



Revista Ciência Agronômica

ISSN: 0045-6888

ccarev@ufc.br

Universidade Federal do Ceará  
Brasil

Sant'Ana Silva, Adriano; Assis Cardoso Almeida, Francisco de; Cezar Alves, Niédja Marizze; Santos  
Melo, Karla dos; Palmeira Gomes, Josivanda

Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado  
Revista Ciência Agronômica, vol. 41, núm. 2, abril-junio, 2010, pp. 237-244  
Universidade Federal do Ceará  
Ceará, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195314926010>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado<sup>1</sup>

### Hygroscopic and thermodynamic features of dehydrated coriander

Adriano Sant'Ana Silva<sup>2\*</sup>, Francisco de Assis Cardoso Almeida<sup>3</sup>, Niédja Marizze Cezar Alves<sup>4</sup>, Karla dos Santos Melo<sup>5</sup> e Josivanda Palmeira Gomes<sup>6</sup>

**Resumo** - A determinação das isotermas de adsorção de umidade constitui fator essencial nos projetos e estudos de sistemas de secagem, processamento, armazenagem, embalagem e predição tempo de prateleira de produtos alimentícios. A obtenção das isotermas dar-se por meio da variação do conteúdo de umidade de equilíbrio em função da atividade de água a uma dada temperatura constante. A predição das curvas das isotermas é realizada por meio da aplicação de modelos matemáticos aos dados experimentais. Através das isotermas de adsorção podem ser calculadas propriedades termodinâmicas, como o calor isostérico de adsorção, que é utilizado na análise, desenvolvimento de processos alimentícios e estudo das interações umidade-sólido. Assim, desenvolveu-se o presente estudo com o objetivo de estudar o comportamento das isotermas de adsorção da folha e do caule de coentro desidratados, definir o modelo que melhor representa o comportamento das curvas e determinar o comportamento do calor isostérico de adsorção. Os dados experimentais obtidos foram ajustados por regressão não linear, pelos modelos de GAB, Oswin, Smith, BET, Peleg e Halsey. Os modelos que melhor representaram o comportamento das curvas de adsorção da folha e do caule foram os de Smith e Peleg. O calor isostérico de adsorção obtido para folha desidratada é maior que o do caule.

**Palavras-chave** - *Coriandrum sativum* L. Isotermas de adsorção. Atividade de água.

**Abstract** - The determination of adsorption isotherms of moisture is an essential factor in the projects and studies of systems for drying, processing, storage, packaging and shelf-time prediction of food products. The adsorption isotherms are obtained by means of variation of moisture content in terms of equilibrium water activity at a constant temperature, and its prediction is performed by the application of mathematical models to experimental data. Through the adsorption isotherms it can be calculated some thermodynamic properties such as isosteric heat of adsorption, which is used in the analysis, development of case study of food and moisture-solid interactions. Thus, this work aimed to study the behavior of adsorption isotherms of leaves and stems of dehydrate coriander, evaluate the model that represents the behavior of the curves and determine the isosteric heat of adsorption. The experimental data were fitted by nonlinear regression, the GAB, Oswin, Smith, BET, Halsey and Peleg models had been used. The models which best represented the behavior of the adsorption curves of the leaf and stem were from Smith and Peleg. The isosteric heat of adsorption obtained from dried leaf is larger than the stem.

**Key words** - *Coriandrum sativum* L. Adsorption isotherms. Water activity.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 07/06/2009; aprovado em 17/03/2010

Parte de dissertação defendida pelo primeiro autor

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, CCT/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, adriano\_santana@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, almeida@deag.ufcg.edu.br

<sup>4</sup>Programa de Pós-Graduação da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, niedjamarizze@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Programa de Pós-Graduação da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, karlasmelo@gmail.com

<sup>6</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, josivanda@gmail.com

## Introdução

O coentro é uma hortaliça condimentar, cujas folhas têm especial preferência na culinária brasileira. Devido ao seu aroma e sabor característicos, aliado a uma tendência cada vez maior de se consumir alimentos industrializados muito próximos ao similar natural, tem-se buscado formas de processamento que possibilitem a obtenção de alimentos com qualidade nutricional e com elevado tempo de prateleira.

Durante o armazenamento prolongado, os alimentos desidratados tendem a adquirir umidade, e de acordo com Arslan e Togrul (2005), esta resposta pode ser usada como um critério crítico para o julgamento da qualidade de alimentos industrializados, já que a grande maioria destes podem se degradar na presença de umidade.

A água nos alimentos pode ser avaliada e medida por meio do estudo da atividade de água, que é, de maneira geral, a avaliação da quantidade de água livre ou ativa contida no alimento. A importância de seu estudo em alimentos reside no fato de que por meio desta podem ser previstos reações químicas e enzimáticas indesejáveis e o desenvolvimento de microrganismos. Portanto, por meio do estudo das curvas de isoterma, podem ser propostos sistemas adequados de embalagens para o produto.

A água é, provavelmente, o fator individual que mais influi na alteração dos alimentos, afetando sua natureza física e suas propriedades. Este tipo de influência mútua é complicado devido à interação entre a água e o meio em que se encontra o produto, o que envolve a estrutura física e a composição química dos diversos solutos incluindo polímeros e colóides ou partículas dispersas.

Segundo Park et al. (2001) é possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação, em que o teor de água livre é expresso pela atividade de água, dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura, a mesma temperatura.

O conhecimento e o entendimento das isotermas de sorção de umidade para alimentos é de grande importância para a ciência e tecnologia de alimentos, fornecendo informações para o desenvolvimento e otimização de processos, para a solução de problema no armazenamento, para a modelagem das mudanças de umidade que ocorrem durante a secagem e para a predição do tempo de vida de prateleira (JAMALI et al., 2006).

Peña et al. (1997) afirmam que a maior vantagem da utilização de modelos matemáticos na predição de isotermas de adsorção de umidade reside no fato de que, com poucos pontos experimentais, pode-se construir uma isoterma, a qual, por outro lado, pode ser facilmente

interpolada ou extrapolada para a obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas atividades de água, pontos esses de difícil determinação experimental.

Ademais disso, a aplicação dos princípios termodinâmicos, como o calor isostérico de adsorção, aos dados experimentais das isotermas, permite a obtenção de informações sobre as propriedades da água, microestrutura, fenômenos físicos na superfície dos alimentos e parâmetros cinéticos de adsorção (KAYA; KAHYAOGU, 2005).

Pelo exposto, objetivou-se por meio desta pesquisa obter as curvas das isotermas de adsorção da folha e do caule do coentro desidratados, determinar o modelo que melhor representa o comportamento desta curvas de adsorção e verificar o comportamento do calor isostérico compreendido neste processo.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEAg) e no Laboratório de Transferência de Calor e Massa em Meios Porosos (LTCMMP) da Unidade Acadêmica de Engenharia Química, ambos da Universidade Federal de Campina Grande.

Utilizou-se o coentro (*Coriandrum sativum* L.), variedade verdão, proveniente do município de Lagoa Seca, estado da Paraíba, adquiridos na Feira do Agricultor de Campina Grande, PB. O coentro, ao ser recebido no LAPPA, foi previamente limpo e lavado em água corrente, para a remoção do excesso de terra, sendo, posteriormente, sanitizado com uma solução de hipoclorito de sódio a 15 ppm por 10 min e, em seguida, separado em folha e caule, desprezando-se a raiz. As folhas e caules foram desidratados em secador de leito fixo a 60 °C com velocidade do ar de secagem em 1,5 m s<sup>-1</sup>. Após desidratados, folha e caule, foram moídas, separadamente, em moinho de facas e, posteriormente, acondicionados em sacos de polietileno de baixa densidade até o início dos experimentos.

Para a obtenção das isotermas de adsorção da folha e do caule do coentro desidratados, utilizou-se o equipamento Termoconstante Novasina TH-200, o qual é projetado para a medida da atividade de água à temperatura controlada. As isotermas de adsorção foram determinadas utilizando-se o método estático-indireto, baseado no estudo efetuado por Capriste e Rotstein (1982).

Pesou-se 1 g das amostras de folha e caule em cápsulas plásticas, que acompanham o aparelho, e o conjunto (cápsula + amostra) foi submetido a um ambiente saturado (dessecador com água destilada) para

o processo de adsorção. Em intervalos descontínuos, as cápsulas plásticas, contendo as amostras, foram levadas ao equipamento Novasina para a determinação da atividade da água nas temperaturas de 20; 30; 40 e 50 °C, onde permaneciam até estabilização das leituras, para, então, serem retiradas e pesadas em uma balança analítica, sendo retornadas novamente para o ambiente saturado. A sucessão dessas leituras indica os pontos da curva da isoterma de adsorção da folha e do caule desidratados. Posteriormente à determinação desses pontos, as amostras foram levadas à estufa sem circulação de ar, a 70 °C por 24 h, para determinação da massa seca (AOAC, 1997) e depois da unidade de equilíbrio ( $g_{\text{água}} g_{\text{ms}}^{-1}$ ).

Os dados experimentais foram submetidos aos modelos matemáticos de GAB (Equação 1), Oswin (Equação 2), Smith (LABUZA et al., 1985) (Equação 3), BET (BRUNAUER et al., 1938) (Equação 4), Peleg (PELEG, 1993) (Equação 5) e Halsey (HALSEY, 1948) (Equação 6) por meio de regressões não-lineares, utilizando-se o programa Statística, versão 5.0.

$$u_e = \frac{x_m C' k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C' k a_w)} \quad (1)$$

$$u_e = \frac{(X_m C a_w)}{(1 - a_w)} \left[ \frac{1 - (n+1)(a_w)^n + n(a_w)^{n+1}}{1 - (1-C)a_w - C(a_w)^{n+1}} \right] \quad (2)$$

$$u_e = a \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (3)$$

$$u_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2} \quad (4)$$

$$u_e = \left( \frac{-a}{\ln(a_w)} \right)^{1/b} \quad (5)$$

$$u_e = a - b \ln(1 - a_w) \quad (6)$$

onde,

$u_e$  - unidade de equilíbrio ( $g_{\text{água}} g_{\text{ms}}^{-1}$ ),

$a_w$  - atividade de água (adimensional),

$X_m$  - umidade na monocamada molecular ( $g_{\text{água}} g_{\text{ms}}^{-1}$ ),

$C'$  - constante de GAB,

$k$  - fator de correção das propriedades da monocamada,

$C$  - constante de BET relacionada ao calor de sorção da monocamada molecular,

$a$ ,  $b$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $K_1$  e  $K_2$  são parâmetros dos modelos.

Como critério para determinação dos modelos que melhor representam os dados experimentais, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio relativo médio (DRM), calculado pela equação:

$$DRM = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{(u_{e_{\text{exp}}} - u_{e_{\text{teor}}})}{u_{e_{\text{exp}}}} \right| \quad (7)$$

onde,

DRM - desvio relativo médio (%),

$u_{e_{\text{exp}}}$  - valores obtidos experimentalmente,

$u_{e_{\text{teor}}}$  - valores preditos pelos modelos,

$n$  - número de observações realizadas.

Para a determinação do calor isostérico de adsorção ( $q_{\text{st}}$ ), para folha e caule desidratados, utilizou-se o modelo que melhor representou as isotermas de adsorção nas temperaturas em estudo. O  $q_{\text{st}}$  das isotermas obtidas foi obtido por meio da equação de Clausius-Claperyon (Equação 8) (MOREIRA et al., 2005):

$$\ln \left( \frac{a_{a2}}{a_{a1}} \right)_{U_e} = \frac{q_{\text{st}}}{R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right) \quad (8)$$

onde,

$T_1$  e  $T_2$  - temperaturas (K) mínima e máxima das isotermas,

$a_{a1}$  e  $a_{a2}$  - atividades de água nas respectivas temperaturas,

$q_{\text{st}}$  ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ) - calor isostérico de adsorção,

$R$  - a constante universal dos gases ( $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).

O calor isostérico total de adsorção ( $Q_{\text{st}}$ ) foi calculado empregando-se a equação (SMITH et al., 2000):

$$Q_{\text{st}} = q_{\text{st}} + A H_v \quad (9)$$

onde,

$A H_v$  - calor de vaporização da água pura, obtido da média entre a temperatura máxima e mínima (35 °C - 43,538  $\text{kJ mol}^{-1}$ ).

## Resultados e discussão

Os dados obtidos experimentalmente, referentes à umidade de equilíbrio ( $u_e$ ) das folhas e do caule do coentro desidratado e seus respectivos valores da atividade de água ( $a_w$ ) para as temperaturas em estudo, encontram-se, respectivamente, nas Figuras 1A e 1B.

Conforme os dados apresentados (Tabela 1), verifica-se que a umidade de equilíbrio da folha desidratada decresce, na maioria dos casos, com o aumento da temperatura, a atividade de água constante, e tal comportamento é atribuído ao alto estado de excitação das moléculas de água em temperaturas elevadas, diminuindo as forças de atração entre as moléculas (LAHSASNI et al., 2003). Além disso, à temperatura constante, o conteúdo de umidade de equilíbrio aumenta com a elevação da atividade de água.

Resultados semelhantes foram obtidos por Almeida et al. (1999), ao estudarem as isotermas de adsorção do gergelim, e por Corrêa et al. (2002), em isotermas de adsorção de cinco plantas medicinais.

Os parâmetros dos modelos aplicados aos dados experimentais das isotermas de adsorção das folhas do coentro desidratadas, bem como os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e os desvios relativos médios (DRM) utilizados como critérios de avaliação para a representação das isotermas encontram-se na Tabela 1.

Conforme os resultados da Tabela 1, verifica-se, dentre os modelos bi-paramétricos aplicados aos dados experimentais, que o modelo de Smith representa com precisão o comportamento das isotermas de adsorção das folhas do coentro ( $R^2 > 0,99$  e  $DRM < 5,66\%$ ). Contudo, observa-se que o modelo de Oswin,

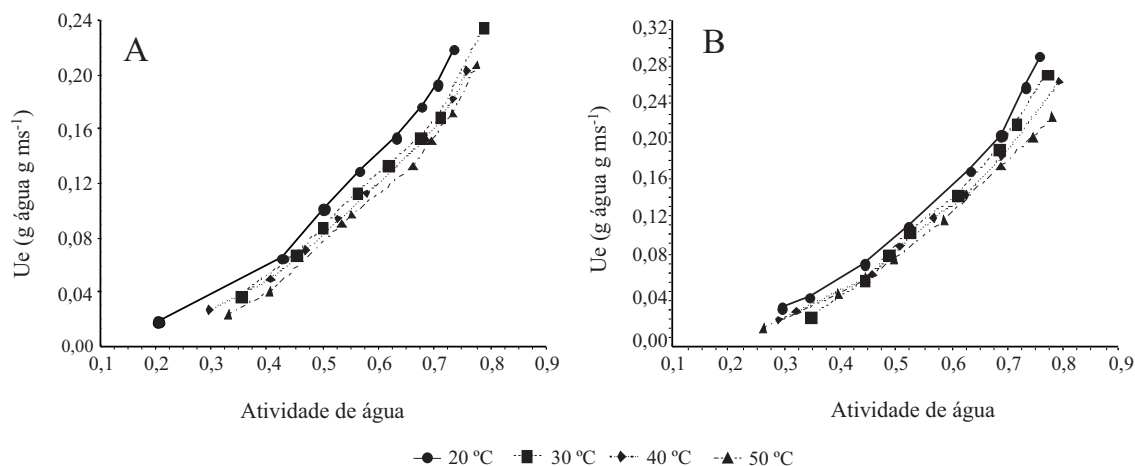
nas temperaturas de 30 e 40 °C, também prediz o comportamento destas curvas, o que é constatado pelo reduzido valor no DRM.

Constata-se, ainda, que dentre os modelos de GAB, BET e Peleg, o último citado possui boa relação quanto à descrição do comportamento dos dados experimentais da folha desidratada ( $R^2 > 0,99$  e  $DRM < 5\%$ ). Além disso, verifica-se que o modelo de BET, embora indicado para valores de atividade de água entre 0 e 0,5 (BLAHOVEC, 2004), prediz com boa exatidão o comportamento das isotermas nas temperaturas de 20; 30 e 40 °C ( $R^2 > 0,99$  e  $DRM < 7\%$ ). Mesmo na forma original, o modelo de BET, possui maior possibilidade de representar os dados experimentais (PARK; NOGUEIRA, 1992).

De acordo com critérios estabelecidos por Aguerre et al. (1989), onde DRM inferior a 10% indica razoável representatividade dos modelos, e por Labuza et al. (1985), em que a representação das isotermas é considerada extremamente boa para DRM inferior a 5%, conclui-se que, dentre os seis modelos aplicados para a representação das isotermas de adsorção das folhas do coentro desidratadas, os modelos de Smith e de Peleg representam, com boa precisão, as isotermas, apresentando DRM inferior a 6 e a 5%, respectivamente.

O modelo de Peleg é reportado por diversos pesquisadores nos estudos de predição das isotermas de sorção para vários alimentos desidratados, dentre eles Park et al. (2002), ao estudarem as isotermas de dessorção da folha de hortelã, nas temperaturas de 30 e 40 °C.

Verifica-se ainda na Tabela 1 que os valores referentes ao conteúdo de umidade da monocamada molecular ( $X_m$ ), do modelo de GAB, flutuam aleatoriamente dentro da faixa de temperatura estudada, sendo comportamento análogo



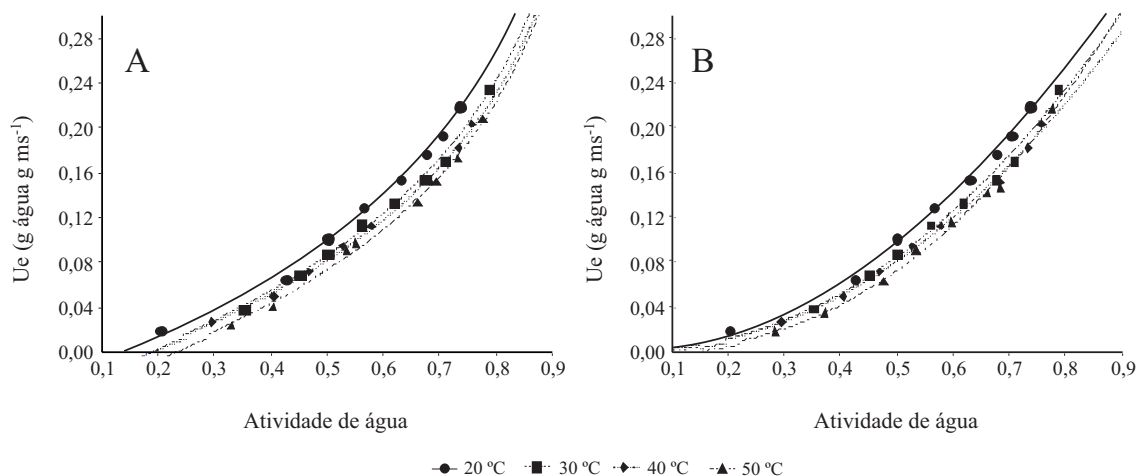
**Figura 1** - Isotermas de adsorção das folhas (A) e caule (B) do coentro desidratado

**Tabela 1** - Parâmetros dos modelos aplicados aos dados experimentais das isotermas de adsorção das folhas e do caule desidratados do coentro

Modelos	Parâmetros	Folha				Caule			
		Temperatura (°C)							
		20	30	40	50	20	30	40	50
Smith	a	-0,027	-0,033	-0,032	-0,04	-0,053	-0,068	-0,043	-0,038
	b	0,182	0,17	0,163	0,163	0,251	0,247	0,21	0,192
	R <sup>2</sup>	0,9954	0,9948	0,9977	0,9954	0,9945	0,9971	0,9979	0,9972
	DRM (%)	5,66	3,43	2,97	4,5	5,25	4,2	2,45	2,36
Halsey	a	0,077	0,055	0,064	0,062	0,106	0,093	0,07	0,069
	b	0,929	1,038	0,935	0,921	0,848	0,884	0,989	0,968
	R <sup>2</sup>	0,9734	0,9723	0,9784	0,9669	0,9910	0,9654	0,9536	0,9624
	DRM (%)	18,12	10,98	13,1	18,91	9,43	18,54	26,25	23,18
Oswin	a	0,096	0,086	0,079	0,072	0,111	0,103	0,1	0,093
	b	0,828	0,779	0,841	0,868	0,92	0,905	0,811	0,818
	R <sup>2</sup>	0,9863	0,9833	0,9876	0,9787	0,9965	0,9772	0,9727	0,9767
	DRM (%)	12,12	8,57	9,72	15,09	5,74	15,26	20,09	17,7
Peleg	k <sub>1</sub>	0,2	0,19	0,179	0,198	0,286	0,284	0,238	0,214
	n <sub>1</sub>	2,037	2,174	2,150	2,459	2,3	2,435	2,249	2,164
	k <sub>2</sub>	0,2	0,19	0,179	0,198	0,286	0,284	0,238	0,214
	n <sub>2</sub>	2,037	2,174	2,150	2,459	2,3	2,435	2,249	2,164
	R <sup>2</sup>	0,9946	0,9903	0,9968	0,9946	0,9933	0,9974	0,9984	0,9992
	DRM (%)	4,93	3,4	2,48	3,07	5,82	5,59	2,87	2,83
GAB	Xm	0,214	0,246	0,183	0,232	0,311	0,297	0,249	0,228
	C	0,686	0,707	0,647	0,423	0,429	0,422	0,652	0,639
	K	-3,534	-7,106	-2,943	-1,297	-0,714	-0,813	-3,824	-3,357
	R <sup>2</sup>	0,9841	0,9763	0,9855	0,9763	0,9962	0,9756	0,9651	0,9718
	DRM (%)	12,4	9,71	10,28	15,36	5,77	15,38	20,6	17,69
BET	Xm	0,075	0,064	0,058	0,049	0,07	0,072	0,082	0,084
	C	1,211	1,249	1,256	1,282	1,375	1,262	1,151	1,09
	N	6,342	5,798	6,469	7,209	6,161	8,516	8,021	8,155
	R <sup>2</sup>	0,9952	0,9933	0,9954	0,9889	0,9988	0,9881	0,9926	0,9935
	DRM (%)	6,32	5,29	5,9	10,65	2,9	11,43	11,23	10,86

ao obtido por Ghodake et al. (2007), ao estudarem as isotermas de adsorção do chá preto, para as temperaturas de 20; 30 e 40 °C, contudo, observa-se que o Xm, obtido para o modelo de BET, aumenta com o decréscimo da temperatura, estando em conformidade com o observado por Ertekin e Sultanoglu (2001), ao estudarem as isotermas de adsorção para a pimenta verde e vermelha, nas temperaturas de 30; 45 e 60 °C.

Os valores do conteúdo de umidade da monocamada (Xm), referente ao modelo de GAB, nas temperaturas estudadas (Tabela 1), encontram-se acima do valor determinado para alimentos por Labuza et al. (1985), que indicam como valor máximo para Xm de 10% (b.s.), todavia, o Xm, obtido com o modelo de BET, encontra-se abaixo desse valor, apresentando Xm inferior a 8%.



**Figura 2** - Isotermas de adsorção da folha do coentro desidratado, pela aplicação do modelo de Smith (A) e Peleg (B)

Na Figura 2, encontra-se a representação gráfica dos modelos de Smith e Peleg, respectivamente, aplicados aos dados experimentais das isotermas de adsorção das folhas desidratadas do coentro.

Verifica-se, nesta figura, que as isotermas de adsorção das folhas do coentro desidratadas classificam-se como sendo do tipo III, de acordo com a classificação de Brunauer et al. (1938), igualmente como observado por Jamali et al. (2006), para folhas de mastruz, e por Menkov (2000), para grão de bico.

Quanto ao comportamento higroscópico do caule desidratado do coentro (Tabela 1), verifica-se que, dentre os modelos bi-paramétricos aplicados, o modelo de Smith prediz as isotermas de adsorção com elevado coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,99$ ) e desvio relativo médio (DRM) de 2,83 a 5,82%. Além disso, os modelos de Halsey e Oswin, a 20 °C, predizem os dados experimentais a essa temperatura, com DRM igual a 9,43 e 5,74%. O modelo de Smith é reportado por Yazdani et al. (2006) como melhor modelo na predição das isotermas de adsorção de pistache, nas temperaturas de 15; 25; 35 e 40 °C.

Conforme os resultados contidos na Tabela 1, verifica-se que os modelos de GAB e BET, a 20 °C, predizem o comportamento da isoterma ( $R^2 > 0,99$ ), com DRM de 5,77 e 2,90%, respectivamente. Todavia, assim como na predição do comportamento das isotermas de adsorção das folhas desidratadas, o modelo de Peleg estima com melhor precisão as isotermas de adsorção do caule ( $R^2 > 0,99$  e DRM < 5,59%).

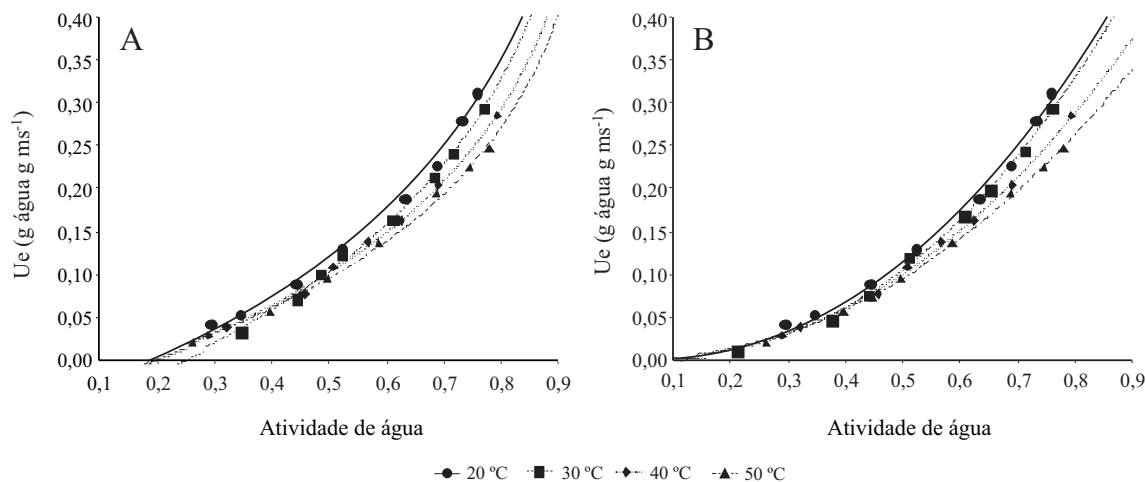
De acordo com os critérios estabelecidos por Aguerre et al. (1989), verifica-se que os modelos de

Peleg e Smith são concisos, DRM inferior a 5,82 e 5,25%, respectivamente, na predição do comportamento das isotermas de adsorção do caule desidratado do coentro.

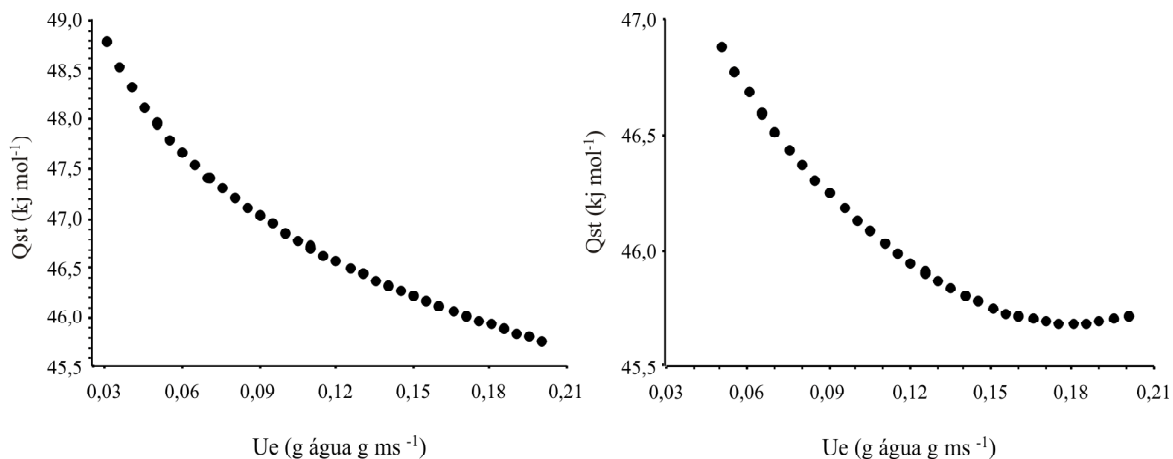
Verifica-se também (Tabela 1) que o conteúdo de umidade da monocamada ( $X_m$ ), obtido com os modelos de GAB e BET, apresenta comportamento similar ao observado para as isotermas de adsorção das folhas desidratadas do coentro e que os valores de  $X_m$  encontrados com o modelo de GAB são superiores aos 10 % (b.s.) determinados por Labuza et al. (1985), para alimentos, estando somente o  $X_m$  do modelo de BET abaixo desse valor.

Por meio da representação gráfica (Figura 3) dos modelos de Smith e de Peleg, aplicados na predição das isotermas de adsorção do caule desidratado do coentro, pode-se concluir que as isotermas de adsorção, segundo a classificação de Brunauer et al. (1938), qualificam-se como sendo do tipo III.

O calor isotérico de adsorção ( $Q_{st}$ ) da folha e caule desidratados (Figura 4), em função das umidades de equilíbrio, aumenta à medida que o teor de umidade das amostras é reduzido. O decréscimo observado no calor de adsorção deve-se, inicialmente, a alta energia de interação observada entre os sítios de adsorção e do adsorbato à medida que estes sítios são ocupados pela água adsorvida. Posteriormente, quando menos sítios ativos estão disponíveis, a adsorção ocorre com menos frequência, liberando, assim, menos energia ( $q_{st}$ ) (RAO et al., 2006). Observa-se ainda que a folha desidratada necessita de maior quantidade de energia para adsorver água em relação ao caule desidratado.



**Figura 3** - Isotermas de adsorção do caule do coentro desidratado, pela aplicação do modelo de Smith (A) e Peleg (B)



**Figura 4** - Curvas do calor isostérico da folha (A) e do caule do coentro (B) desidratado

## Conclusão

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os modelos matemáticos de Peleg e de Smith foram os que melhor representaram o comportamento das isotermas de adsorção de umidade das folhas e caule desidratados. As isotermas de adsorção, tanto das folhas quanto do caule, podem ser classificadas como tipo III. A energia requerida para a adsorção de umidade pela folha do coentro desidratada é maior que a do caule. O caule desidratado tende a ganhar umidade mais rapidamente.

## Referências

- AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. New BET type multilayer sorption isotherms Part II: Modelling water sorption in foods. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, v. 22, n. 04, p. 192-195, 1989.
- ALMEIDA, F. A. C.; FONSECA, K. S.; GOUVEIA, J. P. G. Secagem natural de gergelim e determinação da umidade de equilíbrio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 03, n. 03, p. 343-348, 1999.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 16. ed. Arlington: Williams, S., 1997. 1141 p.



- ARSLAN, N.; TOGRUL, H. Modelling of water sorption isotherms of macaroni stored in a chamber under controlled humidity and thermodynamic approach. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 02, p. 133-145, 2005.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 04, p. 489-495, 2004.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multi-molecular layer. **Journal of American Chemical Society**, v. 60, n. 02, p. 309-319, 1938.
- CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 08, p. 1501-1507, 1982.
- CORRÊA, P. C. *et al.* Modelo matemático para representação da higroscopicidade de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 27, n. 01, p. 8-15, 2002.
- ERTEKIN, F. K.; SULTANOGLU, M. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. **Journal of Food Engineering**, v. 47, n. 03, p. 221-231, 2001.
- GHODAKE, H. M.; GOSWAMI, T. K.; CHAKRAVERTY, A. Moisture sorption isotherms, heat of sorption and vaporization of withered leaves, black and green tea. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 03, p. 827-835, 2007.
- HALSEY, G. Physical adsorption on non-uniform surfaces. **The Journal of Chemical Physics**, v. 16, n. 10, p. 931-937, 1948.
- JAMALI, A. *et al.* Sorption isotherms of Chenopodium ambrosioides, leaves at three temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 01, p. 77-84, 2006.
- KAYA, S. KAHYAOGU, T. Thermodynamic properties and sorption equilibrium of pestil (grape leather). **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 02, p. 200-207, 2005.
- LABUZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effects of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 03, p. 385-392, 1985.
- LAHSASNI, S. *et al.* Moisture adsorption-desorption isotherms of prickly pear cladode (Opuntia ficus indica) at different temperatures. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 06, p. 923-936, 2003.
- MENKOV, N. D. Moisture sorption isotherms of chickpea seeds at several temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 45, n. 04, p. 189-194, 2000.
- MOREIRA, R. *et al.* Sorption isotherms of tunip top leaves and stems in the temperature range from 298 to 328 K. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 02, p. 193-199, 2005.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isothermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (Pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 01, p. 73-77, 2001.
- PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. Modelos de ajuste de isothermas de sorção de alimentos. **Revista Engenharia Rural**, v. 03, n. 01, p. 81-86, 1992.
- PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption of garden mint leaves (Mentha crispa L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, n. 03, p. 193-199, 2002.
- PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, v. 16, n. 01, p. 21-37, 1993.
- PEÑA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-paramétricos que predizem isothermas de adsorção de umidade do guaraná (Paullinia cupana) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 03, p. 229-232, 1997.
- RAO, K. J. *et al.* Moisture sorption characteristics of chhana poddo at 5 °C and 35 °C. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 03, p. 435-459, 2006.
- SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da Engenharia Química**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 698 p.
- YAZDAMI, M. *et al.* Moisture sorption isotherms and isosteric heat for pistachio. **European Food Research Technology**, v. 223, n. 05, p. 577-584, 2006.