

Isotermas de dessorção de folhas *in natura* de juazeiro e mororó¹

Francinalva Cordeiro de Sousa², Ana Paula Trindade Rocha²,
Josivanda Palmeira Gomes², Jorge Jacó Alves Martins², Joabis Nobre Martins²

ABSTRACT

Desorption isotherms of *in natura* leaves of *Ziziphus joazeiro* Mart. and *Bauhinia cheilantha*

The Brazilian culture has a great appreciation for the use of medicinal plants for curing diseases. The drying process is very important to assure the quality and stability of these species. This study aimed at obtaining the desorption isotherms of *in natura* leaves of *Ziziphus joazeiro* Mart. and *Bauhinia cheilantha* and adjust the experimental data to different mathematical models. The isotherms were obtained at three temperatures (20°C, 30°C and 40°C), under desorption conditions, and the experimental data adjusted to three models (GAB, Oswin and Peleg) by non-linear regression. The coefficient of determination and the mean percentage deviation between the experimental and predicted values were calculated for each curve, in order to evaluate the best-fit model. According to the statistical parameters of analysis, the Peleg model was the one that better described the hygroscopicity of *in natura* leaves of *Ziziphus joazeiro* Mart. and *Bauhinia cheilantha*.

KEY-WORDS: *Ziziphus joazeiro* Mart.; *Bauhinia cheilantha*; medicinal plants; mathematical modeling.

RESUMO

A cultura brasileira tem grande apreço pela utilização de plantas medicinais, na cura de doenças. O processo de secagem é de grande importância para assegurar a qualidade e a estabilidade dessas espécies. O presente estudo objetivou obter as isotermas de dessorção de folhas *in natura* de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) e mororó (*Bauhinia cheilantha*) e ajustar os dados experimentais a diferentes modelos matemáticos. As isotermas foram obtidas em três temperaturas (20°C, 30°C e 40°C), em condições de dessorção, e os dados experimentais ajustados a três modelos (GAB, Oswin e Peleg), por meio de regressão não linear. O coeficiente de determinação e o desvio percentual médio entre os valores experimentais e os valores preditos foram calculados para cada curva, visando a verificar o modelo que apresentou melhor ajuste. Segundo os parâmetros estatísticos de análise, o modelo de Peleg foi o que descreveu melhor a higroscopicidade das folhas *in natura* de juazeiro e mororó.

PALAVRAS-CHAVE: *Ziziphus joazeiro* Mart.; *Bauhinia cheilantha*; plantas medicinais; modelagem matemática.

INTRODUÇÃO

A cultura brasileira tem grande apreço pela utilização de plantas medicinais, na cura de doenças. A comercialização dessas plantas é realizada na forma dessecada, o que torna a secagem uma das etapas que assume grande importância, sendo muito utilizada no processo para assegurar a qualidade e a estabilidade desse material.

Dentre as espécies nativas do semiárido nordestino, 119 são utilizadas como plantas medicinais (Agra et al. 2007), com destaque para o juazeiro e o mororó. Essas duas espécies do bioma Caatinga vêm se destacando pelo seu enorme potencial econômico e medicinal. Comercialmente, o juazeiro é utilizado

por indústrias farmacêuticas, na fabricação de cosméticos, creme dental e xampus anticaxa. Já o mororó é reconhecidamente utilizado no combate à diabetes (Sousa et al. 2013).

O teor de água de qualquer produto, quando em equilíbrio com o ambiente de armazenamento, é chamado de conteúdo de umidade de equilíbrio, ou equilíbrio higroscópico. O conteúdo de umidade de equilíbrio avalia a perda ou ganho de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa, relacionando-se diretamente com os processos de secagem e armazenagem de produtos agrícolas. O conteúdo de umidade de equilíbrio é alcançado quando a pressão parcial de vapor de água no produto iguala-se à pressão parcial de vapor do ar que o envolve (Costa

1. Trabalho recebido em set./2013 e aceito para publicação em ago./2014 (nº registro: PAT 26374).

2. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, PB, Brasil.
E-mails: francis_nalva@yahoo.com.br, ana_trindade@yahoo.com.br, josivanda@gmail.com, jaco-m@hotmail.com, martinsjnta@gmail.com.

2010). O teor de umidade de equilíbrio dos produtos biológicos, por meio da determinação de isotermas de secagem, está relacionado ao dimensionamento de secadores.

Segundo Resende et al. (2006), os produtos agrícolas interagem com o ambiente, cedendo ou absorvendo água, com tendência ao equilíbrio entre o seu teor de água e a umidade do ambiente. Na condição de equilíbrio, a relação entre a umidade do produto, umidade relativa do ar e temperatura pode ser expressa por equações matemáticas, cuja denominação é conhecida por isotermas de sorção, ou curvas de equilíbrio higroscópico (Ferreira et al. 2011).

A qualidade do material biológico pode ser preservada mediante estudo de parâmetros como secagem e armazenamento. O conhecimento sobre a umidade de equilíbrio desses materiais é bastante importante, pois define as condições adequadas para o armazenamento de drogas vegetais. Por meio das curvas de sorção, que relacionam a umidade de equilíbrio do produto e a umidade relativa, com temperatura constante, é possível determinar o teor de água final necessário à estabilização do material.

Este trabalho objetivou estudar a influência da temperatura nas isotermas de dessecção de juazeiro e mororó, visando a obter o modelo matemático que melhor satisfaça às condições avaliadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos para obtenção dos valores da umidade de equilíbrio do produto foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (PB). Foram utilizadas, como matéria-prima, folhas *in natura* de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) e mororó (*Bauhinia cheilantha*), coletadas no Câmpus da unidade de Campina Grande, entre março e abril de 2012.

As isotermas de dessecção de umidade das folhas de juazeiro e mororó foram determinadas em três diferentes temperaturas (20°C, 30°C e 40°C), utilizando-se o método estático-indireto (Capriste & Rotstein 1982).

A atividade de água (a_w) das amostras de folhas *in natura*, para as três diferentes temperaturas, foi determinada em analisador de atividade de água Aqualab 3TE (Decagon). Ao iniciar os experimentos,

foram pesadas, em balança analítica com precisão de 0,0001 g, aproximadamente 1,000 g de folhas frescas de juazeiro e mororó, utilizando-se as cápsulas de polietileno que acompanham o equipamento. Em seguida, as mesmas foram mantidas em estufa com circulação forçada de ar, a 60°C, por 15 minutos. Após esse período, as amostras foram transferidas para um dessecador, para equilibrar a temperatura da amostra com a do equipamento Aqualab, a fim de que a leitura fosse realizada de forma correta, sem que houvesse interferência do ambiente. Logo após, as amostras foram colocadas, uma de cada vez, no equipamento Aqualab, para realizar as leituras de atividade de água e temperatura.

O registro da atividade de água foi realizado mediante o equilíbrio atingido entre a amostra e o equipamento, evidenciado pela estabilização da leitura. Na sequência, as amostras foram pesadas em balança analítica, procedendo-se à leitura de 5 em 5 minutos, processo que se repetiu até que a última leitura apresentasse valor igual ou maior que a penúltima, possibilitando, dessa forma, a construção das isotermas de dessecção. Esse procedimento foi realizado para as amostras em triplicata, nas três temperaturas. Após as amostras alcançarem valores de atividades de água próximos a 0,1, essas foram levadas a estufa, para determinação da massa seca e, conseqüentemente, da umidade de equilíbrio.

A umidade de equilíbrio, em base seca, foi determinada pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras:

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} 100$$

em que X_{eq} = umidade de equilíbrio (% base seca); m_{eq} = massa da amostra no equilíbrio (g); m_s = massa seca da amostra (g).

Utilizaram-se, para o ajuste matemático das isotermas de dessecção de teor de água das amostras de folhas, os modelos descritos a seguir, por meio de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistica 5.0®:

$$\text{GAB: } X_{eq} = \frac{X_m CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$$

$$\text{Peleg: } X_{eq} = k_1 a_w^{n_1} k_2 a_w^{n_2}$$

$$\text{Oswin: } X_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$$

em que X_{eq} = umidade de equilíbrio; a_w = atividade de água; X_m = umidade na monocamada molecular; C, K, a e b = parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto; K_1 , K_2 , n_1 e n_2 = constantes da equação.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a equação

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{exp} - X_{pred})|}{X_{exp}}$$

em que P = desvio percentual médio (%); X_{exp} = valores obtidos experimentalmente; X_{pred} = valores preditos pelo modelo; n = número de dados experimentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 1 e 2, observa-se que, pelos coeficientes de determinação, todos os modelos apresentaram ajustes de 99% aos dados experimentais, porém, para o juazeiro, todos os modelos apresentaram ajustes acima de 10%, para o desvio percentual médio. Aguerre et al. (1989) consideram que resultados acima de 10% não indicam ajuste adequado dos valores observados, em relação aos ajustados pelos modelos em questão.

Para o mororó, somente o modelo de Oswin apresentou desvio percentual médio acima de 10%, o que permite indicar que os modelos de GAB e Peleg são os que melhor descrevem o processo de dessecção das folhas apenas para mororó, às temperaturas de

Tabela 1. Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (P) dos modelos ajustados à isoterma de dessecção das folhas de juazeiro (Campina Grande, PB, 2012).

Modelo	Temperatura	Parâmetro				R^2 (%)	P (%)
		X_m	C	K			
GAB	20°C	4,3471	4,5212	0,9993	98,76	17,2241	
	30°C	6,0425	0,6014	0,9758	99,88	14,0792	
	40°C	4,9498	0,5397	0,9885	99,88	15,0863	
Oswin		a		b			
	20°C	6,7198		0,8961	98,46	17,5272	
	30°C	5,0670		0,9328	99,72	17,7691	
	40°C	4,0962		0,9846	99,79	15,4595	
Peleg		k_1	n_1	k_2	n_2		
	20°C	124,24	50,4318	46,4343	2,5273	99,61	14,8810
	30°C	36,2231	3,5045	115,897	19,9438	99,95	15,5016
	40°C	34,1743	3,1867	142,442	23,1603	99,97	14,4862

X_m = umidade na monocamada molecular; C, K, a e b = parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto; K_1 , K_2 , n_1 e n_2 = constantes da equação.

Tabela 2. Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (P) dos modelos ajustados à isoterma de dessecção das folhas de mororó (Campina Grande, PB, 2012).

Modelo	Temperatura	Parâmetro				R^2 (%)	P (%)
		X_m	C	K			
GAB	20°C	14,5950	0,2275	0,9636	99,64	8,1513	
	30°C	16,120	0,3482	0,9849	99,82	10,6963	
	40°C	6,7217	0,4957	0,9981	99,73	8,6689	
Oswin		a		b			
	20°C	6,71659		1,02256	99,42	15,6738	
	30°C	6,45931		0,97211	99,29	14,4843	
	40°C	5,02374		1,07452	99,71	12,2861	
Peleg		k_1	n_1	k_2	n_2		
	20°C	168,205	13,2892	20,4955	1,9401	99,71	6,8864
	30°C	189,857	15,2434	36,9384	2,6596	99,88	7,1331
	40°C	226,846	22,3592	48,4275	3,7883	99,62	8,8281

X_m = umidade na monocamada molecular; C, K, a e b = parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto; K_1 , K_2 , n_1 e n_2 = constantes da equação.

20°C, 30°C e 40°C. Mohaptra & Rao (2005) indicam boa adequação do modelo proposto para descrever o comportamento higroscópico.

Edoun et al. (2010), ao determinarem o teor de umidade de equilíbrio de folhas de eru (*Gnetum africanum* Wewl), para a faixa de temperatura de 30-50°C e umidade relativa de 10-90%, verificaram que o modelo de GAB foi o que melhor descreveu as isotermas. Mohamed et al. (2004), ao estudarem o teor de umidade de equilíbrio de folhas de laranja (*Citrus aurantium* L.), concluíram que, dentre os modelos testados, o de GAB e BET ajustaram-se satisfatoriamente aos dados experimentais de adsorção.

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2, verifica-se que, dentre os três modelos testados, o modelo de quatro parâmetros de Peleg destaca-se satisfatoriamente, na representação dos dados, por apresentar coeficientes de determinação superiores a 99% e os menores desvios médios. O modelo de Oswin, com dois parâmetros, que é empírico e baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal, apresentou ajustes inferiores, quando comparados aos demais modelos. Dessa forma, a equação de Peleg pode ser utilizada para estimar a representação higroscópica do fenômeno, nas condições em que o estudo foi desenvolvido.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Bahloul et al. (2008), que, ao estudarem o comportamento higroscópico de adsorção e dessorção de quatro variedades de folhas de oliveira, em três temperaturas (30°C, 40°C e 50°C), afirmaram que o modelo de Peleg forneceu o melhor ajuste aos dados experimentais, para a atividade de água: 0,058-0,898.

Silva et al. (2007) determinaram as isotermas de dessorção de *Calendula officinalis* L., em diferentes temperaturas (30°C, 45°C e 60°C), por meio do uso de método gravimétrico, a fim de verificar a influência da temperatura na atividade de água. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Oswin, Peleg, Henderson e Chung Pfof. No entanto, Caetano et al. (2012) estudaram a higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, e a equação que melhor se adequou aos dados foi a de Chung Pfof.

Silva et al. (2010), ao estudarem as características higroscópicas de folhas de coentro, observaram que as equações de Smith e Peleg apresentaram boa relação, quanto à descrição do comportamento dos dados experimentais da folha desidratada. No entanto, o modelo matemático de GAB apresentou desvios

percentuais médios abaixo de 10%, nas temperaturas de 20°C e 40°C (8,15% e 8,67%), e desvio percentual aceitável, na temperatura de 30°C (10,69%).

Observando-se os parâmetros do modelo de GAB (Tabelas 1 e 2), constatou-se que a umidade na monocamada molecular (X_m) variou em torno de 4 a 16 (% em base seca), entre as espécies em estudo. O conteúdo de umidade na monocamada (X_m) é a quantidade de água que está fortemente adsorvida na superfície do produto, sendo considerado importante para o armazenamento por longos períodos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ghodake et al. (2007), estudando a higroscopicidade de folhas de chá preto e chá verde, nas temperaturas de 20°C, 30°C e 40°C e umidade relativa de 10-90%, e que, ao ajustarem o modelo de GAB às isotermas de sorção, encontraram valores de X_m variando de 6 a 12.

Verificou-se, também, por meio das Tabelas 1 e 2, que, para o modelo de GAB, os valores de k apresentam-se menores que 1, variando entre 0,96 e 0,99 e não apresentando comportamento definido, em relação às temperaturas estudadas.

O parâmetro C , para a espécie mororó, demonstrou comportamento inversamente proporcional ao aumento da temperatura. Já para o juazeiro, esse valor oscilou de 0,5 a 4,5. Observou-se que o parâmetro C , em ambas as espécies, mostrou-se inferior a 200, encontrando-se dentro da faixa comumente registrada na literatura (Alexandre et al. 2007).

O parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada, com relação ao volume de líquido, enquanto a constante de sorção C é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (Alexandre et al. 2007).

Nos ajustes com o modelo de Peleg, as constantes k_1 , n_1 , k_2 e n_2 apresentaram comportamentos diferentes, entre as espécies. Para o juazeiro, houve discrepância entre os valores (Tabela 1). Verificou-se que os parâmetros k_1 e n_1 diminuíram com o aumento da temperatura, sendo inversamente proporcionais a k_2 e n_2 . Já para o mororó, k_1 , n_1 , k_2 e n_2 apresentaram tendência de acréscimo, com o aumento da temperatura.

Silva et al. (2007) verificaram que, para *Calendula officinalis* L., os parâmetros k_1 e n_1 do modelo de Peleg apresentaram decréscimo em seus valores, com o aumento da temperatura. Com relação aos demais parâmetros, a temperatura de 45°C foi levemente superior que a de 60°C. Park et

al. (2002), em estudo dos parâmetros de secagem e isothermas de dessorção em folhas de menta (*Mentha crispa* L.) desidratadas, em temperaturas de 30°C e 40°C, constataram que o modelo de Peleg foi o que apresentou menor erro relativo (1,82% e 3,82%, respectivamente).

Analisando-se os ajustes, pelo modelo de Oswin, constatou-se que, para o juazeiro, os parâmetros a e b apresentaram tendência de acréscimo, com o aumento da temperatura. Já para as folhas de mororó, observou-se que as constantes a e b , na temperatura de 30°C, apresentaram tendência de decréscimo, com o aumento da temperatura. Park et al. (2001), estudando o comportamento das isothermas de sorção de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) *in natura* e desidratada osmoticamente, utilizando sais e três temperaturas (40°C, 60°C e 80°C), obtiveram, com o modelo de Oswin e com o aumento da temperatura, acréscimo da constante b , com um pequeno decréscimo na temperatura de 80°C e diminuição da constante a .

Na Figura 1 são apresentadas as isothermas de dessorção de umidade das folhas *in natura* de juazeiro, em três temperaturas (20°C, 30°C e 40°C), ajustadas pelo modelo de Peleg. Verificou-se que as isothermas apresentaram formato sigmoidal, típico de produtos com alto teor de água.

Observou-se que, quando a temperatura aumenta, o conteúdo de umidade de equilíbrio decresce para o mesmo valor de atividade de água. Esse comportamento, segundo Lahsasni et al. (2003), é atribuído ao alto estado de excitação das moléculas de água, em temperaturas elevadas, diminuindo as

forças de atração entre as moléculas. Esses resultados corroboram os obtidos para produtos agrícolas (Resende et al. 2006, Gonelli 2008, Ferreira et al. 2011).

Verificou-se, também, que a umidade de equilíbrio cresce com o aumento da atividade de água, para todas as temperaturas. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Silva et al. (2010), ao estudarem as características higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado. Observou-se que, para a temperatura de 20°C, em atividades de água menores que 0,5, as curvas apresentaram maiores desvios, em relação aos dados experimentais. Para atividades de água compreendidas entre 0,9 e 0,95, todas as curvas possuem comportamentos similares.

A Figura 2 exibe a representação gráfica do modelo de Peleg, aplicado aos dados experimentais das isothermas de dessorção das folhas de mororó, nas temperaturas de 20°C, 30°C e 40°C. Constatou-se que as isothermas também apresentaram formato sigmoidal, característico 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.

Observou-se que não existe grande influência da temperatura sobre as umidades de equilíbrio das folhas *in natura*, para atividade de água inferior a 0,3. A partir de 0,6, a curva referente à temperatura de 20°C ocupa posição superior, em relação às demais temperaturas. No entanto, a curva de 30°C encontra-se em posição inferior à de 40°C, em atividade de água de 0,7 até, aproximadamente, 0,8, sobrepondo-se na atividade de água de 0,9.

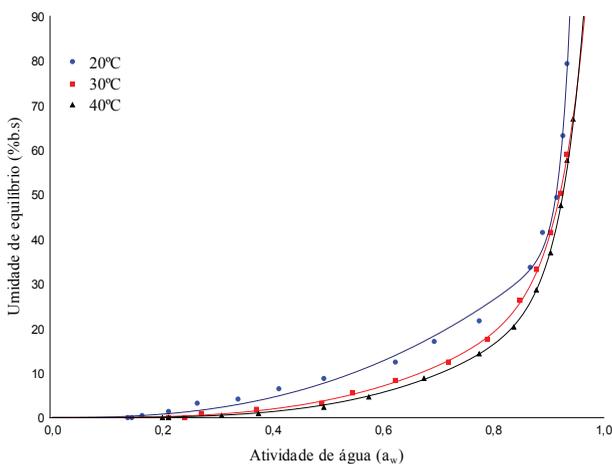


Figura 1. Isothermas de dessorção de folhas *in natura* de juazeiro ajustadas pelo modelo de Peleg (Campina Grande, PB, 2012).

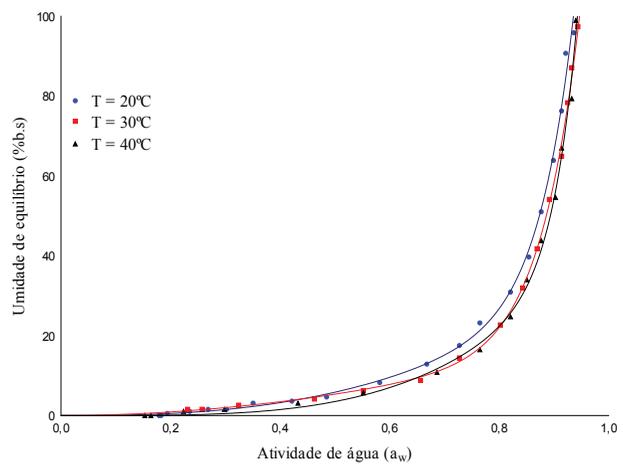


Figura 2. Isothermas de dessorção de folhas *in natura* de mororó ajustadas pelo modelo de Peleg (Campina Grande, PB, 2012).

O valor do teor de umidade de equilíbrio, para diversos materiais, depende da maneira como a condição de equilíbrio é atingida. Um determinado valor é obtido quando o produto úmido perde umidade por dessorção, durante a secagem (Rocha 2011). Em geral, a umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura. Essa diminuição pode ser justificada com base no aumento da pressão do vapor de água no ar da superfície do produto, por apresentar maior número de moléculas de água que o ar (Oliveira et al. 2006).

O conteúdo de equilíbrio de umidade avalia a perda ou o ganho de água e está relacionado diretamente com os processos de secagem e armazenagem de produtos agrícolas. O método de conservação utilizando a secagem baseia-se principalmente na diminuição do teor de água disponível no material vegetal e, conseqüentemente, serão reduzidas as atividades enzimática, química e biológica, garantindo armazenamento seguro.

CONCLUSÕES

1. As isotermas obtidas apresentaram formato sigmoidal, padrão para o equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas.
2. O modelo que melhor representou as isotermas de dessorção das folhas de juazeiro e mororó, na faixa de temperatura de 20-40°C, foi o de Peleg.

REFERÊNCIAS

- AGRA, M. F. et al. Medicinal and poisonous diversity of the flora of "Cariri Paraibano" Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, Escarpa, v. 2, n. 111, p. 383-395, 2007.
- AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. New BET type multi-layer sorption isotherms: part II. Modeling water sorption in foods. *Lebensmittel-wissenschaft und Technologie*, Londres, v. 22, n. 4, p. 192-195, 1989.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.
- BAHLOUL, N.; BOUDHRIOUA, N.; KECHAOU, N. Moisture desorption-adsorption isotherms and isosteric heats of sorption of Tunisian olive leaves (*Olea europaea* L.). *Industrial Crops and Products*, Peoria, v. 28, n. 2, p. 162-176, 2008.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of*

the American Chemical Society, Nova Iorque, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

CAETANO, G. S. et al. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 437-445, 2012.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 47, n. 8, p. 1501-1507, 1982.

COSTA, C. M. L. *Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (Spilhanthes oleracea) em leito fluidizado*. 2010. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

EDOUN, M.; KUITCHE, A.; KAPSEU, C. Determination of the *Gnetum africanum* water sorption isotherms for use in the design of an adapted dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, Rio de Janeiro, v. 45, n. 1, p. 105-112, 2010.

FERREIRA, S. C. S.; SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S. Isoterma de dessorção e calor latente de vaporização da semente de pimenta cumari amarela (*Capsicum chinense* L.). *Revista Liberato*, Nova Hamburgo, v. 12, n. 18, p. 107-206, 2011.

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*, Ontário, v. 78, n. 3, p. 827-835, 2007.

GONELLI, A. L. D. *Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (Ricinus communis L.) durante a secagem e o armazenamento*. 2008. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

LAHSASNI, S. et al. Moisture adsorption-desorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*) at different temperatures. *Energy Conversion & Management*, Marrakech, v. 44, n. 6, p. 923-936, 2003.

MOHAMED, L. A. et al. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (*Citrus aurantium*). *Journal of Food Engineering*, Ontário, v. 67, n. 4, p. 491-498, 2004.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, Ontário, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

OLIVEIRA, M. M. et al. Isotermas de dessorção da casca do maracujá (*Passiflora edulis* Sims): determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1624-1629, 2006.

- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *Journal of Food Engineering*, Ontário, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.
- RESENDE, O. et al. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 3, p. 626-631, 2006.
- ROCHA, R. P. *Avaliação do teor e da composição do óleo essencial de Cymbopogon citratus e Thymus vulgaris submetidos a processos de secagem e armazenamento*. 2011. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- SILVA, A. S. A. et al. Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 237-244, 2010.
- SILVA, F.; PARK, K. J.; MAGALHÃES, P. M. Isotermas de dessorção de *Calendula officinalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 21-28, 2007.
- SOUSA, F. C. et al. Propriedades físicas e físico-químicas da polpa de juazeiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Mossoró, v. 8, n. 2, p. 68-71, 2013.