

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE CÁPSULAS DE ÁCIDOS GRAXOS DE CADEIA CURTA (AGCC): AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS

ALEXANDRE SANTOS DE SOUZA *
SORAIA VILELA BORGES **
MARIA HELENA MIGUEZ ROCHA-LEÃO ***
MARCELO ANGELO CIRILLO ****

Para a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) foi utilizado permeado de soro de queijo como matéria-prima. O processo fermentativo (30°C/ 72h) foi conduzido em batelada em biorreator por *Propionibacterium freudenreichi* ps1 e o processo de microencapsulação em “spray dryer” de bancada (temperatura de secagem: 180°C; vazão de alimentação: 24 g/min), utilizando-se maltodextrina (10% base seca) como material de parede. Cinco modelos matemáticos existentes na literatura e com larga aplicação na predição de isoterma de adsorção foram submetidos à análise. Ajustaram-se os pontos experimentais das isotermas de adsorção de umidade do produto a 25°C e 40°C mediante análise de regressão. O objetivo deste estudo foi avaliar qual modelo explica melhor a troca de umidade entre a atmosfera e as cápsulas dos AGCC. Análise de regressão foi utilizada para ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais da isoterma de adsorção. Utilizou-se o aplicativo ASSISTAT 6.6 para efetuar os ajustes. Entre os modelos testados, o que apresentou melhores resultados foi a equação de Oswin ($E_{25^\circ\text{C}}=0,32\%$ e $E_{40^\circ\text{C}}=0,13\%$).

PALAVRAS-CHAVE: ISOTERMAS DE ADSORÇÃO; MICROENCAPSULAÇÃO; SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO; FERMENTAÇÃO.

- * Professor, D.Sc. em Ciência de Alimentos, Escola Agrotécnica Federal de Salinas, Salinas, MG (e-mail: eng13ale@yahoo.com.br).
- ** Professor, DSc em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFL), Lavras, MG (e-mail: sborges@ufla.br).
- *** Professor, DSC em Bioquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ (e-mail: mhrl@ufrj.br).
- **** Professor, DSc em Estatística e Experimentação Agropecuária, UFL, Lavras, MG (e-mail: marcelocirillo@hotmail.com).

1 INTRODUÇÃO

Apesar do “spray drying” ser considerado apenas como processo de secagem, esse é o método de microencapsulação mais antigo e mais utilizado na indústria de alimentos em razão do custo mais baixo, da flexibilidade e por produzir partículas de boa qualidade (GOUIN, 2004). O aumento na demanda de produtos desidratados deve-se à redução de gastos com embalagens, manuseio e transporte, aliado ao aumento da sua vida-de-prateleira (MILLER e LUCAE, 1999).

Define-se o microencapsulamento como o empacotamento de materiais, sólidos, líquidos ou gasosos em minúsculas cápsulas, as quais podem liberar seu conteúdo a taxas controladas em condições específicas (KRISHNAN, KSHIRSAGAR e SINGHAL, 2005). O material revestido denomina-se núcleo ou material encapsulado. Já o material que forma o revestimento é conhecido como matriz, material de parede ou encapsulante (REINECCIU, REINECCIU e PEPPARD, 2002). O tipo de distribuição do núcleo também pode variar de acordo com a técnica de microencapsulamento (GOUIN, 2004).

Ao se expor material biológico à determinada umidade relativa ocorre o fenômeno de transferência de massa para se alcançar equilíbrio dinâmico entre a umidade do produto e a do ambiente. Tal fato acontece quando a pressão de vapor da água na superfície do material se iguala a do ar que o envolve (TREYBAL, 1981). Estuda-se esse fenômeno através das isotermas de adsorção de água, que são representações gráficas da umidade de equilíbrio com diferentes valores de atividade de água (a_w) e temperatura constante (chamadas de curvas de umidade de equilíbrio ou isotermas de adsorção de água). A isoterma de sorção representa o equilíbrio do teor de umidade do material com a umidade relativa do ambiente numa temperatura particular. A característica da isoterma de sorção é única para cada alimento. O equilíbrio do teor de umidade dita a estabilidade física, química e microbiológica dos alimentos, sendo usado também como parâmetro nos modelos de secagem (SOGI et al., 2003; KOCKEL et al., 2002).

As propriedades termodinâmicas dos alimentos relacionam a concentração de água no alimento com sua pressão parcial, a qual é crucial na análise de fenômenos de transporte de massa e calor durante a desidratação. Essas determinam o ponto final no qual o alimento deve ser desidratado para alcançar estabilidade com teor de umidade ótimo e mínima quantidade de energia requerida para remover determinada quantidade de água do alimento. Essas propriedades também fornecem uma idéia da microestrutura associada com a interface alimento-água. A sorção de umidade da atmosfera pelo produto e do produto pela atmosfera ocorrerá durante o armazenamento e envase em embalagens (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2004).

Os principais métodos para se obter as isotermas de sorção em alimentos são o gravimétrico, o manométrico e o higrométrico. O método gravimétrico, mais comum, fornece a mudança do teor de umidade das amostras contínua ou periodicamente, mediante sistema estático (usualmente dessecadores contendo soluções de sais saturadas), ou sistema dinâmico (circulando ar com vazão de escoamento constante). O sistema dinâmico, com contínuo registro das mudanças de massa, é tecnicamente mais complicado que o sistema estático, mas o fluxo do ar em volta da amostra torna o processo de umidificação mais rápido (3h). O comportamento de sorção de vários tipos de alimentos e a influência da temperatura no equilíbrio do conteúdo de umidade tem sido estudado e modelado extensivamente durante os últimos 50 anos. As numerosas expressões matemáticas reportadas na literatura podem ser classificadas como modelos empíricos, semi-empíricos e teóricos. Cada modelo obteve sucesso relativo na reprodução do equilíbrio do conteúdo de umidade, dependendo da faixa de atividade de água ou do tipo de alimento (CORZO e ALÍ FUENTES, 2004). Existem vários modelos capazes de predizer o comportamento de sorção de diversos produtos, descrevendo a relação entre o equilíbrio do conteúdo de umidade e o equilíbrio do conteúdo de umidade relativa para alimentos (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2004; VISWANATHAN, JAYAS e HULASARE, 2003).

Neste trabalho foram construídas isotermas de adsorção de cápsulas de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), obtidas mediante encapsulação por “spray dryer”, utilizando maltodextrina como

material de parede. Assim, pretendeu-se obter isotermas de adsorção de cápsulas de AGCC produzidas por “spray dryer” e avaliar o modelo que melhor explica o comportamento de sorção das cápsulas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de prever o comportamento das isotermas, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isotermas de sorção. Esses modelos, úteis no conhecimento das características dos produtos, em sua maioria são empíricos (Tabela 1).

TABELA 1 - MODELOS PARA AJUSTES DE ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

<i>Nome do modelo</i>	<i>Modelo</i>
Oswin	$X = C(a_w/(1-a_w))^k$
Kulin	$X = (C/\ln(a_w))+k$
Halsey	$X = (-C/\ln(a_w))^{1/k}$
Brunauer	$X = XmCa_w/[(1-a_w)+(C-1)(1-a_w)a_w]$
GAB	$X = (XmCKa_w)/((1-Ka_w)(1-Ka_w + CKa_w))$

Em que:

X = conteúdo de umidade de equilíbrio (Kg/Kg);
 X_m = conteúdo de umidade na monocamada (Kg/Kg);
 a_w = atividade de água (adimensional);
 K e C = constantes das equações (adimensional).

Fonte: VISWANATHAN, JAYAS e HULASARE, 2003.

Com a finalidade de se encontrar os coeficientes das equações citadas, os dados experimentais foram submetidos à análise de regressão não-linear, utilizando-se o aplicativo estatístico ASSISTAT (2003). Segundo PELEG (1993) para avaliar qual o melhor ajuste obtido usa-se o módulo do desvio relativo médio:

$$E = \frac{100}{n_e} \sum \frac{|V_E - V_p|}{V_E}$$

Em que:

V_E = valor experimental;
 V_p = valor predito;
 n_e = número de dados experimentais.

2.1 ISOTERMA DE ADSORÇÃO

Utilizou-se o método estático de ROCKLAND (1957) para a construção das isotermas de adsorção das cápsulas de AGCC. Pesou-se 1 g das cápsulas de AGCC em vidros de relógio, previamente secos em estufa a 50°C/2h e tarados, em triplicata. Esses foram colocados sobre tripés dentro dos dessecadores para cada temperatura de análise e para cada uma das soluções salinas saturadas, conforme mostra a Tabela 2. As soluções salinas saturadas foram preparadas em suas respectivas temperaturas de análise. As temperaturas avaliadas foram de 25°C e 40°C. Aferiu-se a umidade relativa das soluções salinas com higrômetro de cabo da IMPAC, modelo HD9216. A avaliação do ganho e perda de umidade, mediante pesagem dos vidros relógios, foi realizada diariamente até que as amostras

entrassem em equilíbrio (cerca de 21 dias). Após essa condição ter sido alcançada, o material foi submetido à análise de umidade de acordo com o IAL (1977).

**TABELA 2 - ATIVIDADE DE ÁGUA CORRESPONDENTE
AOS SAIS UTILIZADOS**

Sais	a_w	25°C	40°C
LiCl	0.12		0.11
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.33		0.31
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	0.53		0.51
NaCl	0.75		0.72
KCl	0.86		0.84

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ISOTERMA DE ADSORÇÃO

A Tabela 3 relaciona os valores médios de umidade (equilíbrio, após 21 dias) para a construção das isotermas de adsorção.

**TABELA 3 - UMIKIDADE DE EQUILÍBRIO PARA AS CÁPSULAS DE AGCC EM FUNÇÃO DA
TEMPERATURA E DA ATIVIDADE DE ÁGUA**

Solução Saturada	gH ₂ O/100 g.S.S (25°C)	gH ₂ O/100 g.S.S (40°C)
LiCl	1.66	1.52
MgCl ₂ .6H ₂ O	2.26	2.29
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	3.23	3.15
NaCl	4.75	4.69
KCl	5.58	5.41

A umidade regula o comportamento de cristalização de pós amorfos que determina suas características de armazenamento, pegajosidade e características de fluxo. O aumento da quantidade e variedade de produtos em pó produzido pelas indústrias exige informações sobre seu manuseio e características de processamento, devido sua complexidade. Alimentos em pó são propensos à aglomeração e à formação de torta. Uma vez que a água é o fator responsável por esses problemas, isotermas de adsorção são ferramentas úteis para o entendimento da relação da umidade do pó e seus problemas de estabilidade. A isoterma de adsorção constitui avaliação quantitativa do efeito da umidade relativa no teor de umidade do pó (FOSTER, BRONLUND e PATERSON, 2005).

Depois de alcançar o equilíbrio nos diferentes ambientes de atividade de água e de temperaturas estabelecidas no planejamento da isoterma de adsorção (Tabela 2), as cápsulas de AGCC sofreram acréscimo de umidade em condições similares do 1º a 21º dia. Assim, as cápsulas de AGCC absorvem umidade rapidamente e estão perto do equilíbrio dentro de 24h independente das condições de umidade relativa do ambiente. O teor de água do produto mostrou tendência de aumento com o incremento dos valores de a_w , semelhante ao comportamento observado por ASCHERI (2003) em farinhas de arroz e ao comportamento de pós de beterraba, cenoura e abóbora verificado por COSTA, MEDEIROS e MATA, 2003.

As isotermas de adsorção podem prover dados sobre a estabilidade da vida-de-prateleira das cápsulas de AGCC. Um parâmetro importante é o teor de umidade da monocamada (X_m) que ajuda a definir a estabilidade física e química dos alimentos, uma vez que exerce influência direta na preservação do sabor e aroma encapsulados e da estrutura das cápsulas (SHRESTHA et al., 2006). Os valores da monocamada definidos pela equação de GAB ficaram entre 4.63 e 5.89 g/100 g de sólidos secos. Os valores dos teores de umidade da monocamada indicaram que as cápsulas de AGCC são estáveis ao conteúdo de umidade por volta de 5 g/100 g de sólidos secos. Acima desses valores críticos de conteúdo de umidade, a estabilidade das cápsulas de AGCC será menor.

Os valores de X_m diminuíram significantemente com o aumento da temperatura. Isto pode ser atribuído à redução do número de zonas ativas como resultado de mudanças físicas e/ou químicas induzidas pela temperatura (IGLESIAS e CHIRIFE, 1976).

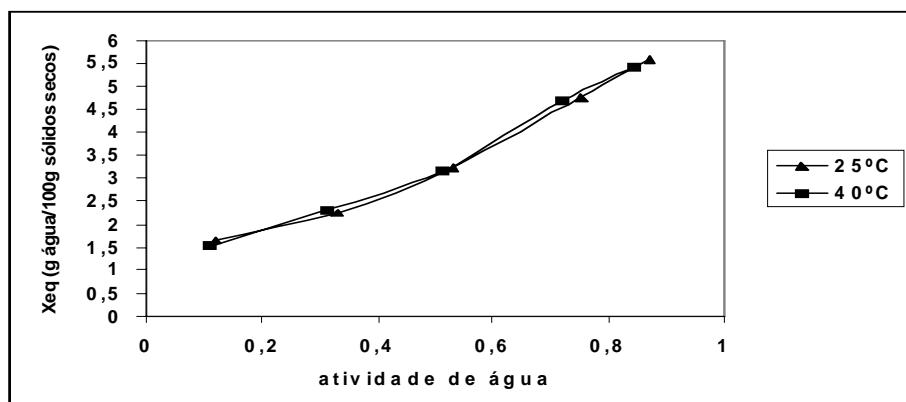
MEDEIROS et al. (2006) desidrataram cupuaçu em “spray dryer” e utilizaram a equação de GAB, obtendo o valor de 4,93 g/100 g de sólidos secos para X_m a 25°C.

As isotermas de adsorção experimentais a 25 e 40°C estão apresentadas na Figura 1. Verificou-se que as isotermas são do tipo III (formato de J), características de alimentos com alto teor de açúcar na classificação da IUPAC conforme HÉRBRARD et al. (2003). Pode-se notar que grandes quantidades de água foram adsorvidas em valores altos de atividade de água em razão da dissolução da maltodextrina (GOGUS, MASKAN e KAYA, 1998). A constante C também mostra a característica da isoterma. Se C<10 a isoterma é do tipo III. Observou-se que todos os modelos apresentaram C<10, então todas as isotermas são do tipo III (GOGUS, MASKAN e KAYA, 1998).

TOSTES, RIBEIRO e GRANDI (1996) obtiveram o formato do Tipo III ao construir isotermas de adsorção para vários produtos produzidos em “spray dryer”, utilizando maltodextrina. Notou-se umedecimento de todas as amostras sob condições similares de 1 a 21 dias e que essas apresentavam o mesmo conteúdo de umidade.

A Figura 1 mostra as isotermas de adsorção experimentais de umidade a 25 e 40°C.

FIGURA 1 - ISOTERMA DE ADSORÇÃO EXPERIMENTAL DAS CÁPSULAS DE AGCC A 25°C E 40°C



3.2 MODELOS MATEMÁTICOS

Os dados experimentais das isotermas de adsorção foram ajustados para os modelos descritos. Na Tabela 4 são mostrados os valores dos parâmetros calculados para os ajustes, além do coeficiente de determinação (R^2) e do erro relativo médio (E).

O desempenho de ajuste para cinco modelos de atividade de água para adsorção em duas temperaturas foi avaliado. Analisando os coeficientes de correlação, os modelos de Oswin e Halsey apresentaram os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2) e os menores valores do módulo

do desvio relativo médio (E) para as temperaturas analisadas. Por apresentar o menor valor para E em ambas as temperaturas estudadas, a equação de Oswin é o modelo mais adequado para descrever as isotermas de adsorção, ou seja, poderia explicar o fenômeno de adsorção das cápsulas de AGCC. Geralmente, assume-se que bom ajuste é obtido quando $E < 5\%$ (MC LAUGHLIN e MAGEE, 1998).

TABELA 4 - VALORES DOS PARÂMETROS DOS MODELOS DE ISOTERMAS DAS CÁPSULAS DE AGCC

Modelo	Temperatura	Coeficientes		R²	E (%)
		°C	C		
Oswin	25	3.104	0.323	0.98	0.32
	40	3.034	0.323		
Kulin	25	-0.561	1.968	0.87	6.27
	40	-0.546	1.924		
Halsey	25	9.453	2.391	0.96	2.50
	40	7.047	2.238		
Brunauer	25	2.895		0.44	17.91
	40	2.132			
GAB	25	0.252	0.004	0.92	23.98
	40	0.507	0.000		

FIGUEIREDO (1998) verificou que o modelo de Oswin apresentou bom ajuste para isotermas de suco de acerola microencapsulado, podendo ser utilizado para explicar a adsorção desse produto.

As Figuras 2 e 3 mostram as curvas ajustadas para cada modelo descrito na Tabela 2 nas temperaturas de 25 e 40°C, respectivamente.

FIGURA 2 - ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DAS MICROCÁPSULAS A 25°C, UTILIZANDO VALORES PREDITOS PELOS MODELOS

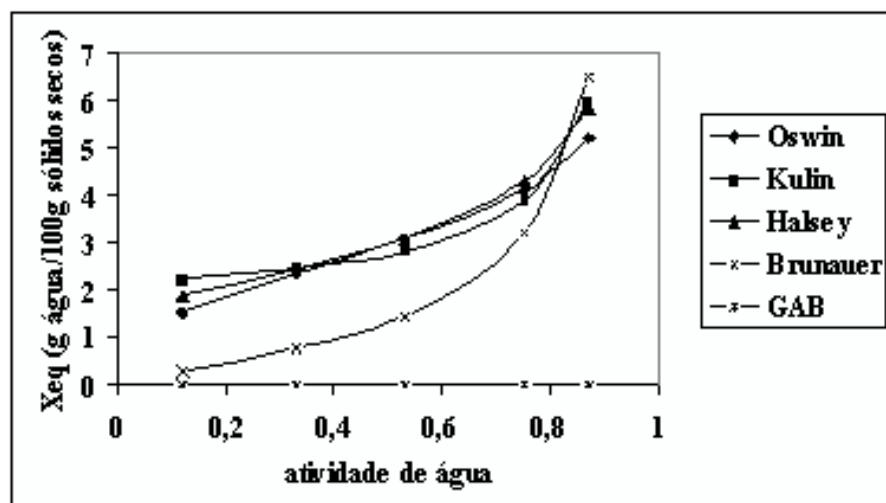
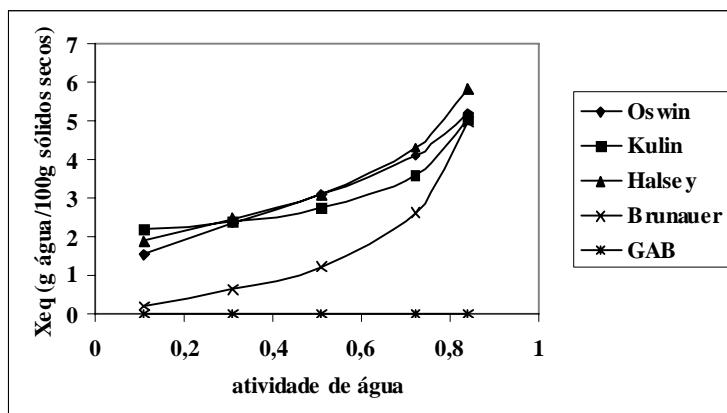


FIGURA 3 - ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DAS MICROCÁPSULAS A 40°C, UTILIZANDO VALORES PREDITOS PELOS MODELOS



4 CONCLUSÃO

O modelo que melhor representou os resultados das isotermas de adsorção das cápsulas de AGCC foi o de Oswin, apresentando valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,98 e valor do módulo do desvio relativo médio de 0,32 e 0,13% para as temperaturas de 25 e 40°C, respectivamente.

O X_m diminui significantemente com o aumento da temperatura.

As cápsulas de AGCC sofreram acréscimo de umidade sob condições similares do 1º ao 21º dia, indicando que absorvem umidade rapidamente e estão perto do equilíbrio dentro de 24h.

O teor de água do produto mostrou tendência de aumento com o incremento dos valores de a_w .

Os valores dos teores de umidade da monocamada indicaram que as cápsulas de AGCC são estáveis ao conteúdo de umidade por volta de 5 g/100 g de sólidos secos. Acima desses valores críticos de conteúdo de umidade, a estabilidade das cápsulas de AGCC será menor.

ABSTRACT

WATER SORPTION ISOTHERMS OF SHORT CHAIN FATTY ACID (SCFA) CAPSULES: EVALUATION OF MATHEMATICAL MODELS

Short chain fat acids (SCFA) were produced using whey permeate as raw material. The fermentative process was conducted by batch fermentation (30°C/72h) on a bioreactor by *Propionibacterium freudenreichii* PS1 and the microencapsulation process was carried out on a laboratory spray dryer (inlet air temperature: 180-200°C; feed flow rate: 24 g/min) using maltodextrin (10% dry matter) as wall material. Five mathematical models of the literature and widely applied in the prediction of moisture adsorption isotherms were analyzed. The experimental points of the moisture adsorption isotherms of the product at 25°C and 40°C were fitted by regression analysis. This study aimed to determine a model that better explains the water exchange between the atmosphere and the capsules of SCFA. Regression analysis was used to adjust the mathematical models to the experimental data of the adsorption isotherm. The software ASSISTAT 6.6 was used to fit the models. The Oswin equation ($E_{25^\circ\text{C}}=0.32\%$ e $E_{40^\circ\text{C}}=0.13\%$) presented the best results among tested models.

KEY-WORDS: ADSORPTION ISOTHERM; MICROENCAPSULATION; SPRAY DRYER; FERMENTATION.

REFERÊNCIAS

- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: thermodynamic characteristics. *Journal of Food Engineering*, v.62, n.2, p. 135-142, Apr. 2004.
- ASCHERI, D. P. R. Características de adsorção de água de la harina de arroz soluble a varias temperaturas. *Alimentaria*, v. 40, n.349, p.111-119, 2003.
- ASSISTAT Versão 6.6 beta. Campina Grande-PB: Departamento de Engenharia Agrícola da UFCG, 2003.

- 4 CORZO, O.; FUENTES, A. Moisture sorption isotherms and modeling for pre-cooked flours of pigeon pea (*Cajanus cajans L.* Mills) and lima bean (*Canavalia ensiformis*). **Journal of Food Engeneering**, v. 65, n.3, p. 443-448, Dec. 2004.
- 5 COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. da. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris L.*), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Ducus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.1, p.5-9, 2003.
- 6 FIGUEIRÉDO, R. M. F. **Caracterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia punicifolia*, L.)**. Campinas, 1998. 104 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- 7 FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON, A. H. J. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 411-418, Abr. 2005
- 8 GOGUS, F.; MASKAN, M.; KAYA, A. Sorption isotherms of Turkish delight. **Journal of Food Protection**, v.22, p.345-357, 1998.
- 9 GOUIN, S. Microencapsulation industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 7-8, p. 330-347, Ago. 2004.
- 10 HÉRBRARD, A.; OULAHNA, D.; GALET, L.; CUQ, B. ; ABECASSIS, J.; FAGES, J. Hydration properties of durum wheat semolina: influence of particle size. **Powder Technology**, v.130, n. 1-3, p. 211-218, Fev. 2003.
- 11 IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos físicos e químicos para análise de alimentos. 2. ed. São Paulo, 1977.
- 12 IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. BET monlayer in dehydrated foods and food components. **Lebsmu. Technol.**, v. 2, n.9, p. 107-113, 1976.
- 13 KOCKEL, T. K.; ALLEN, S.; HENNIGS, C.; LANGRISH, T. A. G. An experimental study of the equilibrium for skim milk powder at elevated temperature. **Journal of Food Engineering**, v.51, p. 291–297, 2002.
- 14 KRISHNAN, S.; KSHIRSAGAR, A. C.; SINGHAL, R. S. The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 62, n. 4, p. 309-315, Dez. 2005.
- 15 MCLAUGHLIN, C. P.; MAGEE, T. A. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 35, p. 267-280, 1998.
- 16 MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M.; LANNES, S. C. S. Sorptions isotherms of cocoa and cupuassu products. **Journal of Food Engineering**, n. 73, p. 402-406, Mar. 2006.
- 17 MILLER, E.; LUCAE, T. Real tomato powder. **Food Marketing and Technology**, v.13, n.1, p.18-20, 1999.
- 18 PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 16, n. 1, p. 21-37, 1993.
- 19 REINECCIUSS, T. A.; REINECCIUSS, G. A.; PEPPARD, T. L. Encapsulation of flavors using cyclodextrins: comparison of flavor retention in a, b and g types. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 3271–3279, 2002.
- 20 ROCKLAND, L.B. A new treatment of hygroscopic equilibria: application to walnuts (*Juglans regia*) and other foods. **Food Research**, v.22, p.604-628, 1957.
- 21 SHRESTHA, A.; HOWES, T.; ADHIKARI, B.; BHANDARI, B. Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. **Food Science and Technology**, v.40, n. 9, p. 1-8, Nov. 2006.
- 22 SOGI, B. S.; SHIVHARE, V. S.; GARE, S. K.; BAWA, A. S. Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds. **Biosystems Engineering**, v.84, n.3, p. 297-301, 2003.
- 23 TOSTES, E.; RIBEIRO, C.; GRANDI, J.G. Utilização de equações de dois e três parâmetros na modelagem matemática da isotermia de adsorção a 15°C do pó de marapuama (*Ptycopetalum olacoides* benth). In: CONGRESO IBERO-AMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, 1., 1996, Valencia. **Anais...** Valencia: Espana, 1996. p. 304-314.
- 24 TREYBAL, R.E. **Mass transfer operations**. 3rd ed. Auckland: McGraw-Hill, 1981.
- 25 VISWANATHAN, R.; JAYAS, D. S.; HULASARE, R. B. Sorption isotherms of tomato slices and onion shreds. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 4, p. 465-472, Dez. 2003.