

Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó¹

Hofsky Vieira, Alexandre², Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo³, Alexandre José de Melo Queiroz³

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de se determinar as isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. A pitanga em pó foi produzida pelo processo de secagem em camada de espuma, a 70°C, tendo como facilitadores da secagem um emulsificante/estabilizante e um espessante. Os dados experimentais foram obtidos por meio do método gravimétrico estático nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, com nove tipos de soluções saturadas de sais. Os modelos matemáticos de Peleg, GAB e Oswin foram ajustados aos dados experimentais. A pitanga em pó demonstrou alta higroscopicidade e as amostras atingiram o equilíbrio higroscópico entre 2 e 30 dias. Os modelos de Peleg e GAB produziram ajustes satisfatórios, com o modelo de Peleg resultando nos melhores parâmetros de ajuste ($R^2 > 0,98$ e $P < 4\%$). As isotermas foram classificadas como sendo do Tipo II.

Palavras-chave: *Eugenia uniflora*, modelos, atividade de água

Moisture adsorption isotherms of red brazilian cherry powder

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the moisture adsorption isotherms of red brazilian cherry powder. The red brazilian cherry powder was produced using the foam-mat process at 70°C, associating the pulp with an emulsifier/stabilizer and an thicker. The experimental data were obtained through the static gravimetric method in the temperatures of 10, 20, 30 and 40°C, with nine types of saturated salt solutions. The Peleg, GAB and Oswin models were fitted to the experimental data. The red brazilian cherry powder showed high higroscopicity and the samples reached the hygroscopic equilibrium between 2 and 30 days. The models of Peleg and GAB resulted in satisfactory fittings, with the Peleg's model providing the best fitting ($R^2 > 0.98$ and $P < 4\%$). The isotherms were classified as being of the Type II.

Keywords: *Eugenia uniflora*, models, water activity

1 – INTRODUÇÃO

A pitanga (*Eugenia uniflora* L.) é um fruto tropical, nativo das regiões Sul e Sudeste do Brasil e que tem se adaptado favoravelmente às condições climáticas e edáficas da Região Nordeste (GOMES, 1975). Por apresentar um sabor agradável muito particular e aroma típico, constitui-se num recurso importante a ser considerado pelos agricultores locais. De acordo com BEZERRA et al. (2000) a delicadeza de sua estrutura e a pele muito frágil tornam a pitanga especialmente sensível a danos

mecânicos durante a colheita, transporte e manuseio, que propiciam o desenvolvimento de fungos e reações enzimáticas adversas, vetores de rápida deterioração, representando um obstáculo para sua comercialização.

A vida útil pós-colheita da pitanga madura é muito curta, sendo estimada em cerca de 2 dias à temperatura ambiente, quando colhida madura (EPSTAIN, 1998). Na polpa seca elimina-se esse inconveniente, com a vantagem de se poder manter o material em temperatura ambiente, sem os gastos necessários para a conservação a frio. A polpa

seca, processada na forma de pó, apresenta fácil reconstituição em água, possibilidade de formulação com outros produtos e baixa relação volume/massa, com conseqüente economia em custos de embalagem e espaço de armazenamento.

Nas polpas em pó a qualidade e a vida útil tem forte dependência com o seu teor de água, que exerce influência sobre a palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e o manuseio. Praticamente todos os processos deteriorativos que ocorrem com os alimentos também são influenciados pela concentração e mobilidade da água presente. De acordo com WOLF et al. (1985) a intensidade e a taxa de deterioração de produtos alimentícios podem ser caracterizadas pela atividade de água. Segundo LABUZA (1986) a relação existente entre a água e os outros componentes de um produto define a sua higroscopicidade, que é muito marcante nos produtos alimentícios e torna-se uma característica fundamental a influenciar os processos de manuseio, processamento, estocagem e consumo. Sobre esses materiais TREYBAL (1963) afirma que quando são expostos a uma determinada umidade os mesmos reagem no sentido de ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente, e o ajuste ocorre quando a pressão de vapor da água na superfície do material se iguala à pressão de vapor da água do ar que o envolve. Diversos autores (SAMANIEGO-ESGUERRA et al., 1991; MOREY et al., 1995; CHEN & JAYAS, 1998) afirmam que os valores de umidade de equilíbrio dos produtos biológicos dependem da espécie, variedade, do teor de umidade inicial e principalmente da temperatura e umidade relativa do ambiente em que se encontram.

O estudo da atividade de água, segundo IGLESIAS & CHIRIFE (1982), pode ser feito mediante a avaliação de isotermas, que consistem em curvas que descrevem a relação entre o conteúdo de umidade dos alimentos e a atividade de água (a_w) para temperatura e pressão constantes. PENA et al. (2000) relataram que as isotermas de sorção (adsorção e dessorção) de umidade tem aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de

prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de se determinar as isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, utilizando-se o método gravimétrico estático com soluções saturadas de sais, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, PB. A pitanga em pó foi produzida utilizando-se o processo de secagem em camada de espuma a 70°C desidratando-se a polpa de pitanga (marca Bonsuco) com adição de um emulsificante/estabilizante e um espessante. Para a obtenção das isotermas de adsorção de umidade empregou-se o método gravimétrico estático, descrito por (SPIESS & WOLF, 1987), utilizando-se soluções saturadas de sais em quatro temperaturas (10, 20, 30 e 40°C) (Tabela 1). As temperaturas foram escolhidas utilizando o critério de que as temperaturas ambiente das condições brasileiras, na maior parte do ano, se mantém dentro dessa faixa, sendo portanto as temperaturas de maior interesse do ponto de vista da produção e comercialização. As soluções de sais foram colocadas em recipientes de vidro herméticos, contendo três cadinhos, cada cadinho representando uma repetição de um total de três repetições, com aproximadamente 1g da amostra em cada um, permanecendo nesses ambientes até atingirem o equilíbrio em câmara do tipo B.O.D. O tempo de permanência das amostras na câmara variou entre 2 e 30 dias conforme o sal, e a hermeticidade dos recipientes impedia a interferência da umidade relativa (UR) do ambiente da B.O.D. sobre os cadinhos, e a UR dentro dos recipientes é igual a atividade de água vezes 100 (Tabela 1).

Tabela 1 - Atividade de água das soluções saturadas de sais

Sal	Temperatura			
	10°C	20°C	30°C	40°C
CH ₃ COOK	0,2338	0,2311	0,2161	0,2040
MgCl ₂	0,3347	0,3307	0,3244	0,3160
K ₂ CO ₃	0,4314	0,4316	0,4317	0,4320
Mg (NO ₃) ₂	0,5736	0,5438	0,5140	0,4842
NaBr	0,6215	0,5914	0,5603	0,5317
NaCl	0,7567	0,7547	0,7509	0,7468
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,8206	0,8134	0,8063	0,7991
KCl	0,8677	0,8511	0,8362	0,8232
K ₂ CrO ₄	-	-	0,9708	0,9589

Fonte: GREENSPAN (1977)

2.1 – Umidade de equilíbrio

Obtiveram-se as umidades de equilíbrio (Eq. 1) das amostras em pó, em base seca, pela relação entre a massa de água no equilíbrio e a massa seca.

$$U_{eq} = \frac{m_{\text{água}}}{m_s} \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

U_{eq} – umidade de equilíbrio (% base seca)

$m_{\text{água}}$ – massa de água adsorvida pela amostra (g)

m_s – massa seca da amostra (g)

Os cálculos dos valores da umidade de equilíbrio foram realizados para cada cadinho, e a seguir fez-se a média aritmética das três repetições para cada atividade de água.

2.2 – Modelos matemáticos

Para o ajuste matemático das isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, utilizaram-se os modelos de GAB, Oswin e Peleg, fazendo-se uso de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton e critério de convergência de 0,0001, utilizando-se o processador STATISTICA versão 5.0 (STATSOFT, 1995).

Tabela 2 - Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água.

Modelo	Equação
GAB	$U_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$
Oswin	$U_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$
Peleg	$U_{eq} = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$

Em que: U_{eq} – umidade de equilíbrio (% base seca); a_w – atividade de água; X_m – umidade na monocamada molecular; C e K – parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto; a e b – parâmetros de ajuste do modelo; k_1 , k_2 , n_1 e n_2 – constantes do modelo.

2.3 – Erros experimentais

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: o coeficiente de determinação (R^2), o erro relativo (ϵ), calculado pela Equação 2 e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 3.

$$\epsilon = \frac{U_{eq(\text{exp})} - U_{eq(\text{teor})}}{U_{eq(\text{exp})}} \quad (2)$$

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{U_{eq(\text{exp})} - U_{eq(\text{teor})}}{U_{eq(\text{exp})}} \right| \quad (3)$$

em que:

ε – erro relativo

P – desvio percentual médio (%)

$U_{eq (exp)}$ – umidade de equilíbrio experimental (% base seca)

$U_{eq (teor)}$ – umidade de equilíbrio estimada pelo modelo (% base seca)

n – número de dados experimentais

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tem-se na Tabela 3 os resultados dos valores experimentais da umidade de equilíbrio da pitanga em pó e suas respectivas atividades de água nas diferentes temperaturas. Verifica-se que para uma temperatura constante as umidades de equilíbrio (U_{eq}) aumentam com o aumento da atividade de água (a_w) e que, para uma atividade de água constante, entre as temperaturas mínima e máxima utilizadas, em

$a_w > 0,2338$, as umidades de equilíbrio diminuem com o aumento da temperatura indicando que a pitanga em pó torna-se menos higroscópica. Este comportamento é similar ao reportado por PARK et al. (2001) ao estudarem o comportamento da umidade de equilíbrio em pêra desidratada, em função da atividade de água. Constatou-se ainda que as umidades de equilíbrio máximas atingidas nas diferentes temperaturas variaram entre 69,66 e 88,92% b.s., sendo muito superiores ao valor determinado por GOMES et al. (2002) para a acerola em pó que foi de aproximadamente 25% b.s em temperaturas de 20 a 30°C, significando que a pitanga em pó é um produto muito higroscópico necessitando de embalagem impermeável quando submetida ao armazenamento nestas temperaturas.

Tabela 3 - Valores experimentais da umidade de equilíbrio (U_{eq}) da pitanga em pó em função da atividade de água (a_w), nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

Temperatura							
10°C		20°C		30°C		40°C	
a_w	U_{eq} (% b.s.)	a_w	U_{eq} (% b.s.)	a_w	U_{eq} (% b.s.)	a_w	U_{eq} (% b.s.)
0,2338	21,34	0,2311	21,32	0,2161	23,76	0,2040	23,43
0,3347	26,04	0,3307	24,72	0,3244	26,41	0,3160	24,94
0,4314	38,66	0,4316	26,69	0,4317	30,89	0,4320	30,89
0,5736	44,52	0,5438	30,88	0,5140	32,89	0,4842	33,05
0,6215	47,47	0,5914	32,81	0,5603	34,84	0,5317	35,21
0,7567	64,48	0,7547	51,63	0,7509	47,75	0,7468	48,34
0,8206	73,94	0,8134	57,21	0,8063	59,53	0,7991	59,72
0,8677	88,92	0,8511	69,66	0,8362	63,51	0,8232	63,04
-	-	-	-	0,9708	76,07	0,9589	74,77

Tem-se na Tabela 4 os valores dos parâmetros dos modelos de Peleg, GAB e Oswin, ajustados às isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P), nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C e 40°C. Observa-se que os modelos de Peleg e GAB apresentaram valores de R^2 acima de 0,97 e os menores valores de P em todas as temperaturas estudadas. SILVA et al. (2005) encontraram valores de R^2 acima de 0,99 para o modelo de GAB ajustado as isotermas de adsorção de cajá em pó nas temperaturas de 10 a 50°C.

Comparando-se o modelo de Peleg com o de GAB, verifica-se, ainda, que o modelo de Peleg apresentou os maiores valores de R^2 e os menores valores de P, indicando melhor estimativa das isotermas em relação ao modelo

de GAB. Peleg propôs esse modelo empírico com quatro parâmetros ao testar o ajuste em dados de isotermas de sorção apresentados em literatura, obtendo ajustes comparáveis ou melhores que os resultantes da aplicação do modelo de GAB para valores de atividade de água inferiores a 0,9, podendo ser usado para isotermas sigmóides e não-sigmóides. GALDINO (2003) também constatou que o modelo de Peleg apresentou melhor ajuste do que o de GAB ao avaliar as isotermas de adsorção do umbu em pó nas temperaturas de 25, 30 e 35°C. Observa-se para o modelo de Peleg que $n_1 > 1$ e $n_2 < 1$, estando de acordo com a condição de restrição do uso deste modelo na predição das isotermas (FANTINATTI et al., 2005). Verifica-se que os valores da umidade na monocamada (X_m) do modelo de GAB, entre as temperaturas de 20 e

40°C, apresentam aumento com o aumento da temperatura. Esse comportamento também foi verificado por FERREIRA & PENA (2003) para determinação de isotermas de adsorção da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*) nas temperaturas de 15°C e 35°C. Para a pitanga em pó os valores de X_m variaram entre 16% b.s e 26% b.s, significando segundo MISHRA et al. (1996) o teor de umidade para uma armazenagem segura, na qual o material tem estabilidade máxima. Nessas condições assegura-se que o material está menos sujeito a alterações deteriorativas.

Quanto ao parâmetro K do modelo de GAB, que representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, observam-se valores menores que um (1), variando entre 0,69 e 0,89. Tem-se uma diminuição desse parâmetro com o aumento da temperatura, para a faixa de temperatura entre 20 e 40°C, comportamento inverso ao do parâmetro X_m . COSTA et al. (2003) ao estudarem as isotermas de adsorção de pós de beterraba, abóbora e cenoura, desidratados em secador do tipo em leito de jorro, encontram valores de K também menores que 1,0 e próximos aos encontrados no presente trabalho, exceto para o pó de beterraba, que foi de 0,13. 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 nas temperaturas de 10, 30 e 40°C os valores foram inferiores a 200, estando dentro da faixa comumente encontrada na literatura. Na temperatura de 20°C o valor de C é muito alto, maior do que 200, estando fora da faixa geralmente encontrada na literatura, um dos motivos para este comportamento pode ser segundo MAROULIS et al. (1988) que o sucesso da aplicação do modelo de GAB depende do método de regressão empregado. BRUMOVSKY & BRUMOVSKY (1996) relataram também que os valores dos parâmetros do modelo de GAB e seus erros dependem do tipo de análise de regressão utilizado e que dentre os métodos testados por estes pesquisadores a constante C apresentou as maiores diferenças atingindo 94,8% entre os

métodos. 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. Valores de C alto também foram encontrados por ALMEIDA et al. (2004) para a isoterma de dessorção da polpa de goiaba a 40°C.

Observando-se os parâmetros de C e K, constata-se que em todas as temperaturas $K < 1$ e $C > 2$, o que de acordo com BLAHOVEC (2004) para estes valores as isotermas são do Tipo II de acordo com classificação de Brunauer.

O modelo de Oswin com dois parâmetros, o qual é empírico e baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoideal, se ajustou bem aos dados experimentais na temperatura de 10°C, apresentando coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,99. PENA et al. (1997), ao utilizarem a mesma equação para determinação das isotermas de adsorção de umidade do guaraná em pó, nas temperaturas de 15, 25 e 35°C obtiveram valores semelhantes para os coeficientes de determinação (R^2).

Na Tabela 5, encontram-se os resultados experimentais e teóricos das umidades de equilíbrio da pitanga em pó nas diferentes temperaturas, assim como os erros relativos para cada modelo. Observando o conjunto constatam-se variações máximas nos erros de cerca de 0,093 no modelo de Peleg que melhor se ajustou até 0,241 no modelo de Oswin que teve o pior ajuste. Considerando que as equações são estabelecidas para produtos com diferentes características e composições, tais discrepâncias podem ser atribuídas a essas diferenças.

Tabela 4 - Parâmetros de ajuste dos modelos das isotermas de adsorção da pitanga em pó, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros				R^2	P (%)
		k_1	n_1	k_2	n_2		
Peleg	10	103,7460	9,9830	71,5465	0,8229	0,9940	3,49
	20	91,1589	5,6321	33,3937	0,2982	0,9932	2,37
	30	63,4221	2,3199	18,1495	-0,1370	0,9871	3,64
	40	70,8423	1,8078	9,6853	-0,4343	0,9872	3,37
GAB	Temperatura (°C)	X_m	C	K	R^2	P (%)	
	10	26,2613	9,2198	0,8198	0,9903	4,17	
	20	16,1905	1949218,0	0,8961	0,9907	3,78	
	30	24,7405	15,7801	0,7139	0,9756	5,40	
	40	26,6610	10,9354	0,6976	0,9742	6,47	
Oswin	Temperatura (°C)	a	b	R^2	P (%)		
	10	38,7016	0,439436	0,9916	4,38		
	20	30,5887	0,449790	0,9770	6,91		
	30	36,0544	0,235405	0,8948	11,01		
	40	35,9169	0,258560	0,9055	10,22		

Como o modelo de GAB também apresentou bom ajuste aos dados experimentais, é um modelo teórico e recomendado pelo projeto COST 90, tem-se na Figura 1 a representação gráfica das isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, nas quatro temperaturas estudadas, ajustadas pelo o modelo de GAB. Verifica-se que não existe grande influência da temperatura sobre as umidades de equilíbrio da pitanga em pó para atividades de água inferiores a 0,3. A partir da a_w de 0,3 a curva referente à temperatura de 10°C ocupa uma posição superior em relação às demais temperaturas, todavia a curva na temperatura de 20°C encontra-se em posição inferior as temperaturas de 10°C, 30°C e 40°C até uma a_w próxima a 0,8. Esta inversão na posição da curva a 20°C, tem sido reportada na literatura para níveis de a_w e temperaturas diferentes dependendo do teor de açúcares do produto (SARAVACOS et al., 1986; TSAMI et al., 1990). Constata-se, ainda, que em baixas a_w a pitanga em pó adsorve pequenas quantidades de água e em altas a_w existe um aumento grande da quantidade água adsorvida. Este tipo de comportamento foi apontado por TELIS & SOBRAL (2001) como típico de alimentos rico em açúcares. GIOIELLI & PITOMBO (1998) relataram que nem sempre as isotermas de sorção em diversas temperaturas apresentam separação consistente, ao longo de toda a curva, sendo muito freqüente observar-se um

cruzamento entre as curvas em alta atividade de água. Observando-se as isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó na Figura 1, classificadas como do Tipo II de acordo com BRUNAUER et al. (1938), pode-se, segundo RODRIGUES (2003), estudar o tipo de embalagem mais adequada à capacidade de adsorção da água pelo alimento, e estimar o grau de desidratação do alimento perante as mudanças de temperatura que podem ocorrer durante o armazenamento.

Tabela 5 - Valores experimentais e teóricos da umidade de equilíbrio (% b.s.) e erros relativos para as diferentes temperaturas e modelos

Temp. (°C)	a_w	$U_{eq} (exp)$	GAB		Peleg		Oswin	
			$U_{eq} (teor)$	ϵ	$U_{eq} (teor)$	ϵ	$U_{eq} (teor)$	ϵ
10	0,2338	21,34	22,29	-0,045	21,04	0,014	22,97	-0,077
	0,3347	26,04	28,13	-0,080	28,46	-0,093	28,62	-0,099
	0,4314	38,66	33,91	0,123	35,26	0,088	34,28	0,113
	0,5736	44,52	44,18	0,008	45,20	-0,015	44,09	0,010
	0,6215	47,47	48,48	-0,021	48,83	-0,029	48,13	-0,014
	0,7567	64,48	64,87	-0,006	62,99	0,023	63,72	0,012
	0,8206	73,94	76,23	-0,031	74,98	-0,014	75,49	-0,021
	0,8677	88,92	87,16	0,020	88,65	0,003	88,44	0,005
20	0,2311	21,32	20,42	0,042	21,60	-0,013	17,81	0,165
	0,3307	24,72	23,01	0,069	24,19	0,022	22,27	0,099
	0,4316	26,69	26,40	0,011	26,80	-0,004	27,02	-0,012
	0,5438	30,88	31,26	-0,012	30,53	0,011	32,75	-0,061
	0,5914	32,81	35,16	-0,072	33,94	-0,034	36,85	-0,123
	0,7547	51,63	50,01	0,031	49,39	0,043	50,70	0,018
	0,8134	57,21	59,72	-0,044	59,88	-0,047	59,30	-0,037
	0,8511	69,66	68,22	0,021	68,59	0,015	66,99	0,038
30	0,2161	23,76	21,71	0,086	24,21	-0,019	26,62	-0,120
	0,3244	26,41	26,60	-0,007	25,83	0,022	30,33	-0,149
	0,4317	30,89	31,31	-0,014	29,40	0,048	33,79	-0,094
	0,5140	32,89	35,23	-0,071	33,43	-0,016	36,53	-0,111
	0,5603	34,84	37,65	-0,081	36,19	-0,039	38,17	-0,096
	0,7509	47,75	50,56	-0,059	51,51	-0,079	46,75	0,021
	0,8063	59,53	55,70	0,064	57,18	0,040	50,44	0,153
	0,8362	63,51	58,87	0,073	60,48	0,048	52,93	0,167
0,9708	76,07	78,40	-0,031	77,43	-0,018	82,29	-0,082	
40	0,2040	23,43	20,04	0,145	23,32	0,005	25,26	-0,078
	0,3160	24,94	27,97	-0,122	26,27	-0,053	30,95	-0,241
	0,4320	30,89	31,49	-0,019	29,48	0,046	33,46	-0,083
	0,4842	33,05	34,14	-0,033	32,37	0,021	35,33	-0,069
	0,5317	35,21	36,69	-0,042	35,36	-0,004	37,12	-0,054
	0,7468	48,34	51,34	-0,062	52,79	-0,092	47,51	0,017
	0,7991	59,72	56,17	0,060	57,91	0,030	51,33	0,141
	0,8232	63,04	58,65	0,070	60,38	0,042	53,46	0,152
0,9589	74,77	77,05	-0,031	75,53	-0,010	81,09	-0,085	

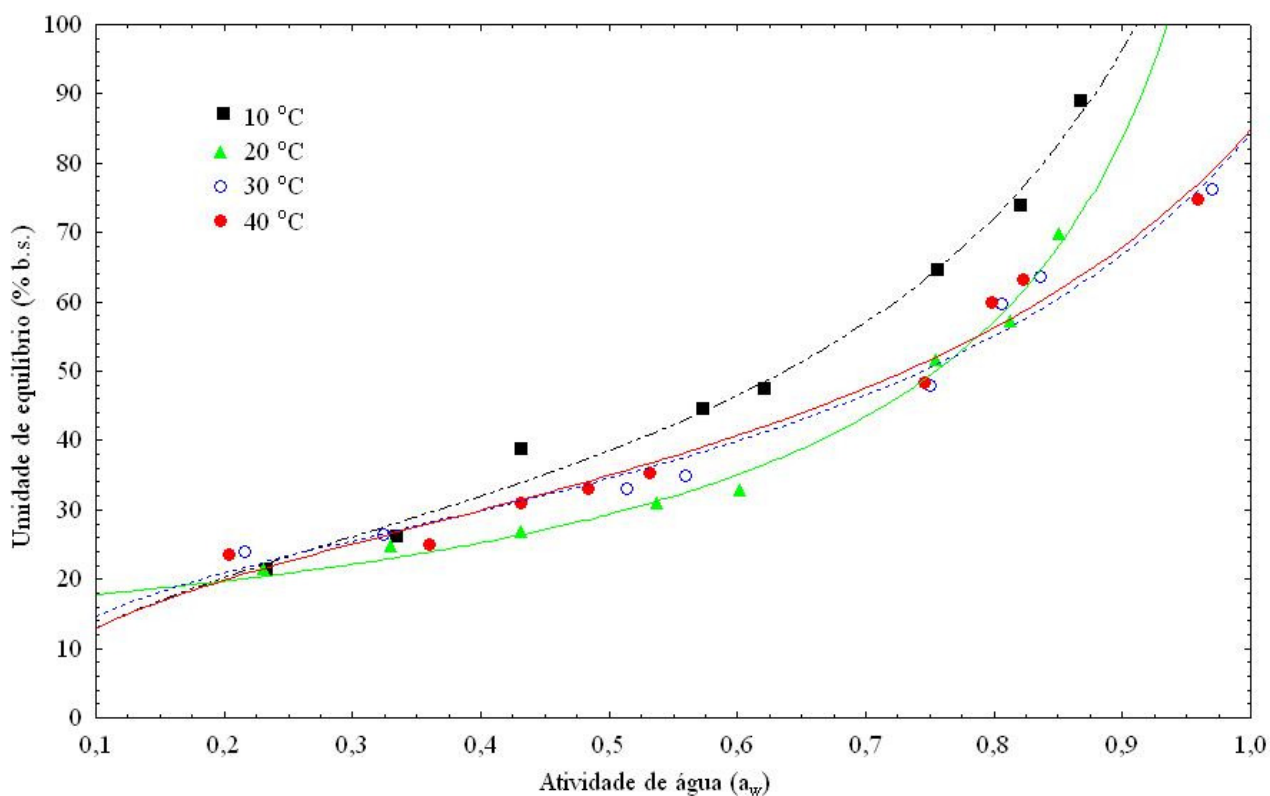


Figura 1 - Isothermas de adsorção de umidade da pitanga em pó, ajuste pelo modelo de GAB

4 – CONCLUSÕES

A pitanga em pó apresentou alta higroscopicidade. Os equilíbrios higroscópicos foram atingidos entre tempos mínimos e máximos de 2 e 30 dias. O modelo de Peleg resultou nos melhores ajustes aos dados experimentais, seguido pelo modelo de GAB, ambos podendo representar as isothermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. As isothermas foram classificadas como sendo do Tipo II.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J.P.G.; ARAÚJO, M.E.R.; SILVA, F.L.H.; ALMEIDA, S.A. Comparação de modelos matemáticos do calor isostérico de dessorção em polpa de goiaba. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v. 29, n. 1, p. 28-34, 2004.
- BEZERRA, J.E.F.; SILVA, J.R.J.F.; LEDERMAN, I.E. Pitanga (*Eugenia uniflora* L.). *Jaboticabal*: Funep, 2000. 30 p. (Série Frutas Nativas, 1).
- 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.
- BRUMOVSKY, J.O.; BRUMOVSKY, L.A. Evaluación de los métodos para determinar las constantes de la ecuación de la isoterma de G.A.B. In: HÜBINGER, M.; MURR, F.X.; AGUILERA, J.M. *Propiedades físicas de los alimentos*. Valencia: CYTED/UNICAMP/UPV, 1996. p. 216-223.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.
- CHEN, C.; JAYAS, D.S. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. *Transactions of ASAE*, v. 41, n. 6, p. 1755-1760, 1998.
- COSTA, J.M.C.; MEDEIROS, M.F.D; MATA, A.L.M.L. Isothermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos

- pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.
- EPSTAIN, L.H.H. Pitanga, gostosa e perfumada. *Bahia Agrícola*, v. 2, n. 2, p. 13-16, 1998.
- FANTINATTI, J.B.; USBERTI, R.; BROD, F.P.R. Isotermas de sorção de sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 2, p. 6-11, 2005.
- FERREIRA, C.D.; PENNA, R.S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.
- FERNANDEZ, C.S. Isotermas de sorção em substâncias alimentares. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 1., 1995, Campinas. *Anais...* Campinas: FEA/UNICAMP-CYTED-SBCTA-Ital, 1995.
- GALDINO, P.O. *Desidratação de polpa de umbu*. Universidade Federal de Campina Grande - Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2003, 92 f. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola).
- GIOIELLI, L.A.; PITOMBO, R.N.M. Conservação de alimentos pelo controle da umidade. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. *Fundamentos de tecnologia de alimentos*. São Paulo: Atheneu, 1998. p. 123-152.
- GOMES, R.P. *Fruticultura brasileira*. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1975. 446 p.
- 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.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.
- IGLESIAS, H.A.; CHIRIFE J. *Handbook of food isotherms: water sorption parameters for food components*. 1.ed. New York: Academic Press. 1982. 374 p.
- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. *Food Technology*, v. 22, p. 263-272, 1986.
- MAROULIS, Z.B.; TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D. Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. *Journal of Food Engineering*, v. 7, n. 1, p. 63-78, 1988.
- MISHRA, V.K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulce *Palmaria palmata* powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 20, n. 1, p. 25-39, 1996.
- MOREY, V.W.F.; MERONUCK, R.A.; LANG, J.P. Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. *Transactions of ASAE*, v. 38, n. 4, p. 1139-1145, 1995.
- PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (*pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 19, n. 3, p. 326-32, 2001.
- PENNA, R.S.; RIBEIRO, C.C.; GRANDI, J.G. Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-paramétricos que predizem isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 17, n. 3, p. 229-232, 1997.
- PENNA, R.S.; RIBEIRO, C.C.; GRANDI, J.G. Aplicação de modelos matemático bi e tripamétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.
- RODRIGUES, I. A água. In: CASTRO, A. G. (Coord.) *A química e a reologia no processamento dos alimentos*. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. p. 15-36.

SAMANIEGO-ESGUERRA, C.M.; BOAG, I.F.; ROBERTSON, G.L. Comparison of regression methods for fitting the Gab model to the moisture isotherms of some dried fruit and vegetables. *Journal of Food Engineering*, v. 13, n. 2, p. 115-133, 1991.

SARAVACOS, G.D.; TSIOURVAS, D.A.; TSAMI, E. Effect of temperature on the water adsorption isotherms of sultana raisins. *Journal of Food Science*, v. 51, n. 2, p. 381-383, 1986.

SILVA, Y.C.; MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E.M. Atividade de água em pó microencapsulado com amido modificado: estudo de dois modelos matemáticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS, 1., 2005, João Pessoa. *Anais...* Areia: UFPB, 2005. CD.

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.

STATSOFT. *Statistica for Windows computer program manual*. Tulsa : StatSoft, 1995.

TELIS, V.R.N.; SOBRAL, P.J.A. Glass transitions and state diagram for freeze-dried pineapple. *Lebensmittel Wissenschaft u. Technology*, v. 34, n. 4, p. 199-205, 2001.

TREYBAL, R.E. Drying. In: TREYBAL, R.E. 3. ed. *Mass transfer operations*. New York. McGraw-Hill, 1963, p. 569-575.

TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D.; MAROULIS, Z.B. Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. *Journal of Food Science*, v. 55, n. 6, p. 1594-1597, 1990.

VIDAL, D.; FITO, P.; GRAS, M.L.; GIMENO, V. Estudio de la actividad del agua de dátiles españoles tipo candil. In: FITO, P.; MULET, A.; CHIRALT, A.; ANDRÉS, A. *Ingeniería de alimentos nuevas fronteras en el siglo XXI*:

deshidratación de alimentos y propiedades relacionadas. UPV, 2003. v. 2, p. 107-112.

WOLF, W.; SPIESS, W.; JUNG, G. *Sorption isotherms and water activity of food material*. 1. ed. London: Elsevier Science Publishing Co., 1985.239 p.

AGRADECIMENTOS

A Indústria de suco Bonsuco (Bonito – Pe), pela doação da polpa de pitanga.

[1] Parte integrante da dissertação de mestrado do primeiro autor.

[2] Engenheira Agrícola, Doutoranda em Engenharia de Processos, CCT/UFCG, Campina Grande - PB, (0XX83) 3310-1549, e-mail: hofsky@gmail.com

[3] Engenheiro Agrícola, Prof.. Adjunto, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, CTRN/UFCG, Campina Grande – PB. CEP. 58.109-970, E-mail: rossana@deag.ufcg.edu.br