

## ISOTERMAS DE SORÇÃO DO CAULE DO COENTRO

ADRIANO. S. SILVA<sup>1</sup>, FRANCISCO DE A. C. ALMEIDA<sup>2</sup>, NIÉDJA M. C. ALVES<sup>3</sup>, KARLA S. MELO<sup>3</sup>, JOSIVANDA P. GOMES<sup>2</sup>, JUAREZ PAZ PEDROZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Químico Industrial, Mestre em Engenharia Agrícola, UFCG. E-mail: adriano\_santana@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB. E-mail: almeida@deag.ufcg.edu.br

<sup>3</sup> Alunos de Graduação da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

**RESUMO:** O presente trabalho tem por objetivos a obtenção e o estudo do comportamento das isotermas de sorção do caule do coentro desidratado, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, bem como a representação das isotermas pelo ajuste de três modelos matemáticos. Os resultados confirmam que o conteúdo de umidade de equilíbrio varia de 0,028 a 0,312 g água g<sup>-1</sup> ms para atividade de água variando de 0,290 a 0,793. Verifica-se ainda que o modelo que melhor representa o comportamento das isotermas de sorção do caule do coentro desidratado é o modelo de Peleg, com desvio médio relativo menor que 6% e coeficiente de determinação maior que 99%.

**PALAVRAS-CHAVE:** adsorção, atividade de água, *Coriandrum sativum*

## SORPTION ISOTHERMS OF CORIANDER STEM

**ABSTRACT:** The present works has for the objective the attainment and study the sorption isotherms behavior of dehydrated coriander stem, in the temperatures of 20, 30 and 40 °C, as well as the representation of the isotherms for the fit of three mathematic models. The results confirm that the equilibrium moisture content varying from 0.028 to 0.312 g water g<sup>-1</sup>dm for water activity ranging from 0.290 to 0.793. It is verified that the model which better represent the behavior of sorption isotherms of dehydrated coriander stem is the Peleg model with mean relative deviation lower than 6% e determination coefficient greater than 99%.

**KEY-WORDS:** adsorption, water activity, *Coriandrum sativum*

**INTRODUÇÃO:** O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma umbelífera, consumida em diversas regiões do Brasil, especialmente no Norte e Nordeste, onde suas folhas frescas temperam peixes, saladas, sopas e carnes, enquanto seus frutos, erroneamente chamados de sementes, aromatizam molhos, lingüiças, salsichas e licores (Melo et al., 2003). Contudo grande parte dos consumidores, no preparo das refeições, descarta o caule, o que representa mais de 30% em peso do ramo do coentro, e, além disso, o caule é uma fonte rica em fibras, vitamina c, aroma e sabor. Ademais o caule do coentro, por apresentar alto conteúdo de umidade, cerca de 92%, necessita de imediata conservação, que é geralmente obtido pela redução da atividade de água pela aplicação da secagem com ar quente. Segundo Cassini et al. (2005), a inibição da atividade microbológica é obtida para valores de atividade de água menor que 0,7, e dependendo do produto o valor médio da umidade é entre 5 e 25% base úmida. O estudo da curva de sorção, que descreve a relação entre a atividade de água e o conteúdo de umidade de equilíbrio a uma determinada temperatura, fornece grandes informações para a indústria alimentícia, quanto ao tipo de embalagem a ser utilizado e o tempo de prateleira do produto.

Em vista das informações supracitadas, o presente trabalho tem por objetivo estudar a atividade de água por meio do levantamento das isotermas de sorção nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, e determinar o modelo que melhor representa o comportamento das isotermas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas e no Laboratório de Transferência de Calor e Massa em Meios Porosos, DEQ, ambos da Universidade Federal de Campina Grande. Utilizou-se como amostra o caule coentro, variedade verdão, adquirido na Feira do Agricultor de Campina Grande, PB, o qual foi devidamente limpo foi separado em folha e caule, sendo este último desidratado a 60 °C por 24 h. Após desidratado o caule foi devidamente moído e acondicionado em saco plástico, o qual foi colocado dentro de um recipiente contendo sílica gel para posterior etapa do experimento. As isotermas de sorção foram determinadas utilizando-se o Método Estático-Indireto, baseado no estudo efetuado por Capriste & Rotstein (1982), empregando-se equipamento Termoconstanter Novasina-TH200, projetado para a medida da atividade de água à temperatura controlada. As amostras foram pesadas em cápsulas plásticas, as quais foram submetidas a um ambiente saturado (dessecador com água destilada) a temperatura ambiente. Em intervalos descontínuos, as cápsulas contendo as amostras, foram levadas ao Novasina para a determinação da atividade da água nas temperaturas de 20, 30, 40 °C. A cápsula ao ser retirada do equipamento foi pesada em uma balança analítica, sendo retornada novamente para o ambiente saturado. Posteriormente à determinação desses pontos, as cápsulas foram levadas a estufa sem circulação, a 70 °C por 24 h para determinação da massa seca. A umidade de equilíbrio (base seca) foi então calculada pela diferença entre a massa da amostra no equilíbrio e a sua respectiva massa seca. Este procedimento foi repetido três vezes para obtenção das três isotermas nas temperaturas de 20, 30, 40 °C. Os modelos matemáticos (Tabela 1) de Peleg (Eq.1), GAB (Eq.2) e BET (Eq.3) foram ajustados aos dados experimentais utilizando-se o pacote de regressão não-linear do programa computacional Statistica 7.0.

$$u_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (\text{Eq.1})$$

$$u_e = \frac{x_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)} \quad (\text{Eq.2})$$

$$u_e = \frac{(X_m C a_w)}{(1 - a_w)} \left[ \frac{1 - (n + 1)(a_w)^n + n(a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C)a_w - C(a_w)^{n+1}} \right] \quad (\text{Eq.3})$$

em que  $a_w$  é a atividade de água,  $u_e$  é a umidade de equilíbrio,  $X_m$  é conteúdo de umidade na monocamada molecular,  $K$  é o fator de correção das propriedades da monocamada,  $C$  é a constante de BET relacionada ao calor de sorção da monocamada molecular,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  são parâmetros da equação, parâmetros da equação.

Como critério para avaliação dos modelos, quanto ao melhor ajuste, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio relativo médio ( $DRM$ ) (Eq.4).

$$DRM = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_{\text{exp}} - M_{\text{teor}})|}{M_{\text{exp}}} \quad (\text{Eq.4})$$

em que  $DRM$  é o desvio relativo médio (%),  $M_{\text{exp}}$  são os valores obtidos experimentalmente,  $M_{\text{teor}}$  são os valores preditos pelo modelo e  $n$  é o número de observações realizadas

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 encontram-se apresentados os dados, obtidos experimentalmente, referentes à umidade de equilíbrio ( $u_e$ ) do caule do coentro moído e seus respectivos valores da atividade de água ( $a_w$ ) para as temperaturas em estudo.

**Tabela 1 - Dados experimentais da umidade de equilíbrio para o caule de coentro em pó.**

Temperatura					
20 °C		30 °C		40 °C	
aw	ue	aw	Eu	aw	ue
0,293	0,042	0,346	0,033	0,29	0,028
0,344	0,053	0,443	0,071	0,321	0,038
0,441	0,089	0,485	0,100	0,457	0,077
0,521	0,129	0,522	0,124	0,507	0,108
0,631	0,189	0,609	0,164	0,567	0,138
0,687	0,228	0,683	0,213	0,625	0,163
0,730	0,279	0,714	0,241	0,690	0,204
0,756	0,312	0,769	0,293	0,793	0,285

Pode-se observar (Tabela 1) que o conteúdo umidade de equilíbrio do caule moído decresce com o aumento da temperatura a uma atividade de água constante, e tal tendência pode ser explicada pelo alto estado de excitação das moléculas de água a altas temperaturas, desta forma decrescendo as forças de atração entre as moléculas (Mohamed et al, 2003). Além disso, a temperatura constante, o conteúdo de umidade de equilíbrio aumenta com a elevação da atividade de água. Comportamento similar, quanto a variação da umidade de equilíbrio com a temperatura e com a atividade de água, foi obtido por Almeida et al. (1999), ao estudarem as isotermas de sorção do gergelim e por Corrêa et al. (2002) ao estudarem as isotermas de sorção de cinco plantas medicinais. Os valores referentes ao conteúdo de umidade de equilíbrio do caule desidratado variam de 0,028 a 0,312 g água g<sup>-1</sup> ms, para atividade de água de 0,290 a 0,793.

**Tabela 2 - Parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais das isotermas de sorção do caule do coentro desidratado.**

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros				R <sup>2</sup>	DRM(%)
		k <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>		
Peleg	50	0,214	2,164	0,214	2,164	99,921	2,83
	40	0,238	2,249	0,238	2,249	99,824	2,87
	30	0,284	2,435	0,284	2,435	99,737	5,59
	20	0,286	2,300	0,286	2,300	99,329	5,82
GAB		<b>Xm</b>	<b>C</b>	<b>K</b>			
	50	0,228	0,639	-3,357		97,179	17,69
	40	0,249	0,652	-3,824		96,507	20,60
	30	0,297	0,422	-0,813		97,563	15,38
	20	0,311	0,429	-0,714		99,617	5,77
BET		<b>Xm</b>	<b>C</b>	<b>N</b>			
	50	0,084	1,090	8,155		99,351	10,86
	40	0,082	1,151	8,021		99,262	11,23
	30	0,072	1,262	8,516		98,813	11,43
	20	0,070	1,375	6,161		99,878	2,90

De acordo com os resultados da Tabela 2, verifica-se que dentre os modelos ajustados aos dados experimentais, o que melhor representa o comportamento das isotermas de sorção do caule do coentro moído, é o modelo de Peleg, com R<sup>2</sup> superior a 99% e DRM entre 2,83 e 5,82%. Contudo os modelos de GAB e BET, a 20 °C, apresentam ajuste satisfatório, com DRM inferior a 10% e R<sup>2</sup> superior a 98%. Aguerre et al. (1989), relatam que ajustes com DRM inferiores a 10% indicam uma razoável representatividade dos modelos, e segundo Labuza et al. (1985), a representação das isotermas é considerada extremamente boa para valores de DRM inferior a 5%, e de acordo com esses critérios conclui-se que o modelo de Peleg, representa com excelente precisão as isotermas de sorção do caule do coentro moído, por expressarem DRM inferior a 6%. Moreira et al. (2005), ao estudarem as isotermas de sorção das folhas de nabo obtiveram excelente ajuste com o modelo de Peleg nas temperaturas de 25, 40 e 55 °C. Nogueira (2002) também reporta excelentes ajustes (DRM entre 2,54

e 9,79%), com o modelo de Peleg, para o extrato formulado de inulina de chicória, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C.

**CONCLUSÕES:** Com base nos dados obtidos, conclui-se que a temperatura exerce grande influência na umidade de equilíbrio do caule do coentro moído, além disso, o modelo de Peleg pode ser utilizado para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico do caule do coentro moído, em função da temperatura e atividade de água.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUERRE, R.J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P.E. New BET type multilayer sorption isotherms Part II: Modelling water sorption in foods. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, London, GB, v.22, n.4, p.192-195, 1989.

ALMEIDA, F. de 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**, Campina Grande, PB, v.3, n.3, p.343-348, 1999.

CAPRISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 1501-1507, 1982.

CASSINI, A.S.; MARCZAK, L.D.F.; NOREÑA, C.P.Z. Water adsorption isotherms of texturized soy protein. **Journal of Food Engineering**, Oxford, GB, 2005. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02608774>>. Acesso em: 20 de Jan. 2006.

CORRÊA, P.C.; AFONSO JUNIOR, P.C.; MARTINS, P.M.; MELO, E. de C.; RADÜNZ, L.L. Modelo matemático para representação da higroscopicidade de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v.27, n.1, p.8-15, 2002.

MELO, E. A.; MANCINI FILHO, J.; GUERRA, N. B.; MACIEL, G. R. Atividade antioxidante de extratos de coentro (*Coriandrum sativum* L.). **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.23, p.195-199, 2003.

MOHAMED, L.A.; KOUHILA, M.; JAMALI, A. LAHSASNI, S.; MAHROUZ, M. Moisture adsorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*) at different temperatures. **Energy Conversion and Management**, Oxford, UK, v.44, 923-936, 2003.

NOGUEIRA, R.I. Processo de obtenção de inulina de chicória (*Cichorium intybus*) em pó. Campinas, SP: UNICAMP, p.151. 2002. **Tese Doutorado**

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**, Chicago, Illinois, v.50, p.385, 1985.

MOREIRA, R.; CHENLO, F. VÁZQUEZ, M.L.; CAMEÁN, P. Sorption isotherms of turnip top leaves and stems in the temperature range from 298 to 328K. **Journal of Food Engineering**, Oxford, UK, v.71, p.193-199, 2005.

YAZDANI, M.; SAZANDEHCHI, P.; AZIZI, M.; GHOBADI, P. Moisture sorption isotherms and isosteric heat for pistachio. **European Food Research Technology**, Berlin, DE, 2006, Disponível em: <<http://www.springerlink.com>>. Acesso em: 18 de jan. 2006.