

# Isoterma de desorção e calor latente de vaporização da semente de pimenta Cumari Amarela (*Capsicum chinense* L.)

Samuel Carlos de Souza Ferreira<sup>1</sup>  
Hellismar Wakson da Silva<sup>2</sup>  
Renato Souza Rodovalho<sup>3</sup>

## Resumo

Visando a manutenção da qualidade dos grãos ou sementes da pimenta Cumari Amarela, este artigo tem por objetivo determinar as isotermas de sorção dessa semente nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C e nos níveis de atividades da água de 30 a 90 %, usando o método estático. Vários modelos matemáticos foram ajustados aos valores experimentais, avaliando o coeficiente de determinação, o erro médio estimado e o erro médio relativo para representar o fenômeno higroscópico da pimenta Cumari Amarela. As conclusões foram: (a) as isotermas possuem um formato sigmoidal, característico de curvas do tipo II; (b) em uma atividade de água constante, o aumento da temperatura promove uma redução do teor de umidade de equilíbrio; (c) o modelo recomendado para a pimenta Cumari amarela é o modelo de Oswin para os processos de desorção e (d) o modelo de Rodrigues-Arias pode ser utilizado para o cálculo do calor latente de vaporização da água.

**Palavras-chave:** Pimenta. Isotermas. Modelos matemáticos.

## Abstract

*In order to maintain the quality of the grains or seeds of Yellow Cumari pepper cultivation, this article aims to determine the sorption isotherms of it at temperature levels of 30, 35 and 40 °C and at water activity levels of 30 to 90 %, using the static method. Several mathematical models were adjusted to the experimental values, evaluating the coefficient determination, the estimated average error and the relative average error to represent the hygroscopic phenomenon of Yellow Cumari pepper. The conclusions were: (a) the isotherms have a sigmoidal shape, characteristic of type II curves; (b) at constant water activity, the increase of the temperature promotes a reduction in the equilibrium moisture content; (c) the recommended model for Yellow Cumari pepper is Oswin's model for desorption processes and (d) Rodrigues-Arias' model can be recommended to calculate the latent heat of water vaporization.*

**Keywords:** Pepper. Isotherms. Mathematical models.

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso Bacharelado em Matemática na Universidade Federal de Goiás, GO, Brasil.  
E-mail: ferreira.samuelcarlos@gmail.com

<sup>2</sup> Acadêmico do Curso Bacharelado em Agronomia no Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, GO, Brasil.  
E-mail: waksonhellismar@gmail.com

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Agrícola e professor no Instituto Federal Goiano, Campus Ceres. E-mail: souzarodvalho@gmail.com  
Artigo recebido em 11/02/2011 e aceito em 19/05/2011.

## 1 Introdução

A pimenta é um produto vegetal que se esboça como um importante recurso medicinal, sendo conhecida há milênios e utilizada por diversos povos. Os médicos persas recomendavam a ingestão da pimenta para combater dores musculares e de cabeça. Os indianos e chineses a utilizam para combater a infertilidade. Os egípcios utilizaram do seu poder antisséptico e protetor para o embalsamento de múmias (BONTEMPO, 2007). Basicamente existem dois gêneros de pimentas mais conhecidos, o *Piper* e o *Capsicum*. As pimentas do gênero *Capsicum* compreendem um variado grupo de pimentas doces e picantes e são originárias do continente americano (MATTOS *et al.*, 2007a).

Cultivada por pequenos agricultores, a pimenta se ajusta perfeitamente aos modelos de agricultura familiar e de integração pequeno agricultor-agroindústria. Possui grande importância socioeconômica, pois o mercado é bastante diversificado, indo desde o consumo *in natura* até a exportação do produto industrializado. Entretanto, as principais demandas desses produtores são: cultivares resistentes a doenças e técnicas alternativas de processamento. Todavia, pouco se sabe sobre as características de processamento desse produto vegetal, principalmente por haver uma vasta gama de variedades e pouca literatura abordando o período pós-colheita. Porém, não basta apenas que se desenvolvam genótipos superiores, mas também é necessário ocorrer o desenvolvimento de técnicas de manejo pós-colheita, processamento e armazenamento adequados, buscando a qualidade do produto processado (MATTOS *et al.*, 2007b; RIBEIRO *et al.*, 2008).

Segundo Ditchfield (2000), os produtos vegetais possuem a água como um dos principais componentes em sua composição, que exerce influência direta na conservação dos alimentos. O termo atividade de água ( $A_w$ ) foi criado para designar a água presente nos alimentos que estaria disponível para o crescimento microbiano ou para a ocorrência de reações que pudessem deteriorar o mesmo.

Através das isotermas de sorção, é possível realizar o processo de secagem; avaliar e caracterizar as ligações da água; analisar o calor de sorção; otimizar os processos de secagem; avaliar problemas de estocagem e embalagem; estimar a estabilidade microbiológica, química e física dos alimentos. Já para Park *et al.* (2001), a atividade de água nos alimentos está diretamente relacionada com o crescimento de micro-organismos e efetivação de reações químicas, e a retirada de água (secagem) reduz o crescimento desses micro-organismos e impede reações bioquímicas que dependem da umidade. Portanto, a secagem é uma forma de controlar a água livre presente nos alimentos.

De acordo com Resende *et al.* (2006a), os produtos agrícolas interagem com o ambiente, cedendo ou absorvendo água, tendendo a uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e a umidade do ambiente. O teor de água de equilíbrio é obtido, a partir do momento em que a pressão parcial de vapor de água no produto iguala-se a do ar que o envolve. Já para Silva *et al.* (2006), esse mecanismo de troca de vapor de água entre um produto e o ambiente é de grande importância no seu processamento, especificamente, durante a secagem e armazenamento.

A relação entre a umidade de equilíbrio do produto, a atividade de água do ar e a temperatura na condição de equilíbrio pode ser expressa por meio de equações matemáticas denominadas isotermas de sorção ou curvas de equilíbrio higroscópico. Para Alonso (2001), a partir do conhecimento das curvas de sorção, que compreende os processos de adsorção e dessorção, é possível saber o teor de água final do produto, necessário para estabilizá-lo, definindo os limites de secagem (teor de umidade ótimo para fins de armazenamento) e, por consequência, promover a preservação da qualidade do mesmo. Essas podem ser determinadas durante o ganho de umidade (adsorção) ou durante a perda de água do produto (dessorção).

Diversos autores, objetivando prever o comportamento das isotermas, propuseram modelos matemáticos de ajuste às isotermas de sorção. Esses modelos se mostram úteis na

medida em que possibilitam o conhecimento das características termodinâmicas dos produtos agrícolas. Em sua maioria, são modelos empíricos, tais como: BET, Chen Clayton, Cunniff, Smith, Halsey, Copace, GAB, Henderson, Oswin, entre outros (ALMEIDA *et al.*, 1999; ALONSO, 2001; PARK *et al.*, 2001; MOURA *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2004).

Kaymak-Ertekin e Sultanoglu (2001) relataram que o estudo das isotermas de sorção a pimenta, variedades Charleston e Bursa, é importante para determinar os limites máximos de desidratação, estimar as mudanças do teor de água para controle da atividade de micro-organismos e determinar a necessidade de energia requerida para o processo de secagem. Através do método gravimétrico, os autores obtiveram dados experimentais nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C e umidades relativas maiores que 50 %. Os dados adquiridos foram ajustados a quatro modelos matemáticos, dentre eles: GAB, Oswin, Halsey e BET. Concluíram que as isotermas apresentam curvas do tipo II, comum aos produtos agrícolas, e que os modelos de GAB e Oswin foram os que melhor representaram o fenômeno de higroscopicidade do produto nas condições estudadas.

De acordo com Mulet *et al.* (1999), o teor de água em que o calor isostérico é semelhante ao calor latente de vaporização da água livre é geralmente considerado como um indicador do conteúdo de água livre no produto. O conhecimento do calor isostérico de sorção em função do teor de umidade de equilíbrio é fundamental nos estudos de secagem e armazenamento de produtos agrícolas, sendo importante para quantificar os gastos energéticos no processo de secagem, além de fornecer dados sobre o estado da água no produto.

A energia necessária para remover a umidade associada a um material higroscópico é definida termodinamicamente como a diferença entre a entalpia da água, na fase de vapor e a entalpia da água líquida adsorvida, sendo determinada, a partir das isotermas de sorção e constitui-se em um parâmetro para estimar a quantidade mínima de calor requerida para remover uma quantidade de água do

produto (RESENDE *et al.*, 2006b; SILVA *et al.*, 2006; GONELI *et al.*, 2007).

Para Resende *et al.* (2006a), um método largamente usado para se calcular o calor isostérico de sorção é dado pela equação de Clausius-Clayperon (1), que relaciona a mudança da atividade de água com a temperatura. Assim temos,

$$\ln(P_v) = \frac{L}{L'} \ln(P_{vs}) + C \quad (1)$$

em que,

- $P_{vs}$  = pressão de vapor de saturação da água livre, para determinada temperatura  $T$ , de equilíbrio, kPa;
- $P_v$  = pressão de vapor da água livre, para determinada temperatura  $T$ , de equilíbrio, kPa;
- $L$  = calor latente de vaporização da água do produto, à temperatura de equilíbrio, kJ kg<sup>-1</sup>;
- $L'$  = calor latente de vaporização da água livre, à temperatura de equilíbrio, kJ kg<sup>-1</sup>;
- $C$  = constante de integração.

A importância do conhecimento acerca do comportamento fisiológico de produtos vegetais no período pós-colheita surge da necessidade de se adotar estratégias que visem à maior conservação e comercialização desses produtos. Diante dessa necessidade, este trabalho teve por objetivos determinar as isotermas de dessorção da semente da pimenta Cumari Amarela, nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C e atividades de água de 30 a 90 %, além de estimar o calor latente de vaporização da água nas sementes.

## 2 Materiais e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Estudos de Alimentos da Agroindústria e no Laboratório de Química do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, na cidade de Ceres (GO). Para a determinação da umidade de equilíbrio, foi utilizado o método estático com o uso de soluções de sais saturadas, segundo metodologia descrita por Almeida *et al.* (2002) e utilizada por Corrêa *et al.* (2005) e Park *et al.* (2001). As soluções foram preparadas com os seguintes sais e suas respectivas atividades de água: NaIO<sub>3</sub> (Aw = 29,00%), CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O (Aw = 36,15%), NaNO<sub>3</sub>

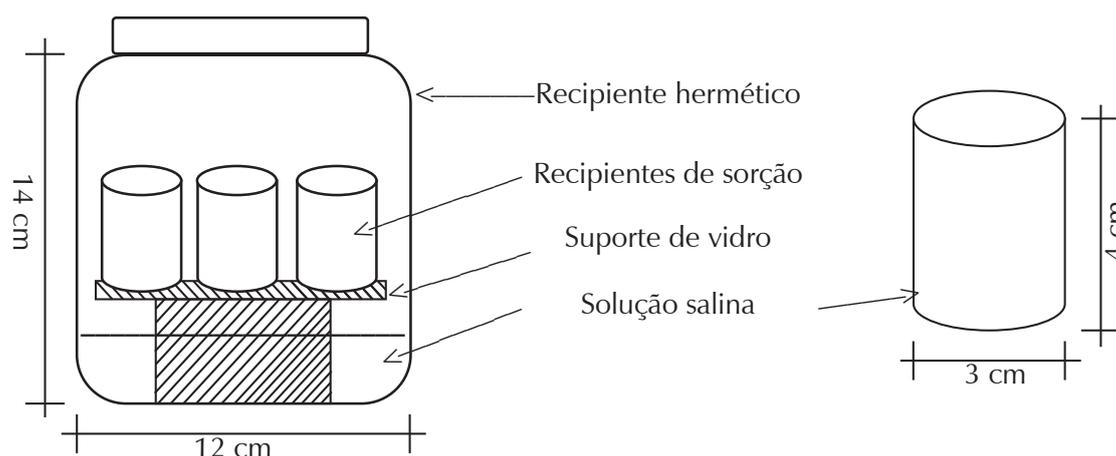
( $A_w = 73,14\%$ ), NaCl ( $A_w = 75,09\%$ ), KCl ( $A_w = 83,62\%$ ), e  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  ( $A_w = 90,00\%$ ).

Foi utilizada como matéria-prima a Pimenta Cumari Amarela (*Capsicum chinense L.*), produzida pelo Instituto Federal Goiano Campus Ceres. Os produtos foram selecionados em campo e, logo em seguida, foram extraídas as sementes e as mesmas submetidas ao experimento, com o teor de água inicial, no momento da colheita. A atividade de água do ar foi controlada com a utilização de sais saturados que representaram uma faixa de 30 a 90 % (GREENSPAN, 1977).

As soluções salinas foram depositadas

em recipientes de vidro herméticos com volume de 1500 ml (figura 1), contendo em seu interior suportes para três recipientes de sorção. Foi colocado um grama de amostra nos recipientes de sorção, de modo que sua superfície externa ficasse em contato com o ambiente. Os recipientes, contendo as amostras, em triplicata, foram colocados em estufa com circulação de ar forçado. Os recipientes de sorção foram pesados em balança analítica com intervalos de 24 h até atingir variação de 0,001 g em, no mínimo, três pesagens consecutivas. O teor de umidade de equilíbrio ( $U_e$ ) da semente da pimenta Cumari Amarela foi estimado pela equação 2 (BRASIL,1992)

Figura 1 - Esquema dos recipientes utilizados no experimento.



Fonte: Os autores (2011).

$$U_e = \frac{m_i - m_e}{m_e} \quad (2)$$

em que,

- $U_e$  = teor de umidade de equilíbrio do produto, decimal b.s.;
- $m_e$  = massa do produto no final da determinação da umidade, g;
- $m_i$  = massa inicial do produto antes da determinação da umidade, g.

A análise de regressão não linear foi aplicada aos valores experimentais das isotermas de sorção pelo método de interação

Gauss-Newton, através do programa computacional *Statistica*, versão 6.0, e os dados obtidos foram ajustados aos modelos apresentados na tabela 1, onde teremos:

- $U_e$  = teor de umidade de equilíbrio em decimal base seca;
- $A_w$  = atividade de água em decimal;
- $T$  = temperatura em °C;
- $X_m$  = conteúdo de umidade na monocamada molecular;
- $a, b, c, d, n$  = coeficientes dos modelos utilizados;
- $k$  = constante de sorção.

Tabela 1 - Modelos matemáticos de isotermas de sorção e umidade ajustados aos dados experimentais

Nome	Equação	Referências	n°
BET	$U_e = \left( \frac{(Xm.c.Aw).(1-(n+1).Aw^n + n.Aw^{n+1})}{(1-Aw).(1+(c-1).Aw-c.Aw^{n+1})} \right)$	Silva et al., (2007)	(3)
Chen Clayton	$U_e = -\frac{-1}{c.T^d} \ln \left[ \frac{\ln(Aw)}{-a.T^b} \right]$	Santos et al., (2004)	(4)
Chung Pfof	$U_e = -\frac{1}{b} \ln \left[ \frac{(T+c)\ln(Aw)}{-a} \right]$	Correa et al., (2005)	(5)
Chung Pfof Modificado	$U_e = a - b \ln[-(T+c).\ln(Aw)]$	Goneli et al., (2007)	(6)
Copace	$U_e = \exp^{(a-b.T.c.Aw)}$	Araújo et al., (2001)	(7)
GAB	$U_e = \left( \frac{Xm.c.k.Aw}{(1-k.Aw).(1-k.Aw + c.k.Aw)} \right)$	Park et al., (2001)	(8)
Oswin	$U_e = a. \left( \frac{Aw}{1-Aw} \right)^b$	Kaymak-Ertekin; Sultanoğlu, (2001)	(9)
Oswin Modificado	$U_e = (a+b.T). \left[ \frac{Aw}{1-Aw} \right]^{\frac{1}{c}}$	Resende et al., (2006b)	(10)
Smith	$U_e = a - (b.T) - c.\ln(1-Aw)]$	Araújo et al., (2001)	(11)

Fonte: Os autores (2011).

Para a seleção do melhor modelo matemático ajustado aos dados experimentais, observou-se o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o erro relativo (equação 12) e o erro médio estimado (equação 13) (PALACIN et al., 2006)

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (13)$$

em que,

- n = número de observações experimentais;
- Y = valor observado experimentalmente;
- $\hat{Y}$  = valor estimado pelo modelo;
- GLR = grau de liberdade do modelo.

Nessa perspectiva, para um bom ajuste matemático dos modelos, P deve ser menor que 10 %, R<sup>2</sup> próximo à unidade, e SE próximo

a zero (BARROS et al., 1995; SOUZA, 1998).

Com base nas curvas de umidade de equilíbrio obtidas, determinou-se o valor da relação L/L<sup>l</sup> da equação (1), de acordo com a metodologia descrita em Silva et al. (2007) e Rossi; Roa (1980), para diferentes teores de água, sendo ajustada à equação para o calor latente de vaporização da água, apresentada por Rodrigues-Arias, equação (14). Essa expressão tem sido amplamente utilizada para estimar a razão entre o calor latente de vaporização da água de produtos agrícolas e o calor latente de vaporização da água livre (L/L<sup>l</sup>) (RESENDE et al., 2006a). Nesses termos, temos:

$$\frac{L}{L^l} - 1 = ae^{-bU} \quad (14)$$

em que,

- U = teor de água do produto, % b.s.;
- a, b = parâmetros determinados por regressão.

O calor latente de vaporização da água livre ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ), à temperatura de equilíbrio ( $^{\circ}\text{C}$ ), foi estimado, utilizando-se a seguinte equação (MULET *et al.*, 2002):

$$L = 2502,2 - 2,39T \quad (15)$$

onde, calculou-se a pressão de vapor de saturação da água livre,  $P_{vs}$  (kPa), em relação à determinada temperatura,  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), mediante a equação 16 (RESENDE *et al.*, 2006a),

$$p_{vs} = 0,61078 \times 10^{((7,50)(237,3+t))} \quad (16)$$

e ainda, o valor da pressão de vapor,  $P_v$ , foi determinado de acordo com a equação 17,

$$P_v = UR.P_{vs} \quad (17)$$

Em decorrência disso, o calor latente de vaporização da água do produto ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) foi calculado por meio da combinação das equações 14 e 15, obtendo-se a seguinte expressão (equação 18):

$$L = (2502,2 - 2,39T)(1 + ae^{-bu}) \quad (18)$$

### 3 Resultados e discussão

Na tabela 2, estão apresentados os valores dos coeficientes das equações ajustadas aos dados experimentais,  $R^2$ ,  $P$  e  $SE$  dos modelos para a isoterma de dessecção nas temperaturas de 30 a 40  $^{\circ}\text{C}$ . Verifica-se que, dentre os modelos ajustados, o modelo de BET e o

Tabela 2 - Parâmetros ajustados dos modelos de equilíbrio higroscópico, para as sementes da pimenta Cumari Amarela no processo de dessecção, para as temperaturas na faixa de 30 a 40  $^{\circ}\text{C}$

Modelo	Parâmetros	$R^2$ (%)	SE	P (%)
BET	$X_m = 269,0357$ $c = 0,0003$ $n = 1,8935$	83,18	0,0199	13,2524
Chen Clayton	$a = 0,0002$ $b = 2,7091$ $c = 0,2382$ $d = 1,180703$	92,02	0,0137	8,3257
Chung Pfof	$a = 890,3103$ $b = 15,6073$ $c = 264,8835$	90,42	0,0150	8,8282
ChungPfof Modificado	$a = 0,7357$ $b = 0,0641$ $c = 32554,97$	90,39	0,0150	8,7104
Copace	$a = -3,4940$ $b = 0,0037$ $c = 2,3052$	89,38	0,0158	9,9096
GAB	$X_m = 0,0516$ $C = 37255,75$ $K = 0,8546$	92,59	0,0132	7,0399
Oswin	$a = 0,0933$ $b = 0,3980$	92,18	0,0135	7,1723
Oswin Modificado	$a = 0,1063$ $b = -0,0004$ $c = 2,5086$	92,48	0,0133	7,3348
Smith	$a = 0,0436$ $b = 0,0002$ $c = 0,0799$	92,04	0,0136	7,7894

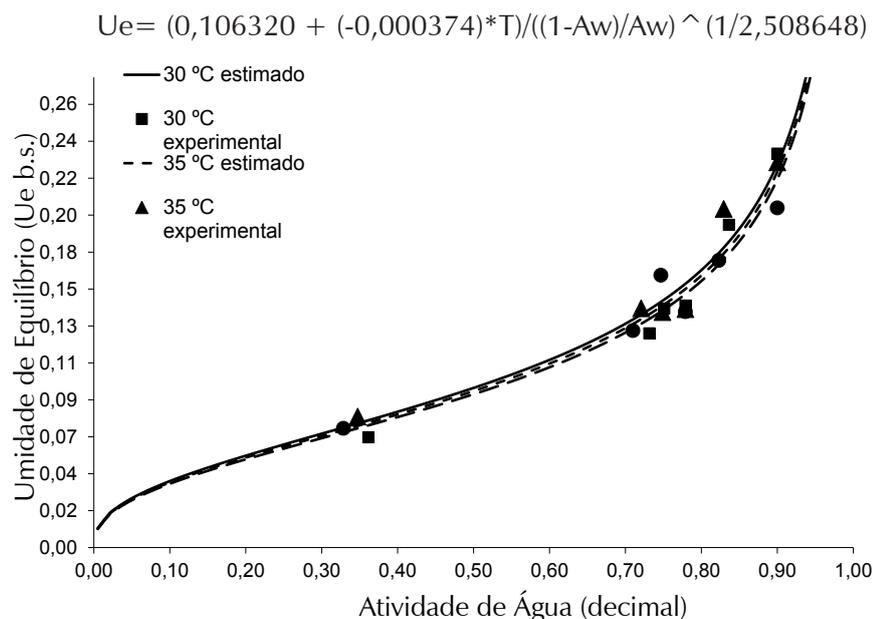
Fonte: Os autores (2011).

modelo de Copace apresentaram os menores coeficientes de determinação e os maiores erros relativos, sendo inadequados para a representação higroscópica do fenômeno. Para a estimativa do equilíbrio higroscópico da semente da pimenta Cumari Amarela, os modelos de Oswin Modificado e GAB foram os

que melhor se ajustaram aos coeficientes, por apresentarem os maiores R<sup>2</sup>, os menores SE e os valores de P abaixo de 10 %, sendo então os mais recomendados.

As isotermas de dessecção da semente da pimenta Cumari Amarela estão apresentadas na figura 2.

Figura 2 - Isotermas de dessecção da pimenta Cumari Amarela, conforme o modelo de Oswin Modificado



Fonte: Os autores (2011).

Nota-se que as curvas obtidas apresentaram formato sigmoidal, característica de curvas do tipo II, de acordo com a classificação de Brunauer *et al.* (1938), que considera o formato sigmoidal do equilíbrio higroscópico padrão para produtos agrícolas. A partir da figura 2, nota-se que, em geral, em uma atividade de água constante, o aumento da temperatura promove redução do teor de água de equilíbrio, seguindo a tendência da maioria dos produtos agrícolas (ALMEIDA *et al.*, 1999; CORRÊA *et al.*, 2002; ASCHERI *et al.*, 2005; CORDEIRO *et al.*, 2006). O mesmo resultado foi observado por Kayamak-Ertekin e Sultanoglu (2001) nas isotermas das pimentas Charleston e Bursa, os quais relataram que as isotermas de sorção podem ser expressas pelos modelos de GAB e Oswin e que o calor isostérico de sorção pode ser calculado pela equação de Clausius-Clayperon.

Após o ajuste da equação de Rodrigues-Arias, os valores da relação L/L' para pimenta

Cumari Amarela foram obtidos de forma semelhante às equações de umidade de equilíbrio. Os valores obtidos são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Relações de L/L' para diferentes teores de água das sementes de pimenta Cumari Amarela

Teor de água (% b.s.)	Relação L/L'	Teor de água (% b.s.)	Relação L/L'
0,065	1,022	0,150	1,059
0,070	1,082	0,155	1,052
0,080	1,141	0,160	1,046
0,090	1,156	0,165	1,040
0,100	1,149	0,170	1,036
0,105	1,142	0,175	1,031
0,110	1,132	0,180	1,027
0,115	1,122	0,190	1,021
0,120	1,112	0,200	1,002
0,125	1,102	0,210	1,001
0,130	1,092	0,220	1,001
0,145	1,066	0,237	1,000

Fonte: Os autores (2011).

Nota-se que o gasto de energia para a secagem da semente de pimenta Cumari aumenta com a redução no teor de água do produto, o que também foi observado por Iguaz e Virsedá (2007), que calcularam o calor isotérmico do arroz, e Resende *et al.* (2006a), que calcularam o calor isotérmico do feijão.

Os parâmetros *a* e *b* do modelo de Rodrigues-Arias foram obtidos por regressão não linear e foram substituídos na equação 18 para a obtenção da equação para o cálculo da razão entre o calor latente de vaporização da água dos produtos e o calor latente de vaporização da água livre (L/L<sup>l</sup>).

O modelo ajustado (equação 19) mostrou-se adequado para estimar o calor latente de vaporização da água nos grãos de pimenta Cumari Amarela, por apresentar os parâmetros estatísticos: R<sup>2</sup> = 99,85 %; P = 2,818806 % e SE = 0,0403002. Consequentemente, temos:

$$L = (2502,2 - 2,39T) (1 + 1,374e^{-32,462*U}) \quad (19)$$

Dessa forma, essa equação pode ser utilizada no cálculo do calor latente de vaporização da água da semente de pimenta Cumari Amarela, dentro das faixas de atividade de água (30 a 90 %) e de temperaturas avaliadas (30, 35 e 40 °C). O modelo de Rodrigues-Arias também foi recomendado para estimar o calor latente para sementes de arroz nos experimentos de Goneli *et al.* (2007), que utilizaram temperaturas de 25 a 55 °C e atividades de água entre 20 e 80 %.

#### 4 Conclusões

Nas condições em que foi desenvolvido o trabalho, verificou-se que as isotermas obtidas possuem formato sigmoidal, padrão para o equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas. Quando em atividade de água constante, o aumento da temperatura promove redução do teor de água de equilíbrio. Os modelos recomendados para a estimativa do equilíbrio higroscópico da pimenta Cumari Amarela são o de GAB e Oswin Modificado para o processo de dessecção nas faixas de temperatura de 30

a 40 °C e umidades relativas de 30 a 90 %. E a quantidade de calor latente para a secagem da semente de pimenta Cumari Amarela aumenta com a redução no teor de água do produto.

#### 5 Referências Bibliográficas

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**, Campo Grande, v. 3, n. 3, p. 343-348, 1999.

ALMEIDA, O.; CALÇADA, L. A.; MASSARANI, G. Análise de um sistema para levantamento de Isotermas de secagem. **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas da Terra**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 49 - 53, 2002.

ALONSO, L. F. T. **Algoritmos de Seleção e Dimensionamento de Secadores**. 2001. 256 p. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, P. C.; SILVA, R. F. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessecção de sementes de milho-doce. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 991 - 995, 2001.

ASCHERI, J. L. R. *et al.* Isotermas de adsorción de agua y estabilidad de harinas extruídas de amaranto, arroz y maíz: estudio comparativo. **Alimentaria Artículos Originales Harinas**, Madrid, v. 363, n. 5, p. 100 - 107, 2005.

BARROS, B. N.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: UNICAMP, 1995. 229 p.

BONTEMPO, M. **Pimenta e seus benefícios à saúde**. São Paulo: Alaúde Editorial, 2007. 110 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma

- Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layer. **Journal of American Chemistry Society**, v. 60, n. 1, p. 309 - 312, 1938.
- CORDEIRO, D. S.; RAGHAVAN, G. S. V.; OLIVEIRA, W. P. Equilibrium moisture content models for *Maytenusilicifoli* aleaves. **Biosystems Engineering**, Towcester, v. 94, n. 2, p. 221 - 228, 2006.
- CORRÊA, P. C.; ALONSO, L. F. T. Comparação de modelos matemáticos de equilíbrio Higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar Redenção. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 1 - 6, 1999.
- \_\_\_\_\_. *et al.* Equilíbrio higroscópico e atividade de água para ovo integral processado em "Spray Dryer". **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 15 - 22. 2002.
- \_\_\_\_\_.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 4, n. 1, p. 126 - 134, 2005.
- DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para medida da atividade de água**. 2000. 195 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenharia Química, São Paulo, SP.
- GONELI, A. L. D. *et al.* Modelagem matemática do equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz em casca obtido pelos métodos estático e dinâmico. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 152 - 260, 2007.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry**, Canadá, v. 81A, n.1, p. 89 - 96, 1977.
- IGUAZ, A.; VIRSEDA, P. Moisture desorption isotherms of rough rice at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, London, v. 79, n. 3, p. 794 - 802, 2007.
- KKAYMAK-ERTEKIN, E.; SULTANOGLU, M. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. **Journal of Food Engineering**, Izmir, v. 47, n. 3, p. 225 - 231, 2001.
- MATTOS, L. M.; HENZ, G. P.; MORETTI, C. L. **Atividade respiratória de pimentas durante o armazenamento**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007a, 13 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33).
- \_\_\_\_\_.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Protocolos de avaliação da qualidade química e física de pimentas (*Capsicum spp.*)**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007b, 9 p. (Comunicado Técnico, 50).
- MOURA, R. S. F. *et al.* Modelagem matemática para isotermas em polpa de caju. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 2, 2004.
- MULET, A. *et al.* Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms. **Journal of Food Science**, Londres, v. 64, n. 1, p. 64 - 68, 1999.
- \_\_\_\_\_. Equilibrium isotherms and isosteric heats of morel (*Morchellaesculenta*). **Journal of Food Engineering**, Londres, v.53, n. 1, p. 75 - 81, 2002.
- PALACIN, *et al.* Determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico de milho (*Zea-mays L.*) nas espigas. **Revista Brasileira de**

**Armazenamento**, Viçosa, MG, v.31, n. 2, p. 197 - 205, 2006.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isothermas de sorção e modelagem matemática para a pera bartlett (Pyrussp.) com e sem desidratação osmótica. **Revista Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, SP, v. 21, n. 1, p. 73 - 77, 2001.

RESENDE, O. *et al.* Isothermas e calor isostérico de dessorção do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 86 - 94. 2006a.

\_\_\_\_\_. Isothermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 626 - 631. 2006b.

RIBEIRO, C. S. C. *et al.* **Pimentas Capsicum**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008, 199 p.

ROSSI, J. S.; ROA, G. Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural. **Academia de Ciências do Estado de São Paulo**, São Paulo,

v. 1, n. 22. 1980. 296 p.

SANTOS, F. S. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Isothermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 149 - 155, 2004.

SILVA, F.; PARK, K.J.; MAGALHÃES, P. M. Isothermas de dessorção de *Calendulaofficinalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.9, n.1, p. 21 - 28, 2007.

\_\_\_\_\_, Y. C. *et al.* Determinação do calor isostérico de sorção da entropia diferencial do cajá em pó micro encapsulado com diferentes, Formulações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, PB, v. 8, n. 2, p. 103 - 109, 2006.

SOUZA, G. S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. Brasília, Embrapa, 1998. 489 p.