPARINO, O. A.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; SYAMALADEVI, R. M.; NINDO, C. I. Water sorption, glass transition, and microstructures of refractance window and freeze-dried mango (*Philippine "Carabao" Var.*) powder. *Drying Technology*, v. 31, n. 16, p. 1969-1078, 2013.

CASTOLDI, M.; ZOTARELLI, M. F.; DURIGON A.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Production of tomato powder by refractance window drying. *Drying Technology*, v. 33, n. 12, p. 1463-1473, 2015.

CATELAM, K.T.; TRINDADE, C.S.F.; ROMERO, J.T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrate passion fruit pulp with additives and skimmed milk. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.

COLLARES, F.; FINZER, J.; KIECKBUSCH, T. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. *J. Food Eng.* v. 61, n. 2, p. 261-267, 2004.

COMUNIAN, T. A.; QUINTERO, E. S. M.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; TRINDADE, C.S.F. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. *International J. of Food Science and Tech.*, v. 46, p. 1259-1265, 2011.

CORDEIRO, M. H. M.; SILVA, J. M. D.; MIZOBUTSI, G. P.; MIZOBUTSI, E. H.; MOTA, W. F. D. Caracterização física, química e nutricional da pitaiá-rosa de polpa vermelha. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 20-26, 2015.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A.K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food Bioprod. Process.* v. 90, n. 4, p. 667-675. 2012.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; AGUIRRE, J. M. D. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. *Drying Technol. Int. J.* v. 31, p. 470-478. 2013.



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

FRANCESCHINIS, L.; SALVATORI, D.M.; SOSA, N.; SCHEBOR, C. Physical and functional properties of blackberry freeze- and spray-dried powders. *Drying Technol. Int. J.* v. 32, p. 197-207. 2014.

GELDART, D.; ABDULLAH, E. C.; VERLINDEN, A. Characterisation of dry powders. *Powder Technology*, v. 190, n. 1, p. 70-74, mar. 2009.

GOULA, A. M. et al. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, v. 85, n. 1, p. 73-83, mar. 2008.

GURAK, P. D.; CABRAL, L. M. C.; ROCHA-LEÃO, M. H. Production of grape juice powder obtained by freeze-drying after concentration by reverse osmosis. *Braz. Arch. Biol. Technol.* v. 56, n. 6, p. 1011-1017, Nov/Dec. 2013.

HOA, T. T.; CLARK, C. J.; WADDELL, B. C.; WOOLF, A. B. Postharvest quality of Dragon fruit (*Hylocereus undatus*) following disinfecting hot air treatments. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 41, n. 1, p. 62-69, 2006.

JENIKE, A.W. **Storage and flow of silos**. Salt Lake City. University of Utah. Bulletin 123. Engineering Experiment Station, 1964.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A; MURR, F. E. X. Obtenção de isoterma de dessecção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 25, n. 4, p. 828-834. 2005.

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

MACIEL, R. M. G.; LIMA, S. B.; COSTA, J. M. C. da; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, feb. 2020a.

MACIEL, R. M. G.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA; ARAÚJO, T. M. R. Influence of albumin on guava pulp powder obtained by foam-mat drying. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 388-395, may/jun. 2020b.

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

MOLINA, R.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, M. R. DA S.; VAGULA, J. M. Physical evaluation and hygroscopic behavior of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) lyophilized pulp powder. *Drying Technology*, v.32, n.16, p.2005-2011, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.929587>. Acesso em: 13 maio 2020.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, É. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; Costa, J. M. C. da. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. *Rev. bras. eng. agric. ambient.*, v.17, n.10, p.1093-1098, 2013.

NAYAK, C. A.; RASTOGI, N. K. Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. *Dry. Technol.* v. 28, p. 1396-1404. 2010.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. *Revista Ciência Agrônômica*, v.42, n.2, p.342-348, 26 abr. 2011.

ORTEGA-RIVAS, E. Bulk properties of food particulate materials: an appraisal of their



characterisation and relevance in processing. **Food Bioprocess Technol.** v. 2, n. 1, p. 28-44. 2009.

PATIL, V.; CHAUHAN, A. K.; SINGH, R. P. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. **Powder Technol.** v. 253, p. 230-236, 2014.

PENA, R. S., MENDONÇA, N. B., & ALMEIDA, M. D. C. Comportamento higroscópico do açaí em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, 12(2), 153-161, 2010.

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. CRC Press, [s.n.] 2008.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. DA & AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269-274. 2016. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p269-274.

RODRÍGUEZ, S. D., WILDERJANS, T. F., SOSA, N., & BERNIK, D. L. Image texture analysis and Gas sensor array studies applied to vanilla encapsulation by octenyl succinic anhydride starches. **Journal of Food Research**, v. 2, n.36. 2013.

SAIFULLAH, M.; YUSOF, Y.A.; CHIN, N.L. & AZIZ, M.G. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder Technology**, v. 301, p. 396-404. 2016.

SEERANGURAYAR, T.; MANICKAVASAGAN, A.; AL-ISMAILI, A. M.; AL-MULLA, Y. A. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**. v. 215, p. 33-43, 2017.

SHAARUDDIN, S.; GHAZALI, H. M.; MIRHOSSEINI, S. H. & MUHAMMAD, K. Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 129-134. 2017.

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L.B.; BEUCHAT, L. R. (ed.) **Water activity: theory and applications to food**. New York: Marcel Dekker, 1987. p.215-233.

SURAVANICHNIRACHORN, W.; HARUTHAITHANASAN, V.; SUWONSICHON, S.; SUKATTA, U.; MANEEBOON, T.; CHANTRAPORNCHAI, W. Effect of carrier type and concentration on the properties, anthocyanins and antioxidant activity of freeze-dried mao [*Antidesma bunius* (L.) Spreng] powders. **Agriculture and Natural Resources**. v. 52, p, 354-360, 2018.

TIMMERMANN, E. O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 1, p. 19-31, abr. 2001.

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

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 215-221, 2009.

TZE, N. L.; HAN, CH. P.; YUSOF, Y. A.; LING, CH. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 675-682, 2012.

YOUSEFI, S.; EMAM DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice. **J. Food Sci. Technol.** v. 48, p. 677- 684, 2011.

ZE, 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 powders. *Powder Technology*, v. 247, p. 112-119. 2013.