



Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada

Teresinha B. Moreira¹, Érica M. F. F. Rocha², Marcos R. A. Afonso¹ & José M. C. da Costa¹

RESUMO

A qualidade e a vida útil dos pós de frutas dependem de seus teores de água e da maneira como esta se encontra ligada ao alimento. O comportamento higroscópico de alimentos em pó pode ser avaliado através de suas isotermas de sorção. O objetivo deste trabalho foi avaliar modelos matemáticos para representação da isoterma de sorção do pó de manga liofilizada e avaliar as características físico-químicas da polpa de manga in natura e seu pó liofilizado. Foram feitas as análises de umidade, pH, sólidos solúveis, acidez total titulável, ácido ascórbico e cor. Os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais foram BET, GAB, Henderson e Oswin nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C. O melhor ajuste aos dados experimentais foi obtido pelo modelo de GAB. O modelo de GAB apresentou erros médios de 4,092 a 5,175% e valores de R^2 entre 0,9986 a 0,9993 para as temperaturas estudadas. As isotermas do pó da polpa de manga liofilizada apresentaram formato característico do tipo III.

Palavras-chave: higroscopicidade, secagem, pó de frutas

Behavior of adsorption isotherms of freeze-dried mango pulp powder

ABSTRACT

The content of water and how it binds to food influence the quality and shelf life of fruit powder. The hygroscopic behavior of powder food can be evaluated by the study of moisture sorption isotherms. This study aimed to evaluate some mathematical models to represent the sorption isotherm of freeze-dried mango pulp powder and to evaluate physicochemically mango pulp and mango pulp powder. The analyses were moisture, pH, total soluble solids, total titratable acidity, ascorbic acid and color. The models adjusted to data were BET, GAB, Henderson and Oswin models at 25, 30 and 35 °C. The GAB model showed the best fit. The GAB model showed mean errors of 4.092 to 5.175% and R^2 values from 0.9986 to 0.9993 for the all temperatures. The isotherms of freeze-dried mango pulp showed characteristic shape of type III.

Key words: hygroscopic, drying, fruit powder

¹ UFC, Av. Mister Hull, 2977, Campus do Pici, CEP 60021-970, Fortaleza, CE. Fone: (85) 33669751. Email: teresinhamoreira@yahoo.com.br, m.r.a.afonso@gmail.com, correia@ufcg.br

² IFRN, BR 405 km 154, Bairro Chico Cajá, CEP 59900-000, Pau dos Ferros, RN. Fone: (84) 4005-4109. Email: emffrocha@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O Brasil possui situação privilegiada, no que diz respeito à produção de frutas devido à sua grande área territorial e condições climáticas favoráveis para a fruticultura. A fruticultura é, hoje, um dos segmentos de maior importância da agricultura nacional respondendo por mais de 35% da produção agrícola. A região Nordeste tem-se destacado na produção de frutas tropicais como a manga e a acerola em virtude das condições climáticas favoráveis.

A manga (*Mangifera indica*, L.) é considerada uma das frutas tropicais mais importantes cultivadas no mundo. Além de seu consumo in natura existe um grande número de produtos industrializados de manga os quais representam fontes de vitaminas A e C (Silva et al., 2002). No entanto, devido à grande perecibilidade, é difícil o aumento da vida útil de seus frutos frescos além de exigir cuidados na sua conservação e transporte (Bezerra et al., 2010). Desta forma, o uso de uma tecnologia de conservação é útil para aumentar a disponibilidade e o consumo da manga.

A secagem ou desidratação de frutas é um excelente método para o aumento da vida útil e maior facilidade na comercialização desses alimentos. Permite a conversão de produtos perecíveis em estáveis em razão da redução da atividade de água evitando contaminação microbiológica e reações bioquímicas indesejáveis (Marques et al., 2009).

Os produtos de frutas em pó são geralmente muito higroscópicos. Higroscopicidade é a habilidade do alimento em pó absorver umidade da umidade relativa do ambiente (Jaya & Das, 2004).

O conhecimento das isotermas de sorção de umidade dos alimentos tem aplicação na predição do tempo de secagem, vida útil do produto, determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (Alexandre et al., 2007). Muitos modelos matemáticos têm sido propostos para descrever isotermas de adsorção de alimentos. No entanto, a maioria dos diferentes modelos, empíricos, semiempíricos ou teóricos, apenas são precisos num limitado intervalo de atividade de água ou para alguns tipos de alimento. Não há uma equação geral para todas as isotermas dos alimentos pois a atividade de água depende bastante da sua composição e da interação dos diferentes constituintes com a água em condições de equilíbrio termodinâmico (Park, et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento higroscópico dos pós da polpa de manga liofilizada através das isotermas de adsorção obtidas pelo ajuste dos modelos de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer), BET (Brunauer-Emmett-Teller), Henderson e Oswin. Além disto, as características físico-químicas do pó e da polpa in natura de manga foram determinadas e discutidas.

MATERIAL E MÉTODOS

Polpas de manga da variedade Tommy Atkins, foram adquiridas em uma indústria de processamento localizada na cidade de Fortaleza, coletadas na própria embalagem de

comercialização (polietileno) contendo 100 g e mantidas a -18 °C até início dos experimentos.

As amostras foram previamente congeladas até -38 °C durante 24 h; a seguir, foram desidratadas em liofilizador da marca TERRONI, modelo LS3000. As amostras secas foram acondicionadas em filme plástico de polietileno/nylon (100 g m⁻²) ao abrigo da luz.

Na polpa de manga in natura e no pó obtido pela secagem foram realizadas, em triplicata, as seguintes análises físico-químicas de acordo com o IAL (2005): umidade; pH (método potenciométrico; a determinação de pH do pó foi realizada com diluição 1:10, pó:água destilada); sólidos solúveis (método refratométrico); acidez total titulável (% em ácido cítrico); ácido ascórbico e cor, através de determinação no modo CIE L*a*b* (utilizou-se colorímetro Minolta, modelo CR410). O parâmetro L* é uma medida da luminosidade de um objeto e varia do 0 (para o preto) até o 100 (para o branco); a* é uma medida do vermelho (a* positivo) ou do verde (a* negativo); b* é uma medida do amarelo (b* positivo) ou do azul (b* negativo).

Os resultados das análises físico-químicas foram avaliados por meio de análise estatística descritiva dos dados usando-se a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (p < 0,05).

Para as determinações das isotermas de adsorção do pó obtido na secagem, foi empregado o método gravimétrico estático. Amostras, em triplicata, de 0,2 g dos pós foram pesadas em cadinhos de alumínio. Os cadinhos foram colocados dentro de células de vidro fechadas contendo soluções saturadas de sais (CH₃COOK 21%, K₂CO₃ 44%, NaBr 58%, SnCl₂ 76%, KCl 84%, BaCl₂ 90%) preparadas de acordo com Greespan (1977). As amostras foram pesadas a cada 24 h até que não houvesse mais variação de massa, detectada através de pesagem numa balança analítica determinando-se, desta forma, a massa de equilíbrio. Após a detecção do equilíbrio a atividade de água (a_w) de cada amostra foi medida nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C com um medidor de atividade de água modelo Aqualab 4TEVe posteriormente, foram levadas à estufa de secagem a vácuo com temperatura de 60 °C para determinação da massa seca de cada amostra.

A umidade de equilíbrio (X_{eq}) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca inicial através da Eq. 1.

$$X_{eq} = \frac{m_o - m_s}{m_s} \quad (1)$$

donde:

- X_{eq} - umidade de equilíbrio, g H₂O g⁻¹ em base seca
- m_o - massa da amostra no equilíbrio, g
- m_s - massa da amostra seca, g

Para obtenção das isotermas de adsorção, os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais.

Para a realização dos ajustes foi utilizado o software Statistica versão 7.0. Nas avaliações dos modelos ajustados

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para o ajuste da isoterma de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada

| Modelos | Equações* |
|-----------|---|
| GAB | $X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (2)$ |
| BET | $X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad (3)$ |
| Henderson | $X_{eq} = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^a \quad (4)$ |
| Oswin | $X_{eq} = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b \quad (5)$ |

* X_m - Umidade de equilíbrio ($\text{g H}_2\text{O g}^{-1}$); X_m - Conteúdo de água na monocamada molecular ($\text{g H}_2\text{O g}^{-1}$); a_w - Atividade de água; n - Número de camadas moleculares; C , K - Constantes de sorção; a , b - Parâmetros de ajuste

foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio médio relativo (E) (Eq. 6).

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(M_i - M_p)}{M_i} \right| \quad (6)$$

sendo:

- E - erro médio relativo (%)
- M_i - valor experimental
- M_p - valor predito pelo modelo
- n - número de dados experimentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas da polpa de manga in natura e no pó obtidos por liofilização se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados médios e desvio-padrão das análises físico-químicas realizadas nas amostras de polpa in natura e pó de manga obtido por liofilização

| Parâmetros | Polpa | Pó |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Umidade (%) | 85,48 ^a ± 0,370 | 3,14 ^b ± 0,0350 |
| pH | 3,73 ^a ± 0,031 | 3,75 ^a ± 0,0058 |
| Acidez titulável (% ác. cítrico) | 0,47 ^a ± 0,057 | 3,28 ^b ± 0,2900 |
| Sólidos Solúveis (°Brix) | 12,80 ^a ± 0,400 | 76,30 ^b ± 1,1500 |
| Ácido ascórbico ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) | 34,37 ^a ± 1,700 | 52,76 ^b ± 0,2400 |
| Ácido ascórbico ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)** | 236,71 ^a ± 11,71 | 54,47 ^b ± 0,2500 |
| L | 65,80 ^a ± 0,075 | 52,20 ^b ± 0,7400 |
| a | 9,16 ^a ± 0,110 | -2,01 ^b ± 0,5300 |
| b | 40,20 ^a ± 0,092 | 19,20 ^b ± 0,2300 |

* Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey

** Valores expressos em matéria seca

O teor de umidade da polpa de manga in natura obtida (85,48%, base úmida) foi ligeiramente acima da encontrada por Marques et al. (2006) cujo valor foi de 80,83%. Bezerra et al. (2010) obtiveram valores próximos aos deste trabalho, 86,02 e 81,93% para polpas de manga cv Coité e cv Espada,

respectivamente. Essas diferenças podem ser explicadas pelos diversos tipos de cultivares e condições de plantio dos frutos. A umidade do pó liofilizado (3,14%) se mantém dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA para produtos desidratados. A Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005 da ANVISA preconiza que produtos de frutas secos ou desidratados devem apresentar no máximo 25% de umidade (Brasil, 2005a). Na liofilização de polpa de manga Marques et al. (2006) obtiveram um pó com 7,06%, valor acima ao deste trabalho porém explicado pelo tempo de liofilização utilizado por esses autores, 12 h, enquanto o deste trabalho foi de 24 h.

Com relação ao pH não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre a polpa in natura e o pó liofilizado comportamento este semelhante ao encontrado por Oliveira et al. (2011) que na liofilização de sapoti não constatarem diferença significativa entre o pH do fruto in natura e do pó. O valor de pH da polpa de manga (3,73) está de acordo com os encontrados por Machado et al. (2007) e Bezerra et al. (2011) que variaram de 3,33 até 4,18.

Os resultados da acidez titulável apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre o pó liofilizado e a polpa. A acidez do pó foi superior à da polpa in natura devido à concentração dos ácidos orgânicos durante a secagem. Bezerra et al. (2011) encontraram acidez de 0,40% para a polpa de manga Tommy Atkins, ligeiramente inferior à deste trabalho, que foi 0,47%; já Machado et al. (2007) encontraram, em média, 0,62%. Com relação aos sólidos solúveis (°Brix), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre a polpa e o pó de manga. Uma vez que grande parte da água foi retirada durante a secagem, a concentração dos sólidos solúveis aumentou chegando a 76,30 °Brix. Na polpa in natura o resultado de 12,80 °Brix é semelhante ao reportado por Bezerra et al. (2010) com 13,08 °Brix. Machado et al. (2007) encontraram, em média, 12,17 °Brix. Essas variações podem ser explicadas pela diversidade de cultivares e condições de plantio.

Os valores de ácido ascórbico diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre a polpa in natura e o pó. De acordo com o resultado expresso em matéria seca, houve uma redução de 76,99% do teor de ácido ascórbico entre a polpa in natura e seu pó liofilizado; comportamento semelhante foi observado por Oliveira et al. (2011) em que o sapoti liofilizado teve redução de ácido ascórbico de 66,85% em relação ao in natura. Segundo Sagar & Suresh (2010) a preservação da vitamina C durante a liofilização é maior se comparada a métodos de secagem que utilizam altas temperaturas porém a degradação de vitamina C ocorre tanto pelas altas temperaturas como pela degradação oxidativa; assim, a redução nos valores de ácido ascórbico nos produtos liofilizados pode ser explicada pela alta porosidade promovida por esse tipo de secagem, expondo o produto ao oxigênio e posterior degradação oxidativa. De acordo com Brasil (1998) tanto a polpa de manga como o pó obtido pela liofilização podem ser considerados fontes de vitamina C visto que a ingestão diária recomendada (IDR), segundo Brasil (2005b), é de 45 mg. Bezerra et al. (2011) obtiveram valores próximos aos deste trabalho para as polpas de manga cv. Rosa e cv. Tommy Atkins, respectivamente, 52,11 e 36,24 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

Na análise da cor da polpa in natura, segundo os parâmetros L^* , a^* e b^* verificou-se predominância da cor amarela

($b^* = 40,20$) sobre a vermelha ($a^* = 9,16$) e no pó obtido predominância da cor amarela ($b^* = 19,20$) sobre a verde ($a^* = -2,01$). Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores para polpa in natura e o pó, a luminosidade e a cor amarela diminuíram de intensidade e a cor vermelha desapareceu após a secagem. Os resultados da cor para polpa são semelhantes aos obtidos por Benevides et al. (2008) cujos valores para L^* , a^* e b^* foram, respectivamente, 58,00, 15,91 e 49,08.

Os ajustes dos modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin aos dados experimentais do pó da polpa de manga liofilizada são apresentados na Tabela 3. Segundo Lomauro et al. (1985), os erros médios relativos (E) inferiores a 10% indicam um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. Desta forma, todos os modelos propostos se ajustaram bem aos dados experimentais. Os valores de (E) variaram de 4,09 a 8,89% e os coeficientes de correlação (R^2) de 0,9951 a 0,9990

Tabela 3. Resultados dos ajustes dos modelos das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada

| Modelos | Parâmetros | Temperaturas (°C) | | |
|-----------|------------|-------------------|---------|---------|
| | | 25 | 30 | 35 |
| GAB | X_m | 0,1171 | 0,1304 | 0,1360 |
| | C | 1,3493 | 1,0612 | 1,0681 |
| | K | 0,9648 | 0,9547 | 0,9502 |
| | R^2 | 0,9990 | 0,9993 | 0,9986 |
| | E (%) | 4,8010 | 4,0920 | 5,1750 |
| BET | X_m | 0,0985 | 0,1033 | 0,1061 |
| | C | 1,7548 | 1,4540 | 1,4860 |
| | n | 27,0900 | 25,2000 | 24,0200 |
| | R^2 | 0,9990 | 0,9992 | 0,9988 |
| | E (%) | 5,1580 | 4,4660 | 5,5460 |
| Henderson | a | 0,6412 | 0,6318 | 0,6431 |
| | b | 2,7420 | 2,7080 | 2,6970 |
| | R^2 | 0,9952 | 0,9972 | 0,9963 |
| | E (%) | 8,8860 | 6,5650 | 7,2180 |
| | a | 0,1287 | 0,1272 | 0,1320 |
| Oswin | b | 0,8442 | 0,8578 | 0,8481 |
| | R^2 | 0,9986 | 0,9983 | 0,9976 |
| | E (%) | 5,6130 | 6,0670 | 6,4660 |

O modelo de GAB foi, dentre os modelos ajustados, aquele que melhor representou a isoterma de adsorção do pó, apresentando os menores valores de erros médios relativos (E) e altos coeficientes de correlação (R^2). O modelo GAB também foi o que melhor ajustou as isotermas de adsorção aos trabalhos de Bezerra et al. (2010) nos pós das polpas de manga cv. Coité e cv. Espada; Bezerra et al. (2011) nos pós das polpas de manga cv. Rosa e cv. Tommy Atkins e Melo et al. (2011) em polpa de buriti; o segundo melhor ajuste foi obtido pelo modelo de BET seguido dos modelos de Oswin e Henderson (Tabela 2). De acordo com Andrade et al. (2011) o modelo de BET é aplicável entre atividades de água de 0,05 e 0,45 porém neste trabalho se obtiveram bons resultados para toda a faixa de atividade de água aplicada.

Ajustes realizados para obtenção das isotermas através dos modelos matemáticos de GAB e BET permitem um entendimento físico da teoria da adsorção (Andrade et al., 2011). Através desses modelos é possível uma avaliação do conteúdo de umidade da monocamada (X_m) dos alimentos.

Segundo Goula et al. (2008) a quantidade de umidade na monocamada é aquela que 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. Neste trabalho a elevação da temperatura de 25 a 35 °C resultou em um incremento dos valores da umidade na monocamada (X_m) nos modelos de GAB e BET (Tabela 3). Comportamento similar foi reportado por Alcântara et al. (2009) que observaram no modelo de BET um aumento de X_m entre a faixa de 25-30 e 35-40 °C. O aumento da umidade na monocamada com aumento da temperatura não é comum a todos os alimentos. Tal comportamento pode ser explicado visto que, de acordo com Ferreira & Pena (2003) um aumento na temperatura pode provocar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando maior quantidade de sítios ativos com afinidade por moléculas de água ou aumentar a solubilidade de solutos presentes no produto, retendo mais moléculas de água na monocamada.

Os valores da constante C nos modelos de GAB e BET para o pó da polpa de manga seguem uma tendência de diminuição com aumento da temperatura de 25 para 30 °C (Tabela 3). Essa diminuição é esperada e pode ser explicada visto que, de acordo com Gabas et al. (2007) as baixas temperaturas favorecem a força de interação entre adsorvato-adsorvente causando um incremento nos valores da constante C. De forma semelhante, os valores da constante K no modelo de GAB, diminuíram com o aumento da temperatura entre 25 e 35 °C. Timmermann (2003) afirma que a constante K do modelo de GAB aumenta com a força de interação entre adsorvato-adsorvente e valores maiores que 1 são fisicamente inadequados indicando uma sorção infinita. Neste trabalho todos os valores dessa constante foram inferiores a 1 (Tabela 3).

Segundo Alcântara et al. (2009) e Blahovec (2004) para representação das isotermas de adsorção de um alimento os parâmetros do modelo de Henderson deverão apresentar valores de $a > 0$ e $b > 1$; já para o modelo de Oswin os valores devem ser $a > 0$ e $0 < b < 1$ (); neste estudo os valores dos parâmetros 'a' e 'b', em ambos os modelos, estão de acordo com esta afirmação (Tabela 3).

A Figura 1 apresenta as isotermas de adsorção do pó da polpa de manga segundo ajuste pelo modelo de GAB. Observa-se um aumento da umidade de equilíbrio (X_{eq}) com o aumento da atividade de água (a_w) e um comportamento característico típico de isotermas do tipo III de conformidade com IUPAC (1985). Este comportamento da isoterma é característico de alimentos ricos em compostos solúveis. O mesmo comportamento foi observado por Gabas et al. (2007) no estudo das isotermas do pó de polpa de abacaxi, por Pedro et al. (2010) em polpa de maracujá e por Gabas et al. (2007) em pó da polpa de abacaxi. As isotermas que apresentam uma zona mais plana na sua primeira parte, ou seja, em formato de "J", são típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, como açúcares (Al-Muhtaseb et al., 2004).

A escolha das temperaturas para representação das isotermas da Figura 1, 25, 30 e 35 °C, é justificada pela condição do ambiente ao qual este produto poderá ser

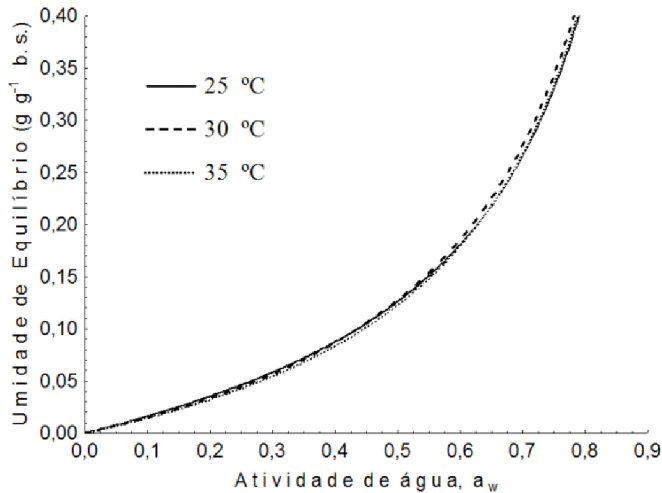


Figura 1. Isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25, 30 e 35 °C para do pó da polpa de manga liofilizada

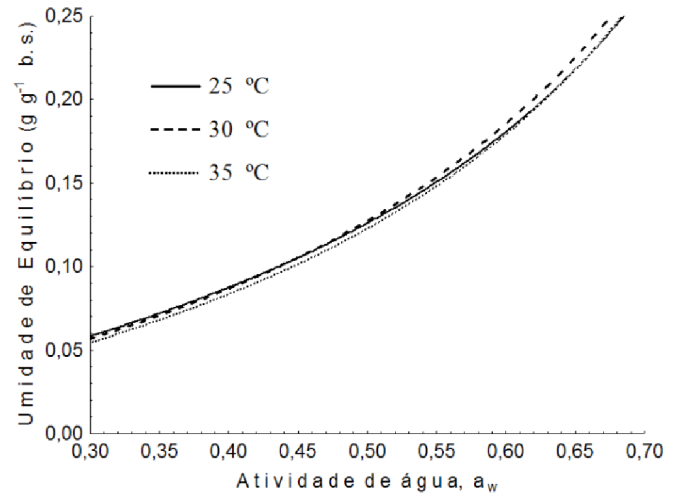


Figura 2. Detalhe da inversão das isotermas de adsorção segundo modelo de GAB a 25, 30 e 35 °C para do pó da polpa de manga liofilizada

exposto em sua comercialização. Através da Figura 1 pode-se observar que as isotermas apresentam condições de atividade de água e umidade de equilíbrio muito próximas devido à estreita faixa de temperatura avaliada. Este comportamento também foi observado no trabalho de Alcântara et al. (2009) nas isotermas do pedúnculo de caju secado nas temperaturas entre 25 e 40 °C.

A temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio entre o vapor e a fase adsorvida; em geral, um aumento na temperatura ocasiona uma diminuição na umidade de equilíbrio. Esta tendência pode ser atribuída à redução do número total de sítios ativos disponíveis para ligação com a molécula de água em virtude das mudanças de ordem física e/ou química (Goula et al., 2008). No estudo das isotermas do pó de amido de batata esse comportamento foi verificado, ou seja, um aumento da temperatura ocasionou diminuição da umidade de equilíbrio em uma mesma atividade de água (Al-Muhtaseb et al., 2004). O mesmo comportamento foi observado por Goula et al. (2008) nas isotermas do pó da polpa de tomate.

Diversos pesquisadores, entretanto, têm observado um comportamento diferente nas isotermas de sorção de alimentos ricos em açúcares cristalinos, como glicose (Goula et al., 2008). Este comportamento foi constatado neste trabalho. Ocorreu inversão do efeito da temperatura entre as isotermas de 25 e 30 °C, sobre a umidade de equilíbrio do pó na faixa de atividade de água entre 0,45 e 0,50 e entre as isotermas de 25 e 35 °C, na faixa de atividade de água entre 0,60 e 0,65, ou seja, a partir dessas faixas de atividade de água um aumento da temperatura resultou, para uma mesma atividade de água, em um aumento na umidade de equilíbrio (Figura 2). Comportamento semelhante foi observado no estudo das isotermas de polpa de abacaxi por Gabas et al. (2007). De acordo com Tsami et al. (1999) muitos trabalhos sobre isotermas apresentam uma inversão do efeito da temperatura em atividades de água acima de 0,7 para alimentos com alto conteúdo de açúcares, como as frutas. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da solubilidade dos açúcares na água pelo incremento na temperatura (Pedro et al., 2010).

CONCLUSÕES

1. Os resultados das análises físico-químicas demonstraram que a secagem por liofilização resultou em um pó dentro dos padrões para alimentos desidratados e fonte de vitamina C.
2. As isotermas do pó da polpa de manga liofilizada são bem ajustadas pelo modelo de GAB e caracterizadas como do tipo III; apresentam inversão de comportamento em função do aumento da temperatura.

LITERATURA CITADA

- Alcântara, S. R.; Almeida, F. de A. C.; Silva, F. L. H. da; Gomes, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.81-87, 2009.
- Alexandre, H. V.; Figueirêdo, R. M. F. de; Queiroz, A. J. de M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, p.11-20, 2007.
- Al-Muhtaseb, A. H.; McMinn, W. A. M.; Magee, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: Mathematical description of experimental data. *Journal of Food Engineering*, v.61, p.297-307, 2004.
- Andrade, R. D.; Lumes, R.; Pérez, C. E. Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* v.18, p.325-334, 2011.
- Benevides, S. D.; Ramos, A. M.; Stringheta, P. C.; Castro, V. C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.28, p.571-578, 2008.
- Bezerra, T. S.; Costa, J. M. C.; Afonso, M. R. A.; Maia, G. A.; Clemente, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. *Revista Ceres*, v.58, p.278-283, 2011.
- Bezerra, T. S.; Costa, J. M. C.; Afonso, M. R. A.; Maia, G. A.; Rocha, E. M. F. F. Comportamento higroscópico de pós de manga das variedades coité e espada e avaliação das características físico-químicas. *Ciência Rural*, v.40, p.2186-2192, 2010.

- Blahovec, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. *Journal of Food Engineering*, v.65, p.489-495, 2004.
- Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasil. Portaria n.27, de 13 de janeiro de 1998. Dispõe sobre o “Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar”, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998.
- Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n. 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis”, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005a.
- Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada -RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o “Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais”, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005b.
- Ferreira, C. D.; Pena, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.23, p.251-255, 2003.
- Gabas, A. L.; Telis, V. R. N.; Sobral, P. J. A.; Telis-Romero, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, v.82, p.246–252, 2007.
- Goula, A. M.; Karapantsios, T. D.; Achilias, D. S.; Adamopoulos, K.G.. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, v.85, p.73-83, 2008.
- IAL - Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v.1, 2005. 12p.
- IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting Physisorption data for gas solid. systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure & Applied Chemistry*, v.57, p.603-619, 1985.
- Jaya, S.; Das, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. *Journal of Food Engineering*, v.63, p. 125-134, 2004.
- Lomauro, C. J.; Bakshi, A. S.; Labuza, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. *Lebensmittel- Wissenschaft & Technologie*, v.18, p.111-117, 1985.
- Machado, S. S.; Tavares, J. T. Q.; Cardoso, R. L.; Machado, C. S.; Souza, K. E. P. Caracterização de polpas de frutas tropicais congeladas comercializadas no Recôncavo Baiano. *Revista Ciência Agronômica*. v.38, p.158-163, 2007.
- Marques, L. G.; Prado, M. M.; Freire, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, v.42, p.1232-1237, 2009.
- Marques, L. G.; Silveira, A. M.; Freire, J. T. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technology*, v.24, p.457-463, 2006.
- Melo, W. S.; Pena, R. S.; Rodrigues, A. M. C.; Silva, L. H. M. Hygroscopic behavior of buriti (*Mauritia flexuosa*) fruit. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.31, p.935-940, 2011.
- Oliveira, V.S.; Afonso, M.R.A.; Costa, J.M. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.342-348, 2011.
- Park, K. J. B.; Park, K. J.; Cornejo, F. E. P.; Fabbro, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.10, p.83-94, 2008.
- Pedro, M. A. M.; Telis-Romero, J.; Telis, V. R. N. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.30, p.993-1000, 2010.
- Sagar, V. R.; Suresh, K. P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science Technology*, v.47, p.15-26, 2010.
- Silva, C. R. R.; Fonseca, E. B. A.; Moreira, M. A. A cultura da mangueira. Lavras: UFLA, 2002. 116p.
- Tsami, E.; Krokida, M. K.; Drouzas, A. E. Effect of drying method on the sorption characteristics model fruit powders. *Journal of Food Engineering*, v.38, p.381-302, 1999.
- Timmermann, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v.220, p.235-260, 2003.