

Estudo higroscópico da polpa em pó do fruto da pitaya (*Hylocereus costaricensis*) em diferentes concentrações de maltodextrina

de Sousa, Erika Milene Pinto^{1,4}; Lênio José Guerreiro de Faria²; Walber José Pereira Costa³; Carlos Augusto de Sousa Araújo Neto¹; Renan Rocha Pereira¹; Carla Larissa Fonseca da Silva¹

¹Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capanema, Para, Brasil; ²Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, Para, Brasil; ³Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, Para, Brasil; ⁴erika_milene@yahoo.com.br

de Sousa, Erika Milene Pinto; Lênio José Guerreiro de Faria; Walber José Pereira Costa; Carlos Augusto de Sousa Araújo Neto; Renan Rocha Pereira; Carla Larissa Fonseca da Silva (2019) Estudo higroscópico da polpa em pó do fruto da pitaya (*Hylocereus costaricensis*) em diferentes concentrações de maltodextrina. Rev. Fac. Agron. Vol 118 (2): 1-9. <https://doi.org/10.24215/16699513e029>

Neste trabalho estudou-se o corante da polpa de pitaya em pó e seu comportamento higroscópico. A pitaya é um fruto nutritivo com baixo valor calórico e alto poder antioxidante devido à presença de betalainas, pigmentos nitrogenados e hidrossolúveis semelhantes ao grupo das antocianinas e flavonóides, com estruturas químicas diferentes. Os experimentos foram realizados adicionando maltodextrina no corante de pitaya nas proporções de 10, 20, 30, 40, 50 e 100%, visando aumentar a quantidade de sólidos no corante e analisando-se também o corante em pó puro. Em todas as amostras foi realizado o processo de branqueamento e, em seguida, a liofilização por 48 horas, aumentando, assim, a estabilidade por meio da redução da atividade de água, de modo a minimizar reações químicas enzimáticas que ocorrem durante a armazenagem do material, contribuindo para o acréscimo da vida útil do produto. Portanto, por meio da construção de isotermas de adsorção e dessorção de umidade a 25 °C em diferentes concentrações de maltodextrina analisou-se a higroscopicidade do corante de pitaya, assim como, a aplicabilidade de modelos matemáticos na predição das isotermas do produto. As isotermas obtidas foram sigmoidais, classificadas como do tipo II e o modelo de GAB mostrou-se mais adequado para ser utilizado na predição das isotermas de sorção do corante.

Palavras-chave: higroscopicidade, isotermas, adsorção, produtos naturais, secagem

de Sousa, Erika Milene Pinto; Lênio José Guerreiro de Faria; Walber José Pereira Costa; Carlos Augusto de Sousa Araújo Neto; Renan Rocha Pereira; Carla Larissa Fonseca da Silva (2019) A Pitaya (*hylocereus costaricensis*) pulp powder hygroscopic study in different maltodextrin concentrations. Rev. Fac. Agron. Vol 118 (2): 1-9. <https://doi.org/10.24215/16699513e029>

Pitaya is a nutritious fruit with low caloric value and high antioxidant power due to the presence of betalains, nitrogenous and water-soluble pigments similar to anthocyanins and flavonoids, with different chemical structures. This article presents a systematic Pitaya pulp powder dye study regarding its hygroscopic behavior. The experiments were conducted by adding maltodextrin in the proportions of 10, 20, 30, 40, 50 and 100%. The different percentages allowed a progressive incremental number of solids in Pitaya dye and a more thorough pure powder dye analysis. The bleaching process was carried out in all samples and, subsequently, the samples were lyophilized for 48 hours to increase stability through the reduction of water activity. This is done to minimize enzymatic chemical reactions, which occur during material storage, and to augment product lifespan. Therefore, by the construction of adsorption and moisture desorption isotherms at 25 °C in different concentrations of maltodextrin, the hygroscopicity of Pitaya dye was analyzed as well as the applicability of mathematical models in the prediction of product isotherms. The obtained isotherms were sigmoidal, classified as type II and the GAB model was proved more suitable to be used in the prediction of dye sorption isotherms.

Keywords: hygroscopicity, isotherms, adsorption, natural resources, environmental chemistry

<https://revistas.unlp.edu.ar/revagro>

Recibido: 17/08/2019

Aceptado: 02/09/2019

Disponible on line: 27/12/2019

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina



INTRODUÇÃO

A pitaya (*Hylocereus costaricensis*), assim como a beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.) é conhecida por possuir compostos nitrogenados chamados de betalainas, os quais são classificados em betacianinas, que conferem cor vermelho-violeta e as betaxantinas, um corante amarelo-laranja também presente em ambas as frutas, porém em menor proporção que as betacianinas. Devido a isso, as betalainas podem ser empregadas como corante natural em alimentos, cosméticos, fármacos entre outros produtos (Drunkler, 2004). Além dessa função de corante que as betalainas apresentam, elas têm a função de antioxidantes naturais.

Dessa forma, é um produto de grande aceitação nos mercados consumidores, despertando assim o interesse de produtores e indústrias, em especial a indústria alimentícia, onde são usados pigmentos naturais como as antocianinas, cúrcuma, licopeno, caramelo, páprica, entre outros (Stintzing *et al.*, 2004; Mohammer *et al.*, 2007; Junqueira *et al.*, 2007).

Entretanto, por ser um material orgânico processado, inicialmente, no estado líquido, necessita de redução no teor de umidade, em níveis geralmente muito abaixo dos quais seria obtido em processos de eliminação de água, não incluídos no conceito de secagem. Esses produtos incluem os polímeros, alimentos, fármacos, produtos agrícolas, corantes e vários outros produtos químicos, orgânicos e inorgânicos. Para evitar a degradação de um material orgânico, causada pelo ataque de micro-organismos, é realizada a secagem desse material em níveis de umidade que sejam apropriados para um armazenamento seguro. O valor ótimo de umidade de um material é definido pela análise do comportamento higroscópico, utilizando curvas de sorção. Essas curvas relacionam valores de umidade de equilíbrio e umidade relativa do ar ambiente ou atividade de água, a um dado valor de temperatura.

As isotermas de adsorção e dessorção, e a consequente avaliação do comportamento higroscópico de materiais orgânicos, são empregadas para definir processos de beneficiamento e de controle como a secagem, o armazenamento e o tipo de embalagem a ser utilizado (Picelli *et al.*, 2010).

A medida de propriedades físicas dos pós é importante porque estas afetam intrinsecamente seu comportamento durante o armazenamento, manuseio e processamento. A isoterma de adsorção de umidade ilustra a capacidade de um pó para absorver água quando colocado em determinadas condições atmosféricas e de temperatura. A presença da água em um pó pode afetar significativamente suas propriedades de fluidez e consistência.

Para diversos produtos em pó existe um valor da umidade relativa (umidade relativa crítica) em uma dada temperatura, acima da qual o pó endurecerá e esta é, geralmente, muito prejudicial à sua fluidez. Nas amostras em pó a qualidade e a vida útil têm forte dependência com o seu teor de água, que exerce influência sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e manuseio. Praticamente, todos os processos deteriorativos que ocorrem com os produtos perecíveis, especialmente alimentos, também são

influenciados pela concentração e mobilidade da água presente (Alexandre *et al.*, 2000).

Devido à insuficiência de pesquisas na área de análise higroscópica do corante de pitaya em pó, o objetivo deste trabalho foi determinar experimentalmente as isotermas de adsorção e dessorção de umidade do corante de pitaya em pó em diferentes concentrações de maltodextrina na temperatura de 25 °C e ajustar os dados experimentais a modelos matemáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram obtidos 20 frutos da pitaya em uma feira livre na cidade metropolitana de Belém/PA, pertencentes a espécie *Hylocereus costaricensis*, sendo que cada fruto possuía, em média, 300 g.

Pré-processamento

Após a obtenção dos frutos foi realizada a lavagem e sanitização dos mesmos com solução de cloro ativo 150 mg/L, conforme recomendado por Andrade & Macêdo (1996). Foi feita a pesagem de cada fruto em balança eletrônica (marca Bioprecisa, modelo BS3000A, com precisão de 0,1g). As frutas foram descascadas e cortadas. As sementes e a polpa foram separadas e pesadas. A polpa foi colocada em um liquidificador industrial por 2 minutos, homogeneizada e filtrada a vácuo. O filtrado obtido foi armazenado em um recipiente de polietileno envolvido com papel alumínio e acondicionado em freezer a -18°C até o início das análises físicas e físico-químicas (Rebecca *et al.*, 2008). Todas as análises foram realizadas em triplicata. As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Corantes (LABCOR) e no Laboratório de Engenharia de Produtos Naturais (LEPRON), da Universidade Federal do Pará.

Preparação das amostras

Nas amostras líquidas nas concentrações de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 100% de maltodextrina e 100% de corante, realizou-se primeiramente o processo de branqueamento com aquecimento por 2 minutos. Em seguida, as amostras foram separadas em recipientes de polietileno semelhantes a placas de petri e colocadas em freezer a -18 °C por 48 h. Posteriormente, foram inseridas em liofilizador (marca Christ, modelo Alpha 1-4) por 48 h para obtenção do corante em pó. Por fim, foram realizadas análises de umidade, granulometria e atividade de água. O uso de maltodextrina dá-se devido apresentar alta solubilidade em água, pouca higroscopicidade, preço acessível, fácil disponibilidade e boa relação entre custo e eficácia (Kha *et al.*, 2010). Relata-se que é capaz de proteger os componentes sensíveis dos alimentos como sabor, cor e compostos bioativos e contra as condições desfavoráveis (Ferrari *et al.*, 2012).

Caracterização física das amostras do corante de pitaya em pó

Diâmetro médio: a metodologia adotada para avaliar o diâmetro médio das amostras de pitaya em pó foi a das peneiras padronizadas, utilizando-se o agitador de peneiras (marca Produtest). As peneiras utilizadas nestes experimentos foram do tipo Tyler/mesh: 28, 35,

42, 65, 80 e 115 todas do mesmo fabricante, Petrodidática Indústria e Comércio Ltda. O diâmetro médio foi calculado com a definição de Sauter, mostrado na Equação 1.

$$\bar{d}_p = \frac{1}{\sum_i^n \frac{x_i}{d_i}}$$

em que:

d_p - Diâmetro médio de Sauter (mm)
 x_i - Fração mássica retida
 d_i - abertura média (mm)

Umidade inicial: o método utilizado foi o de secagem em estufa (105 °C), baseado na remoção da água por aquecimento. As amostras foram colocadas em cadinhos de alumínio, com massas previamente determinadas, ficando em estufa até a secagem. Os cadinhos contendo as amostras foram, então, resfriados à temperatura ambiente, em dessecador, tendo sua massa novamente determinada. Os cadinhos retornaram à estufa e este procedimento foi repetido até a obtenção de massa constante. Foi calculada, então, a porcentagem de umidade nas amostras, segundo o método nº 972.20 da AOAC (1997).

Atividade de água: para a determinação da atividade de água foi utilizado o equipamento AQUALAB e posteriormente foi obtida umidade de equilíbrio por meio da Equação 2:

$$X_{eq} = \frac{M_{\text{água}}}{M_s} \cdot 100$$

em que:

X_{eq} - umidade de equilíbrio (% bs)
 $M_{\text{água}}$ - massa de água adsorvida da amostra (g)
 M_s - massa seca da amostra (g)

Higroscopicidade do corante em pó de pitaya

Foram determinadas isotermas de adsorção e dessorção de umidade para as amostras de corante de pitaya nas concentrações de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 100% de maltodextrina e 100% de corante na temperatura de 25 °C. O método utilizado para a determinação da umidade relativa de equilíbrio permite a medição de uma grande quantidade de dados em um pequeno intervalo de tempo, utilizando o equipamento AQUALAB. As leituras são efetuadas após alcançar o equilíbrio de transferência de calor e massa, entre o ar ambiente do equipamento e a amostra neste contida, sendo este equilíbrio identificado através de sensores no equipamento, que disparam um sinal sonoro no momento em que a leitura deve ser efetuada. Esta metodologia experimental também foi utilizada por Waughon (2006), Francisco *et al.* (2007), Silva (2009) entre outros, para avaliar o comportamento higroscópico de produtos biológicos.

Ao iniciar os experimentos foi pesado 1±0,05g de amostra em frascos de polietileno apropriados ao equipamento, e colocadas em estufa a vácuo (marca Fanem, modelo 099 EV) a 70 °C e 650 mmHg, por 24h, para remoção da umidade da amostra, de modo a

alcançar valores de atividade de água em torno de 0,2 a 0,3. Em seguida, foi colocado um dessecador, contendo água no lugar de sílica gel, em estufa incubadora para DBO (demanda bioquímica de oxigênio) da marca Quimis, modelo 315 D16, com precisão de ± 0,3 °C e faixa de trabalho de 0 a 50 °C, estabilizada na temperatura de trabalho de 25 °C.

Após 24h, as amostras foram retiradas da estufa à vácuo e transferidas ao dessecador, que permaneceu, neste intervalo de tempo, na estufa incubadora para alcançar a temperatura desejada. Em seguida, estas amostras foram colocadas, uma de cada vez, no equipamento (AQUALAB), para realizar as leituras de temperatura e atividade de água (a_w), que variaram na faixa de 0,1 a 0,9 e temperatura de 25 °C. Na sequência, as amostras foram pesadas em balança analítica. Dessa maneira, foi possível a construção da isoterma de adsorção. Após as amostras alcançarem os valores de a_w próximos de 0,9 foi realizado o processo inverso, ou seja, a dessorção, onde os frascos com amostras foram transferidos para o dessecador, contendo sílica gel, e novamente lidos valores de a_w até próximos de 0,1, temperaturas e suas respectivas massas. O processo completo (adsorção e dessorção) foi conduzido em 8 dias.

As etapas de pré-processamento e da análise higroscópica foram as seguintes: preparação das amostras em diferentes concentrações de maltodextrina e corante puro; branqueamento; armazenamento em freezer por 48h; liofilização por 48h para obtenção do corante em pó; análise de umidade, diâmetro e atividade de água; e cálculo da umidade de equilíbrio.

Análise dos dados experimentais de sorção de umidade

Diversos modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos têm sido propostos para expressar o teor de umidade de equilíbrio com a atividade de água de diversos produtos. Analisando-se alguns trabalhos publicados, conclui-se que, de um modo geral, nenhum modelo teórico desenvolvido é capaz de prever exatamente o teor de umidade de equilíbrio dos produtos em todas as faixas de temperatura e umidade relativa.

Os dados experimentais das isotermas de sorção (adsorção e dessorção) das amostras do corante de pitaya foram avaliados por meio da relação entre o conteúdo de umidade de equilíbrio e umidade relativa de equilíbrio de acordo com os modelos descritos na Tabela 1, e as constantes características determinadas através da técnica de regressão não-linear, utilizando-se o aplicativo Statística® 7.0 utilizando o método dos mínimos quadrados, via subrotina Quasi-Newton.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para avaliar as isotermas de sorção.

Modelo (ano)	Equação
GAB (1981)	$X = X_m C K a_w / [(1 - K a_w) (1 - K a_w + C K a_w)]$
Oswin (1946)	$X = a [a_w / (1 - a_w)]^b$
Peleg (1993)	$X = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$
Caurie (1970)	$X = \exp(a + b a_w)$

O parâmetro X denota o conteúdo de umidade de equilíbrio em base seca, a_w a atividade de água; a, b e C, k_1 , k_2 , n_1 , n_2 são coeficientes que dependem do produto e das condições do ar; no modelo de GAB o X_m representa o conteúdo de umidade correspondente à saturação de todos os sítios primários por uma molécula de água, normalmente denominada monocamada na teoria BET e K o fator de correção para multicamada molecular.

Nos resultados obtidos da estabilidade a luz da concentração de betacianina do corante de pitaya foi realizada a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância estatística, segundo o teste F e o teste de Tukey.

RESULTADOS

Tem-se nas Tabelas 2 e 3 os dados do teor de umidade inicial, diâmetro das partículas, da atividade de água e da umidade de equilíbrio das amostras de corante de pitaya em pó em diferentes concentrações, na temperatura de 25 °C, para o processo de adsorção e dessorção.

Nas Tabelas 4 e 5 são sumarizados os parâmetros estatísticos encontrados para cada modelo, para os processos de adsorção e dessorção, respectivamente, para a temperatura de 25 °C.

As Figuras 1 e 2 exibem as isotermas de sorção do corante de pitaya em pó, resultantes do modelo GAB na temperatura de 25 °C, para os processos de adsorção e dessorção, respectivamente.

DISCUSSÃO

Verifica-se que os processos de adsorção e dessorção das amostras de corante de pitaya em pó em diferentes concentrações, utilizando uma temperatura constante de 25 °C, a atividade de água e a umidade de equilíbrio se comportam de forma linear. Este comportamento é similar ao reportado por Park *et al.* (2001) ao estudarem o comportamento da umidade de equilíbrio em pera desidratada, em função da atividade de água.

Constata-se que as umidades de equilíbrio máximas atingidas nas diferentes concentrações variaram entre 6,49% e 92,68% b.s., para a adsorção e entre 6,50% e 84,93% b.s. para a dessorção. Logo, o corante de pitaya em pó é um produto muito higroscópico necessitando de embalagem impermeável quando submetida ao armazenamento nestas concentrações e temperatura.

Após análise dos valores dos parâmetros estatísticos, sumarizados nas Tabelas 4 e 5, quanto à qualidade dos ajustes dos dados experimentais aos modelos utilizados, verificou-se que o modelo de GAB foi o que melhor ajustou os dados experimentais do teor de umidade de equilíbrio das amostras do corante de pitaya em pó em diferentes concentrações de maltodextrina. Este modelo é o que melhor descreve os processos de adsorção e dessorção das amostras de corante de pitaya em pó na temperatura de 25 °C por apresentar para ambos os processos valores menores que 5% para o desvio médio relativo e distribuição de resíduos aleatória, para todas as amostras utilizadas.

Tabela 2. Resultados para o teor de umidade inicial (U_i), diâmetros das partículas (dp), atividade de água (aw) e umidade de equilíbrio (X_{eq} - % bs) durante o processo de adsorção.

Proporção (maltodextrina/corante)													
10 %		20 %		30 %		40 %		50 %		100 % de corante		100 % de maltod.	
$U_i = 4,40 \%$ $dp = 0,25 \text{ mm}$		$U_i = 4,55 \%$ $dp = 0,27 \text{ mm}$		$U_i = 4,21 \%$ $dp = 0,29 \text{ mm}$		$U_i = 4,43 \%$ $dp = 0,32 \text{ mm}$		$U_i = 4,44 \%$ $dp = 0,34 \text{ mm}$		$U_i = 4,65 \%$ $dp = 0,35 \text{ mm}$		$U_i = 0,66 \%$ $dp = 0,09 \text{ mm}$	
aw	Xeq	aw	Xeq	Aw	Xeq	aw	Xeq	aw	Xeq	aw	Xeq	aw	Xeq
0,33	14,32	0,44	10,42	0,39	14,41	0,46	15,58	0,50	9,72	0,26	6,49	0,50	8,49
0,43	16,15	0,51	12,24	0,48	15,50	0,54	16,69	0,56	11,41	0,35	9,02	0,63	9,28
0,48	17,69	0,53	13,72	0,55	18,39	0,58	18,33	0,60	12,83	0,39	10,53	0,60	9,53
0,52	19,63	0,54	14,68	0,57	20,62	0,59	20,45	0,61	13,71	0,44	11,65	0,59	9,78
0,56	20,67	0,56	15,61	0,58	21,43	0,75	36,91	0,61	14,22	0,46	12,76	0,52	10,47
0,57	21,58	0,58	16,64	0,65	31,22	0,71	35,36	0,62	17,56	0,51	14,48	0,62	11,07
0,59	22,21	0,73	31,58	0,75	38,22	0,81	43,83	0,76	20,55	0,87	64,19	0,89	37,22
0,65	25,27	0,80	40,87	0,72	36,53	0,79	42,57	0,82	36,02	0,86	62,97	0,88	36,13
0,74	38,42	0,77	37,34	0,82	47,84	0,76	40,08	0,80	34,68	0,86	61,96	0,86	35,04
0,74	37,78	0,76	35,79	0,79	43,77	0,94	79,34	0,77	32,72	0,90	85,40	0,92	46,04
0,85	52,00	0,91	70,59	0,76	41,37	0,93	73,59	0,75	31,53	0,90	84,49	0,91	45,55
0,81	47,59	0,91	67,93	0,91	72,35	0,91	70,88	0,74	30,30	0,90	83,53	0,91	44,85
0,78	45,05	0,90	65,40	0,88	65,80	0,90	67,53	0,85	40,92	0,89	82,57	0,91	43,96
0,77	43,69	0,88	62,25	0,88	63,12	0,88	61,98	0,93	69,97	0,95	86,92	0,96	76,16
0,88	72,30	0,86	57,88	0,88	61,60	0,88	59,84	0,92	64,93	0,95	92,68	0,96	74,68

Tabela 3. Resultados para o teor de umidade inicial (Ui), diâmetros das partículas (dp), atividade de água (aw) e umidade de equilíbrio. (Xeq - % bs) durante o processo de dessecção.

Proporção (maltodextrina/corante)													
10%		20%		30%		40%		50%		100% de corante		100% de maltod.	
Ui = 4,40 % dp = 0,25 mm		Ui = 4,55 % dp = 0,27 mm		Ui = 4,21 % dp = 0,29 mm		Ui = 4,43 % dp = 0,32 mm		Ui = 4,44 % dp = 0,34 mm		Ui = 4,65 % dp = 0,35mm		Ui = 0,66 % dp = 0,09 mm	
aw	Xeq	aw	Xeq	Aw	Xeq	aw	Xeq	aw	Xeq	aw	Xeq	Aw	Xeq
0,92	84,93	0,92	73,10	0,91	80,32	0,93	75,27	0,94	67,13	0,43	20,49	0,65	25,99
0,91	81,79	0,91	70,03	0,91	73,92	0,92	71,66	0,92	63,76	0,44	20,03	0,60	25,85
0,90	79,16	0,90	67,38	0,90	70,82	0,91	68,37	0,91	60,29	0,44	19,83	0,55	21,67
0,89	76,73	0,89	65,03	0,90	68,21	0,90	65,70	0,90	55,28	0,45	21,04	0,51	20,92
0,87	74,51	0,87	62,27	0,90	66,11	0,89	63,33	0,89	53,24	0,33	13,21	0,49	20,46
0,88	72,28	0,87	58,90	0,88	63,51	0,88	58,90	0,88	50,69	0,41	13,46	0,42	15,27
0,85	66,82	0,85	56,45	0,85	59,70	0,85	55,20	0,84	44,26	0,30	10,89	0,40	13,25
0,75	56,59	0,84	53,39	0,79	53,25	0,84	53,04	0,80	40,85	0,37	11,04	0,30	12,27
0,70	46,89	0,76	42,67	0,73	44,26	0,70	40,37	0,72	35,27	0,38	11,14	0,35	11,76
0,60	39,13	0,67	33,59	0,69	41,37	0,65	35,99	0,69	28,75	0,26	10,59	0,16	6,91
0,56	31,41	0,62	30,20	0,60	30,53	0,58	28,44	0,58	20,32	-	-	0,19	6,59
0,55	29,74	0,56	24,45	0,57	28,56	0,58	27,77	0,57	19,65	-	-	0,23	6,50
0,51	25,27	0,55	23,62	0,55	24,93	0,52	24,79	0,52	16,67	-	-	-	-
0,49	21,40	0,51	20,22	0,52	21,93	0,52	21,96	0,51	12,30	-	-	-	-
0,42	20,66	0,50	16,78	0,50	21,93	0,51	21,75	0,54	13,73	-	-	-	-

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros para os modelos de equilíbrio higroscópico das amostras de corante de pitaya em pó, obtidos por adsorção. Com os valores de valores dos coeficientes de determinação (R²), conteúdo de umidade da monocamada (Xm), desvio médio relativo (DMR), constantes dos modelos (a, b e C, k₁, k₂, n₁, n₂, K) e a tendência da distribuição dos resíduos (diferença entre o valor observado experimentalmente e o valor predito pelo modelo).

C (%)	Modelos	Parâmetros												Distrib. de resíduos
		R ²	A	B	K1	K2	N1	N2	Xm	K	C	DM R (%)		
10	GAB	0,98	-	-	-	-	-	-	11,2	0,9	7,59	0,32	Aleatório	
	Oswin	0,98	18,5	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,33	Tendencios	
	Peleg	0,98	-	-	24,11	99,11	0,5	6,06	-	-	-	0,28	Tendencios	
	Caurie	0,96	1,06	3,5	-	-	-	-	-	-	-	0,46	Tendencios	
20	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	61,1	0,7	0,23	0,12	Aleatório	
	Oswin	0,98	15,1	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,49	Tendencios	
	Peleg	0,99	-	-	88,72	12,86	4,32	0,54	-	-	-	0,09	Aleatório	
	Caurie	0,99	0,31	4,3	-	-	-	-	-	-	-	0,1	Aleatório	
30	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	17,4	0,8	1,72	0,23	Aleatório	
	Oswin	0,99	19,3	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,31	Aleatório	
	Peleg	0,99	-	-	69,11	61,52	12,0	1,81	-	-	-	0,24	Aleatório	
	Caurie	0,99	1,01	3,5	-	-	-	-	-	-	-	0,26	Aleatório	
40	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	25,9	0,8	0,79	0,19	Aleatório	
	Oswin	0,97	19,9	0,5	-	-	-	-	-	-	-	0,46	Aleatório	
	Peleg	0,99	-	-	51,01	54,44	1,75	7,62	-	-	-	0,19	Aleatório	
	Caurie	0,99	0,73	3,8	-	-	-	-	-	-	-	0,2	Aleatório	
50	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	13,2	0,9	0,76	0,5	Aleatório	
	Oswin	0,96	12,4	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,67	Tendencios	
	Peleg	0,97	-	-	66,99	475,2	3,02	45,6	-	-	-	0,39	Tendencios	
	Caurie	0,97	-0,37	4,9	-	-	-	-	-	-	-	0,5	Tendencios	
100 de corante	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	24,4	0,6	0,09	0,5	Aleatório	
	Oswin	0,92	22,8	0,5	-	-	-	-	-	-	-	1,14	Tendencios	
	Peleg	0,98	-	-	6,27	107,4	-0,02	3,71	-	-	-	0,42	Tendencios	
	Caurie	0,98	0,74	4,0	-	-	-	-	-	-	-	0,45	Tendencios	
100 de maltod.	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	5,67	0,9	2,74	0,27	Aleatório	
	Oswin	0,99	9,12	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,33	Aleatório	
	Peleg	0,99	-	-	113,7	50,58	30,8	3,03	-	-	-	0,28	Aleatório	
	Caurie	0,95	-2,83	7,3	-	-	-	-	-	-	-	0,93	Tendencios	

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros para os modelos de equilíbrio higroscópico das amostras de corante de pitaya em pó, obtidos por dessorção. Com os valores de valores dos coeficientes de determinação (R^2), conteúdo de umidade da monocamada (X_m), desvio médio relativo (DMR), constantes dos modelos (a , b e C , k_1 , k_2 , n_1 , n_2 , K) e a tendência da distribuição dos resíduos (diferença entre o valor observado experimentalmente e o valor predito pelo modelo).

C (%)	Modelos	Parâmetros											Distrib. de resíduos
		R^2	A	b	k_1	k_2	n_1	n_2	X_m	K	C	DMR (%)	
10	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	67,81	0,63	0,78	0,22	Aleatório
	Oswin	0,97	28,89	0,46	-	-	-	-	-	-	-	0,42	Tendencioso
	Peleg	0,99	-	-	160,87	92,72	38,82	1,86	-	-	-	0,19	Aleatório
	Caurie	0,96	1,06	3,52	-	-	-	-	-	-	-	0,23	Tendencioso
20	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	23,6	0,8	1,51	0,14	Aleatório
	Oswin	0,99	22,17	0,51	-	-	-	-	-	-	-	0,27	Tendencioso
	Peleg	0,99	-	-	75,01	74,6	22,12	1,97	-	-	-	0,08	Aleatório
	Caurie	0,99	1,4	3,12	-	-	-	-	-	-	-	0,17	Aleatório
30	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	36,9	0,72	1,16	0,26	Aleatório
	Oswin	0,97	25,61	0,47	-	-	-	-	-	-	-	0,38	Tendencioso
	Peleg	0,99	-	-	2139,73	82,14	109,34	1,92	-	-	-	0,11	Aleatório
	Caurie	0,99	1,01	3,57	-	-	-	-	-	-	-	0,27	Tendencioso
40	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	18,32	0,83	4,15	0,19	Aleatório
	Oswin	0,99	24,86	0,44	-	-	-	-	-	-	-	0,21	Aleatório
	Peleg	0,99	-	-	83,03	70,33	24,23	1,66	-	-	-	0,12	Aleatório
	Caurie	0,99	1,74	2,72	-	-	-	-	-	-	-	0,25	Aleatório
50	GAB	0,99	-	-	-	-	-	-	30,26	0,75	0,73	0,31	Aleatório
	Oswin	0,97	18,14	10,5	-	-	-	-	-	-	-	0,47	Tendencioso
	Peleg	0,98	-	-	59,6	66,91	28,17	2,25	-	-	-	0,24	Aleatório
	Caurie	0,99	0,98	3,4	-	-	-	-	-	-	-	0,34	Aleatório
100 de corante	GAB	0,93	-	-	-	-	-	-	24,86	0,7	2,24	1,01	Aleatório
	Oswin	0,75	24,55	1,07	-	-	-	-	-	-	-	1,27	Aleatório
	Peleg	0,9	-	-	817,94	6,22	8,09	0,42	-	-	-	0,73	Aleatório
	Caurie	0,77	0,9	4,66	-	-	-	-	-	-	-	1,22	Aleatório
100 de maltod.	GAB	0,97	-	-	-	-	-	-	29,37	0,62	1,86	0,6	Aleatório
	Oswin	0,96	18,99	0,65	-	-	-	-	-	-	-	0,63	Aleatório
	Peleg	0,96	-	-	0	47,86	-4,49	1,29	-	-	-	0,51	Aleatório
	Caurie	0,96	1,52	2,82	-	-	-	-	-	-	-	0,63	Aleatório

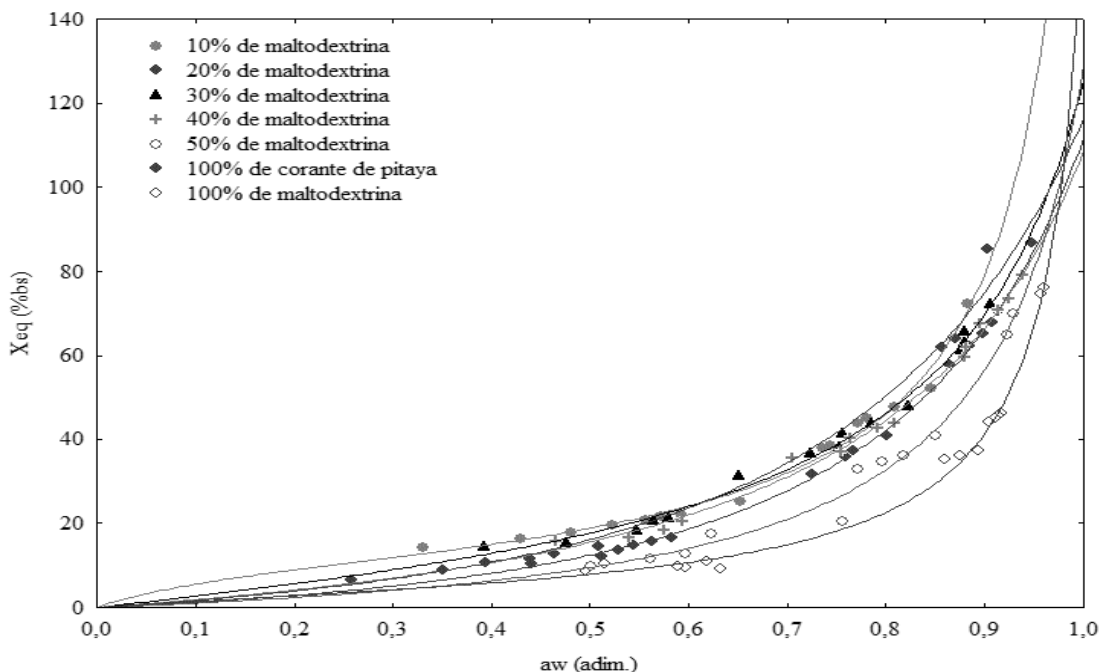


Figura 1. Efeito da concentração na adsorção do corante de pitaya em pó a 25 °C.

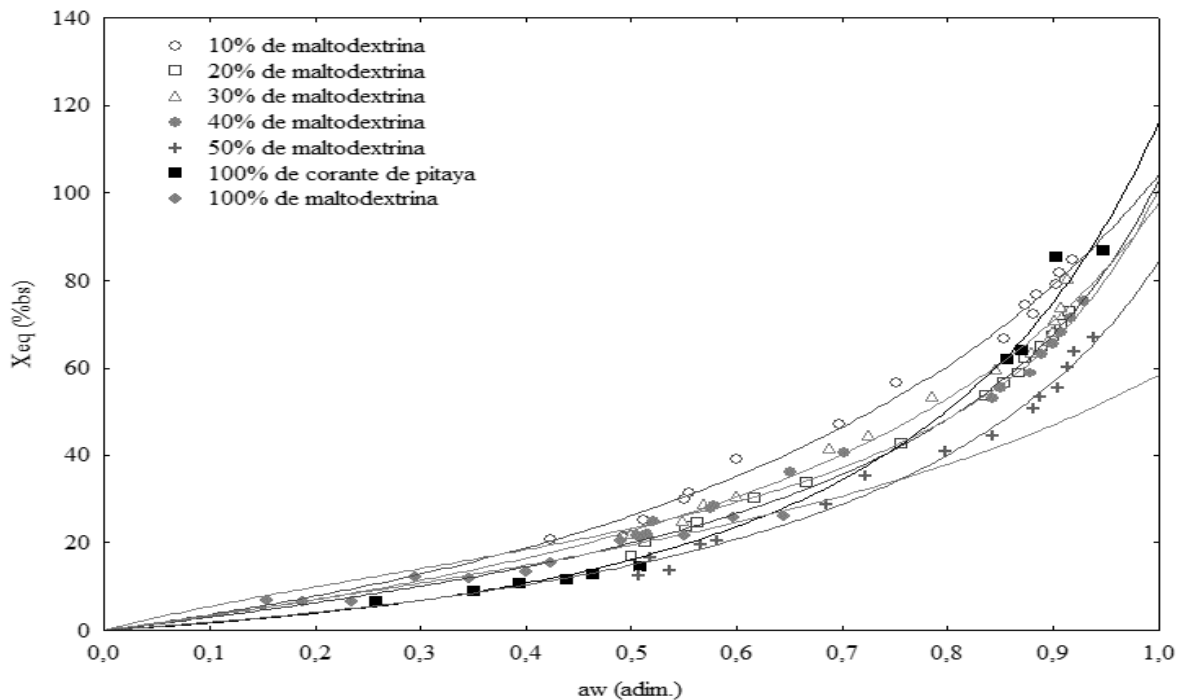


Figura 2. Efeito da concentração na dessorção do corante de pitaya em pó a 25 °C

O coeficiente de determinação apresenta-se na faixa de 0,98 a 0,99 para a adsorção e entre 0,93 e 0,99 para a dessorção. Verifica-se também que, para o modelo GAB em ambos os processos, os valores de K, apresentam valores menores que 1,0. Valores de K menores que 1,0 são uma característica de produtos alimentícios, indicando que a isoterma tende a uma assíntota em atividade igual a 1,0 (Fernandez, 1995). Em relação a constante de sorção C do modelo de GAB, que é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água, observa-se que em todas as concentrações utilizadas os valores de C foram inferiores a 200, estando dentro da faixa comumente encontrada na literatura. Vidal *et al.* (2003) descreveram a impossibilidade de atribuir sentido físico para os valores do parâmetro C do modelo de GAB para os dados experimentais encontrados.

A estimativa dos valores do conteúdo de umidade da monocamada (X_m), pelo modelo GAB, é importante uma vez que a deterioração de produtos alimentícios e/ou vegetais é muito pequena quando os mesmos são armazenados abaixo de X_m . Isso ocorre porque a água é fortemente ligada ao produto abaixo do conteúdo da monocamada e não está envolvida em qualquer reação de deterioração quer como solvente ou como um dos substratos (Costa, 2010).

Verifica-se com base nos valores estimados do conteúdo de umidade da monocamada, que as amostras de pitaya possuem a mesma ordem de grandeza dos demais valores obtidos para outras variedades de frutas reportados nos estudos de Vieira *et al.* (2007), indicando o bom desempenho na

condução da análise do comportamento higroscópico. As pequenas diferenças observadas entre os valores dos conteúdos de umidade da monocamada, para os diferentes produtos, podem estar relacionadas às características intrínsecas de cada material, temperatura na qual o experimento foi conduzido, metodologia adotada para a obtenção das isotermas de sorção.

Os modelos Oswin (1946), Caurie (1970) e Peleg (1993) apresentaram em algumas concentrações distribuição de resíduos não aleatórios (tendenciosos) tanto para a adsorção quanto para dessorção de umidade na faixa de temperatura utilizada, como mostra a tabela 4 e 5. O modelo GAB tem uma base teórica, enquanto os outros modelos são empíricos ou semi-empíricos (Adebowale *et al.*, 2007) e tem sido utilizado em vários produtos alimentícios e agrícolas apresentando bons resultados, e sua equação representativa é recomendada pelo projeto Europeu COST'90 sobre propriedades físicas de alimentos (Faria, 1998).

A partir das isotermas foi verificado que em atividade de água (a_w) abaixo de 0,3 a concentração não exerce influência significativa nas umidades de equilíbrio em ambos os processos (adsorção e dessorção). Na adsorção a curva de 10% de maltodextrina se manteve superior as demais no intervalo de a_w entre 0,3 e 0,5. Todavia, a curva de 100% de maltodextrina se manteve abaixo das outras curvas durante todo o experimento. Na dessorção, a curva de 10% de maltodextrina foi superior às demais concentrações durante o intervalo de a_w de 0,4 a 0,9; contudo, a curva de 50% de

maltodextrina se manteve inferior as demais durante todo o estudo.

Além disso, as isotermas apresentam o formato sigmoidal, correspondente ao tipo II, conforme a teoria BET (Brunauer *et al.*, 1938), indicando a existência de umidade adsorvida em camadas multimoleculares e um acentuado comportamento exponencial das isotermas para todas as concentrações estudadas a partir de valores de a_w 0,6. Este comportamento sugere que a partir desse valor, um pequeno aumento na umidade relativa do ambiente propicia um considerável acréscimo na umidade de equilíbrio das amostras do corante em pó, comprometendo a qualidade do produto nos locais de armazenamento em que UR seja superior a 60%.

O cruzamento observado entre as curvas e a progressiva divergência destas com o aumento da atividade de água pode estar relacionada com os efeitos da dissolução de sólidos solúveis presentes na amostra. Este comportamento é devido à atividade de água e às isotermas de sorção serem afetadas pela composição do produto e pela temperatura do sistema, pois, em geral, substâncias ricas em açúcares absorvem mais água a partir de certo valor de a_w do que os produtos ricos em polímeros (amido).

CONCLUSÃO

Os dados experimentais obtidos na dessorção do corante de pitaya em pó em diferentes concentrações, na temperatura de 25 °C, se ajustaram muito bem ao modelo tri-paramétrico de GAB, tornando possível analisar o comportamento higroscópico do material. As isotermas de adsorção e dessorção de umidade da pitaya em pó foram classificadas como sendo do Tipo II.

O corante de pitaya em pó apresentou alta higroscopicidade. Os equilíbrios higroscópicos foram atingidos entre tempos mínimos e máximos de 8 dias e armazenamento do corante de pitaya em pó deve ser feito com valores de umidade relativa (UR) inferiores a 60%.

REFERÊNCIAS

Adebowale, A.R., L. Sanni, S. Awonorin, I. Daniel & A. Kuye. 2007. Effect of cassava varieties on the sorption isotherm of tapioca grits. *International Journal of Food Science and Technology*, 42: 448-452.

Alexandre, H.V., R.M.F. Figueirêdo & A.J.M. Queiroz. 2000. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 20:172-175.

Andrade, N.J. & J.A.B. Macêdo. 1996. Higienização na indústria de alimentos. São Paulo, Livraria Varela.181p.

Association of analytical chemists. 1997. Official methods of analysis of AOAC International. Gaitheersburg, AOAC.

Brunauer, S., P.H. Emmett & E. Teller. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60: 309-319.

Caurie, M.A. 1970. New model equation for predicting safe storage moisture levels for optimum stability of dehydrated foods. *Journal of Food Technology*. 301-307.

Costa, C.M.L. 2010. Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (*Spilhanthes oleracea*) em leite fluidizado. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 203p.

Drunkler, D.A. 2004. Estudo da estabilidade de betalainas em diferentes solventes e em extrato de beterraba (*Beta vulgaris* L.) adicionado de ciclodextrinas (α , β e γ) e ácidos orgânicos (tânico e gálico). *Alimentos e Nutrição*, 15: 35-41.

Faria, L.J.G. 1998. Análise experimental do processo de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em leite fixo. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 251p.

Fernandez, C.S. 1995. Isotermas de sorção em substâncias alimentares. In: congresso Ibero-Americano de Engenharia de Alimentos, Campinas. Anais, FEA/UNICAMP-CYTED-SBCTA-Ital.

Ferrari, C.C., S.P.M. Germer & J.M. Aguirre. 2012. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. *Drying Technology*, v.30, p.154-163.

Francisco, F.G., R. Usberti & J.T.C.L. Toneli. 2007. Ajuste de isotermas de sementes de cultivares de feijoeiro. *Revista Brasileira de Sementes*, 29: 35-39.

Junqueira, K.P., F.G. Faleiro, N.T.V. Junqueira, G. Bellon, K.G. Fonseca, C.A. Lima & S.M. Sano. 2007. Diversidade genética de pitayas nativas do cerrado com base em marcadores. In: 4º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, São Lourenço. Anais, Diversidade genética de pitayas nativas do cerrado com base em marcadores RAPD.

Kha, T.C., M.H. Nguyen & P.D. Roach. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*. 98: 385-392.

Mohammer, M.R., F.C. Stintzing & R. Carle. 2007. Colour studies on fruit juice blends from *Opuntia* and *Hylocereus* cacti and betalain- containing model solutions derived therefrom. *Food Research International*, 38:975-981.

Oswin, C.R. 1946. The kinetics of packing life.III. The isotherm. *Journal of Chemistry Industrial*. n.65, p.419-23.

Park, K.J., A. Bin & F.P.R. Brod. 2001. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 19: 326-32.

Peleg, M. 1993. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *Journal of Food Processing Engineering, ConnecticutUSA: Food & Nutrition Press Inc.*, v. 16, n. 1, p. 21-37.

Picelli, R.M., L.S. Arrieche & D.J.M. Sartori. 2010. Drying and characterization of pioneer arboreal seeds. In: *Proceedings of the 17th IDS, Magdeburg*. p. 883-889.

Rebecca, O.P.S., R. Zuliana, A.N. Boyce & S. Chandran. 2008. Determining Pigment Extraction Efficiency and Pigment Stal Dragon Fruit (*Hylocereus*

polyrhizus). Journal of Biological Sciences, 8 (7): 1174-1180.

Silva, M.G.C.P.C., W.S. Barreto & M.H. Serôdio. 2009. Comparação nutricional da polpa dos frutos de juçara e de açaí. Artigo Técnico. Disponível em: <www.ceplac.gov.br/mapa.htm>. Acesso em: 17 maio 2009.

Stintzing, F.C., J. Conrad, I. Klaiber, U. Beifuss & R. Carle. 2004. Structural investigations on Betacyanin pigments by LC NMR and 2D NMR spectroscopy. *Phytochemistry*. 65: 415-422.

Van Den Berg, C. & S. Bruin. 1981. Water activity and its estimation in food systems. In: *Water Activity: Influences on Food Quality* (eds L.B. Rockland & G.F. Stewart), pp. 147-177. Academic Press, New York.

Vidal, D., P. Fito, M.L. Gras & V. Gimeno. 2003. Estudio de la actividad del agua de dátiles españoles tipo candil. In: Fito P, Mulet A, Chiralt A & Andrés A (Eds) *Ingeniería de alimentos nuevas fronteras en el siglo XXI: deshidratación de alimentos y propiedades relacionadas*. UPV. v. 2, p. 107-112.

Vieira, A.H., R.M.F. Figueiredo & A.J.M. Queiroz. 2007. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biología e Ciências da Terra*, 7(1): 11-20.

Waughon, T.G.M. 2006. Caracterização e processamento do resíduo fibrosos gerados na industrialização do suco de abacaxi. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, 58p.