

0049 – PT2 - 132

**ISOTERMAS DE ADSORÇÃO, PROPRIEDADES
TERMODINÂMICAS E FÍSICOQUÍMICAS DA FARINHA DE
PINHÃO.**

F. Cladera-Olivera¹, A.C.Pettermann², C.P.Z. Noreña², K. Wada¹, L.D.F.Marczak¹

¹ Departamento de engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rua Luis Englert s/n, Campus Central, CEP: 90040-000 - Porto Alegre – RS - Brasil.

Telefone: (51) 3316.3304 - Fax: (51) 3316.3277 – email: fcladera@yahoo.com, ligia@enq.ufrgs.br, keiko@enq.ufrgs.br

² Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, CEP: 91540-000 - Porto Alegre – RS – Brasil

Telefone: (51) 3316.6673 - Fax: (51) 3316.7048 – email: czapatan@ufrgs.br.

RESUMO – O pinhão é a semente comestível da *Araucaria angustifolia*, possui excelentes características nutritivas e energéticas e pode ser considerado como uma fonte de amido, fibra dietética, magnésio e cobre. As sementes têm uma atividade de água muito elevada provocando uma rápida contaminação por fungos, dificultando a sua comercialização. Um dos processos empregados pela tecnologia de alimentos, com a finalidade de obter produtos estáveis a partir de sementes, é a produção de farinhas. Neste trabalho são apresentadas as isotermas de adsorção da farinha de pinhão a 10, 20, 30 e 40° C. O modelo de Chirife foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. A entalpia diferencial foi calculada através da equação de Clausius-Clapeyron, diminuindo com o aumento da umidade. A entropia diferencial apresentou o mesmo comportamento. As características físico-químicas da farinha também foram determinadas, apresentando um alto teor de amido (63,9%) e um teor de proteínas de 5,29%.

PALAVRAS-CHAVE: instruções pinhão; *Araucaria angustifolia*; isotermas de sorção; propriedades termodinâmicas.

ABSTRACT – The seeds of *Araucaria angustifolia*, named *pinhão*, have excellent nutritious and energetic characteristics and it can be considered as a source of starch, dietary fiber, magnesium and copper. Since the seeds have a very high water activity they can be contaminated easily by mushrooms, hindering its commercialization. One of the processes employed by the food technology, with the purpose to obtaining stable products starting from seeds, is the production of flours. In this work, moisture adsorption isotherms of *pinhão* flour were determined at 10, 20, 30 and 40°C. The Chirife model was found to best represent the experimental data. The differential enthalpy was calculated through direct use of moisture adsorption isotherm by applying the Clausius-Clapeyron equation. The differential enthalpy decreased with increasing moisture content and the differential entropy presented the same behavior. The characteristics physical-chemistries of the flour were also certain, presenting a high text of starch (63,9%) and a text of proteins of 5,29%.

1. INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* pertence à família Araucariaceae e é a principal espécie de conífera nativa brasileira de importância econômica (Zandavalli et al., 2004). A sua distribuição geográfica inclui a Argentina e o Brasil, onde se concentra nos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo que a consolidação da cadeia produtiva deste produto é importante para o desenvolvimento regional. Além disso, o incremento do hábito de consumo poderia constituir-se em elemento fundamental à preservação da araucária, fortemente ameaçada de extinção.

O pinhão é geralmente consumido após cozimento e posterior descascagem. As sementes podem ser consideradas como fonte de amido, fibra dietética, magnésio e cobre (Cordenunsi et al., 2004). A literatura a respeito de aspectos tecnológicos deste produto é praticamente nula. O pinhão tem uma umidade e uma atividade de água muito altas, sendo facilmente contaminado por fungos durante a estocagem, dificultando a sua comercialização. Um dos processos empregados pela tecnologia de alimentos, com a finalidade de obter produtos estáveis a partir de sementes, é a produção de farinhas. Esta seria também uma forma de ampliar o consumo do pinhão, já que o endosperma possui alta porcentagem de amido e não é um produto disponível atualmente no mercado.

As isotermas de sorção descrevem a relação entre a atividade de água (a_w) e a umidade de equilíbrio (X_{eq}). Constituem uma ferramenta muito valiosa para cientistas e tecnólogos, pois podem ser utilizadas para prever mudanças na estabilidade dos alimentos, para determinar métodos de estocagem, selecionar embalagens e ingredientes e para o subsequente

desenvolvimento e otimização de equipamentos de secagem (Stenel, 2004). Portanto, a avaliação experimental das características de sorção e o desenvolvimento e utilização de modelos matemáticos podem ajudar na melhoria do processamento de alimentos (McMinn & Magee, 2003). Uma grande quantidade de trabalhos tem sido desenvolvida nas últimas duas décadas sobre isotermas de sorção de diversos alimentos e sua dependência com a temperatura. Não existe uma equação geral para isotermas de alimentos uma vez que a atividade de água depende fortemente da composição dos alimentos e da interação dos diferentes constituintes com a água em condições de equilíbrio termodinâmico (Welti-Chanes & Vergara, 1997). Numerosas equações matemáticas podem ser encontradas na literatura que descrevem isotermas de sorção. Algumas destas equações foram utilizadas neste trabalho e são apresentadas na Tabela 1.

A entalpia diferencial (ou calor de sorção) proporciona uma medida da força da ligação água-sólido. Um procedimento computacional rápido, comumente utilizado para a sua determinação, é a aplicação da equação de Clausius-Clapeyron às isotermas de sorção para uma umidade constante (McMinn & Magee, 2003). O conhecimento da magnitude da entalpia diferencial a uma determinada umidade fornece uma indicação do estado da água adsorvida e, portanto, uma medida da estabilidade física, química e microbiológica em determinadas condições de estocagem. Além disso, a variação da entalpia diferencial com o conteúdo de umidade e a magnitude relativa do calor de vaporização da água pura proporcionam dados para o cálculo do consumo de energia e subsequente desenho de equipamentos de secagem (McMinn & Magee, 2003).

A entropia diferencial (ΔS) de um material é proporcional ao número de sítios de sorção

disponíveis num nível de energia específico (Madamba et al., 1996).

Tabela 1. Modelos de isotermas utilizados

Nome da equação	Equação
BET (Brunauer et al., 1938)	$\frac{aw}{(1-aw).X} = \frac{1}{X_m.C} + \frac{(C-1)aw}{X_m.C}$
GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) (Van den Berg, 1985)	$X = \frac{X_m.C.K.aw}{(1-K.aw) \times (1-K.aw + C.K.aw)}$
Helsey (Helsey, 1948)	$aw = \exp\left(-\frac{A}{X^B}\right)$
Peleg (Peleg, 1993)	$X = k_1.aw^{n_1} + k_2.aw^{n_2}$
Oswin (Lomauro et al., 1985)	$X = A\left(\frac{aw}{1-aw}\right)^B$
Chung - Pfof (Chung & Pfof, 1967)	$\ln(aw) = -A.exp(-B.X)$
Henderson (Henderson, 1952)	$(1-aw) = \exp(A.X^B)$
Chirife (Castillo et al., 2003)	$X = \exp[A + B.\ln(C - \ln aw)]$
Smith (Smith, 1947)	$X = A + (B.\log(1-aw))$

X, umidade de equilíbrio (kg kg⁻¹ sólidos secos); aw, atividade de água; X_m, conteúdo de umidade de monocamada (kg kg⁻¹ sólidos secos); A, B, C, K, k₁, k₂, n₁, n₂, k, parâmetros das equações.

Os objetivos deste trabalho foram: (1) avaliar as características físico-químicas da farinha de pinhão; (2) obter as isotermas de adsorção da farinha em determinadas temperaturas; (3) descrever os dados experimentais utilizando modelos matemáticos descritos na literatura e (4) determinar algumas funções termodinâmicas (entalpia e entropia diferenciais).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima

Na fabricação da farinha foi utilizado pinhão da safra 2005, sendo adquirido no Mercado Público de Porto Alegre (RS) e

estocado a 4° C em sacos de polietileno até o uso (por um período não superior a duas semanas). As sementes utilizadas possuíam um tamanho de 4,5-6,9 cm e 1,7-2,8 cm e um peso médio de 6,29 ± 1,3 g. As cascas corresponderam a aproximadamente 30% do peso dos pinhões.

2.2 Produção da farinha

As sementes foram descascadas manualmente, sendo também retirada a pele interna e cortadas em rodela uniformes com aproximadamente 3 mm de espessura. Posteriormente, foi realizada a desidratação das rodela de pinhão em secador de ar quente (projetado no ICTA/UFRGS), a 70° C durante 16 horas. O produto seco foi moído em moinho de martelos marca Fritsch - Pulverizette, com tamanho de malha Tyler N° 35, a 12000 rpm, para a produção da farinha. Esta foi disposta em embalagens de polietileno contendo aproximadamente 500 gramas, fechada hermeticamente com selador marca Barbie e armazenada à temperatura ambiente até utilização (por um período não superior a 3 meses).

2.3 Análises físico-químicas

As propriedades físico-químicas da farinha (umidade, pH, acidez, proteínas, lipídeos, resíduo mineral fixo, amido, açúcares redutores em glicose e açúcares não redutores em sacarose) foram analisadas através dos métodos padrão de análise (Carvalho et al., 2002) no laboratório de Bromatologia do ICTA/UFRGS.

2.4 Isotermas da farinha

As isotermas de adsorção foram determinadas utilizando o método gravimétrico, recomendado como método standard (Speiss &

Wolf, 1987). Para tanto, utilizaram-se soluções salinas saturadas no interior de frascos hermeticamente fechados, que, sob determinada temperatura, conferiam ao interior de cada frasco uma umidade relativa de equilíbrio conhecida. Os sais utilizados foram: cloreto de lítio, acetato de potássio, cloreto de magnésio, carbonato de potássio, nitrito de potássio, cloreto de sódio, cloreto de potássio, cloreto de bário e sulfato de cobre. Amostras de farinha foram colocadas em triplicata no interior dos frascos e estes foram acondicionados em câmara termostática com circulação interna de ar (marca Tecnal, modelo TE-381 com faixa de operação entre -10°C e $50^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$) até atingir o equilíbrio (entre 30 e 40 dias). Para evitar o crescimento de fungos nos frascos cujo teor de umidade era superior a 50%, foram colocados dois pequenos recipientes contendo 1 mL de tolueno. Ao alcançar o equilíbrio, a umidade das amostras foi avaliada. Foram determinadas as isotermas de adsorção nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C .

2.5 Análise de dados

Os dados experimentais obtidos foram ajustados às equações da Tabela 1 utilizando o módulo de regressão não linear do programa *Statistica 5.0* (Statsoft, USA). As regressões foram realizadas utilizando pelo menos 2 métodos de otimização diferentes e realizando varias repetições com valores iniciais diferentes para garantir a convergência. Para avaliar a qualidade do ajuste de cada modelo foram utilizados o coeficiente de regressão (r^2) e o erro médio relativo (EMR), definido como:

$$EMR = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_{ei} - X_{pi}|}{X_{ei}} \quad (1)$$

onde X_e e X_p são, respectivamente, a umidade de equilíbrio experimentais e preditos (kg água kg^{-1} sólidos secos) e, N e o número de pontos

experimentais. O EMR é amplamente utilizado na literatura para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos de isotermas de sorção. Quanto menor o seu valor, melhor é o ajuste e geralmente é considerado que valores menores do que 10% indicam um ajuste adequado (Loumaro et al., 1985).

Cálculo da entalpia e da entropia diferenciais de sorção: A entalpia diferencial de sorção pode ser determinada através das isotermas de sorção utilizando a seguinte equação, derivada da equação de Clausius-Clapeyron (Tsami, 1991):

$$\Delta h = -R \left[\frac{\partial \ln(aw)}{\partial (1/T)} \right]_X \quad (2)$$

e,

$$\Delta h = \Delta H - \Delta H_{vap} \quad (3)$$

onde aw é a atividade de água, Δh a entalpia diferencial de sorção (kJ mol^{-1}), ΔH o calor total de sorção (kJ mol^{-1}), ΔH_{vap} o calor latente de vaporização da água (kJ mol^{-1}), R a constante universal dos gases ($\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$), X a umidade de equilíbrio (kg água kg^{-1} sólidos secos) e T a temperatura absoluta (K).

A entalpia diferencial de sorção (Δh) pode ser calculada a partir da Eq. (2) plotando $\ln(aw)$ versus $1/T$ para umidades específicas e determinando a tangente da reta, igual a $-\Delta h/R$. Este procedimento é repetido para diferentes umidades a fim de determinar a dependência de Δh com a umidade de equilíbrio. As entalpias diferenciais de sorção foram determinadas para diferentes umidades através da Eq. (2) utilizando o método dos mínimos quadrados e o modelo de isoterma que melhor se ajustou aos dados para determinar o valor da aw para cada umidade. Este procedimento assume que Δh

não varia com a temperatura e requer dados de modelos de isotermas de no mínimo três temperaturas (Tsami, 1991).

A relação entre a entalpia diferencial (Δh) e a entropia diferencial (ΔS) de sorção é dada por:

$$(\ln aw)_x = -\frac{\Delta h}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (4)$$

e, portanto, a entropia de sorção é obtida do coeficiente linear ($\Delta S/R$) da reta obtida graficando $\ln(aw)$ versus $1/T$ para uma determinada umidade do material (McMinn & Magee, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados das análises físico-químicas da farinha de pinhão. Pode ser observado que esta possui um alto teor de amido (63,9%). A alta umidade do pinhão (aprox. 45-50%) é reduzida drasticamente no processo de produção da farinha.

Tabela 2: Análises físico-químicas da farinha .

Análise	Resultado
Umidade (% bu)	5,83 ± 0,02
Atividade de água (a 25° C)	0,305 ± 0,03
Proteína (%bu)	5,29 ± 0,06
Lipídeos (%bu)	2,35 ± 0,05
Resíduo mineral fixo (%bu)	2,52 ± 0,1
Amido (% bu)	63,9 ± 0,5
Açúcares redutores (% bu)	1,52 ± 0,01
Açúcares não redutores (% bu)	5,67 ± 0,04
Acidez (mL de NaOH 0,1N)	3,02 ± 0,07
pH	5,75 ± 0,1

A Figura 1 mostra as curvas experimentais obtidas relacionando a umidade de equilíbrio da farinha de pinhão com a sua atividade de água para as temperaturas estudadas. Como esperado, a umidade de

equilíbrio diminui com o decréscimo da atividade de água (aw) para uma determinada temperatura. Além disso, as curvas são bastante próximas, o que indica que a influência da temperatura (entre 10 e 40°C) é pequena nas isotermas de adsorção da farinha de pinhão. Resultados similares para as sementes de pinhão foram encontrados para temperaturas entre 15 e 40° C (Cladera-Olivera et al., 2005).

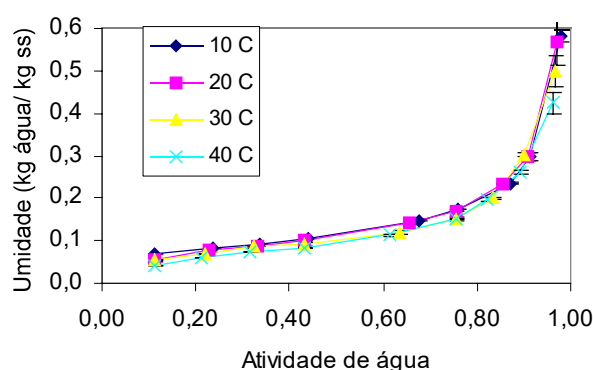


Figura 1: Valores experimentais de umidade de equilíbrio (base seca) em função da atividade de água (aw) para farinha de pinhão em diferentes temperaturas.

Os parâmetros para os modelos de adsorção da farinha são mostrados na Tabela 2, em conjunto com o coeficiente de correlação e o erro relativo médio (ERM). O modelo de Chirifé foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais na faixa de temperaturas estudada, seguido do modelo de Helseyl e de Peleg. O modelo de Chirifé apresentou valores de ERM entre 0,99% e 6,44% (valor médio 3,34%). Já o modelo de Helseyl apresentou valores entre 1,72% e 6,23% (valor médio 3,59%) e o modelo de Peleg apresentou um valor médio de 4,14%. Estes três modelos apresentaram valores de ERM menores que 10% para todas as temperaturas.

Tabela 2: Coeficientes e erro relativo medio (ERM) obtidos para modelos de sorcao aplicados aos dados experimentais para a farinha de pinhao.

Modelo	Constante	Temperatura				Media
		10° C	20° C	30° C	40° C	
BET	X _m	0,01454	0,01744	0,01853	0,01895	53,99
	C	933864	566160	1538632	892915	
	r ²	0,6252	0,6990	0,7137	0,6944	
	ERM (%)	60,95	55,16	51,65	48,19	
GAB	X _m	0,04757	0,04859	0,04733	0,04742	9,47
	C	3922609	1618587	2728997	113,3458	
	K	0,93689	0,93803	0,93490	0,92250	
	r ²	0,9814	0,9904	0,9946	0,9975	
	ERM (%)	15,05	9,45	7,49	5,90	
Helsey	A	0,00710	0,00897	0,00884	0,00759	3,59
	B	2,09503	1,96381	1,91400	1,93544	
	r ²	0,9997	0,9997	0,9933	0,9956	
	ERM (%)	1,72	2,04	4,35	6,23	
Peleg	k ₁	0,18502	0,18967	0,13876	0,14688	4,14
	k ₂	0,57541	0,57390	0,51348	0,40888	
	n ₁	0,56177	0,65265	0,44702	0,58879	
	n ₂	16,64885	15,25297	10,62800	9,97588	
	r ²	0,9970	0,9979	0,9997	0,9981	
	ERM (%)	6,05	5,42	2,10	2,99	
Oswin	A	0,11013	0,10747	0,10089	0,09685	8,86
	B	0,43398	0,45991	0,46894	0,45679	
	r ²	0,9931	0,9963	0,9895	0,9971	
	ERM (%)	9,80	8,14	11,73	5,76	
Chung-Pfost	A	2,41682	2,25529	2,30348	2,41938	27,90
	B	9,71330	9,33380	10,06193	11,23833	
	r ²	0,8898	0,9009	0,8963	0,9306	
	ERM (%)	27,60	28,95	30,19	24,87	
Henderson	A	-6,75778	-6,42535	-6,78527	-8,21692	27,65
	B	0,93339	0,91137	0,91681	1,01031	
	r ²	0,9357	0,9504	0,9493	0,9655	
	ERM (%)	29,69	28,71	29,10	23,11	
Chirife	A	-2,34507	-2,40885	-2,51639	-2,57765	3,34
	B	-0,46009	-0,51916	-0,58317	-0,61225	
	C	-0,00237	0,00156	0,01105	0,02152	
	r ²	0,9998	0,9998	0,9946	0,9988	
	ERM (%)	0,99	2,18	6,44	3,77	
Smith	A	0,02277	0,01549	0,01500	0,01746	18,64
	B	-0,29683	-0,31182	-0,29315	-0,26405	
	r ²	0,9431	0,9513	0,9512	0,9747	
	ERM (%)	19,78	19,73	20,96	14,07	

As entalpias de adsorção foram calculadas aplicando a equação de Clausius-Clapeyron aos dados experimentais. O modelo de Chirife foi previamente utilizado para determinar os valores de a_w para cada conteúdo de umidade. A Figura 3 mostra os resultados obtidos. Conforme pode ser analisado pela figura, a entalpia diferencial tem uma grande dependência com a umidade, já que a energia requerida para a sorção aumenta com a diminuição da umidade de equilíbrio. A entalpia de sorção é alta a baixos conteúdos de umidade e decresce rapidamente com o aumento da umidade, tornando-se assintótica a um valor de umidade de aproximadamente 0.25 kg/kg (bs).

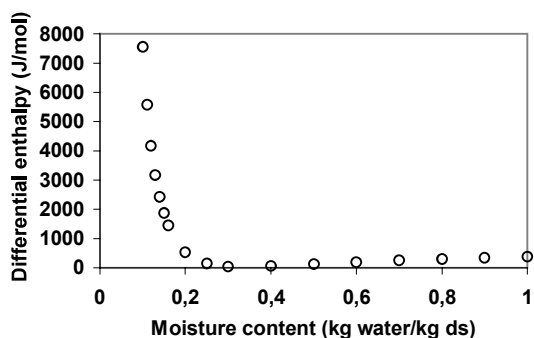


Fig. 3. Entalpia diferencial de adsorção da farinha de pinhão em função do conteúdo de umidade de equilíbrio.

Os valores de entropia diferencial de adsorção (ΔS) a determinada umidade foram calculados através de regressão linear, sendo que os resultados estão mostrados na Figura 4. Pela análise desta figura observa-se que também a entropia diferencial apresenta uma forte dependência com a umidade, decrescendo rapidamente à medida que a umidade aumenta entre os valores de 0,10 e 0,2.

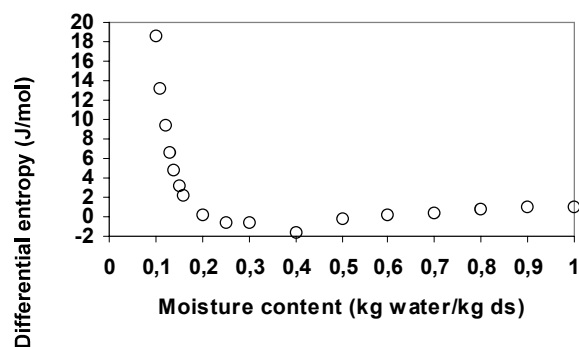


Fig. 4. Entropia diferencial de adsorção da farinha de pinhão em função da umidade de equilíbrio.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas as isotermas de adsorção da farinha de pinhão. Os resultados mostraram que a temperatura, na faixa estudada (10 a 40°C) tem um efeito pequeno nas isotermas de adsorção. O modelo de Chirife, foi o que melhor se ajustou aos dados. A entalpia diferencial de adsorção foi calculada utilizando a equação de Clausius-Clapeyron, sendo decrescente com o aumento da umidade e tornando-se assintótico a um valor de umidade de aproximadamente 0.25 kg/kg (bs). A entropia diferencial apresentou a mesma tendência.

5. REFERÊNCIAS

- AGUERRE, R.J.; SUEAREZ, C.; VIOLLAZ, P.E. (1986). Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena: application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. *Journal of Food Science*, 51 (6), 1547-1549.
- AJIBOLA, O.O.; AVIARA, N.A.; AJETUMBI, O.E. Sorption equilibrium and thermodynamic properties of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Engineering*, 58, 317-324.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. (1938). Adsorption of gases in multi-molecular



- layers. *Journal of American Chemical Society*, 60, 309-320.
- CARVALHO, H.H.; JONG, E.V. BELLÓ, R.M.; SOUZA, R.B.; TERRA, M.F.(2002). *Alimentos: Métodos Físicos e Químicos de Análise*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS.
- CASTILLO, M.D.; MARTÍNEZ, E. J.; GONZÁLEZ, H.H.L.; PACIN, A.M.; RESNIK, S.L. (2003) Study of mathematical models applied to sorption isotherms of Argentinean black bean varieties *Journal of Food Engineering*, 60, 343–348.
- CHUNG, D.S. & PFOST, H.B. (1967). Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 10, 549-551.
- CLADERA-OLIVERA, F.; NOREÑA, C.Z.P.; WADA, K.; MARCZAK, L.D.F. Sorption Equilibrium of Brazilian Pine (*Araucaria Angustifolia*) Seeds. Anais do 4th Mercosul Congress on Process Systems Engineering, 2005.
- CORDENUNSI, B.R.; MENEZES, E.W.; GENOVESE, M.I.; DOLLI, C.; SOUZA, A.G. LAJOLO, F.M. (2004). Chemical composition and glycemic index of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 3412-3416.
- HELSEY, G. (1948). Physical adsorption on non-uniform surfaces. *Journal of Chemistry and Physics*, 16, 931-937.
- HENDERSON, S. M. (1952). A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering*, 33, 29-32.
- LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. (1985). Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 18(2), 111-117.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. (1996). Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. *Journal of Food Engineering*, 28, 109-119.
- MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. *Journal of Food Engineering*, 60. 157-165.
- PELEG, M. (1993). Assessment of a semi empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *Journal of Food Processing Engineering*, 16(1), 21-37.
- SMITH, S.E. (1947). The sorption of water vapour by high polymers. *Journal of the American Chemical Society*, 69, 646.
- SPEISS, W.E.L.; WOLF, W. (1987). Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: *Atividade de água; Theory and Applications to Foods* (Rockland L B; Beuchat L R, eds), pp 215-233. Marcel Dekker Inc., New York.
- STENEL, J. (2004). Modelling the water sorption isotherms of yoghurt powder spray. *Mathematics and Computers in Simulation*, 65, 157-164.
- TSAMI, E. (1991). Differential enthalpy of sorption in dried fruits. *Journal of Food Engineering*, 14, 327-335.
- TSAMI, E., Marinos-Kouris, D., & Maroulis, Z.B. (1990). Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. *Journal of Food Science*, 55, 1594-1597.
- VAN DEN BERG, C. (1985). Development of B.E.T. like models for sorption of water of foods; theory and relevance. In D. Simatos & J.L. Multon (Eds), *Properties of water in foods* (119-135).
- WELTI-CHANES, J.; VERGARA, B.F. (1997). Actividad de agua. Concepto y aplicación en alimentos con alto contenido de humedad. In J.M. Aguilera (Ed.) *Temas en Tecnología de Alimentos*. México.
- ZANDAVALLI, R.B.; DILLENBURG, L.R.; DE SOUZA, P.V.D. (2004). Growth response of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. *Applied Soil Ecology*, 24, 245-255.