



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04
de dezembro 2020

Obtenção de isotermas de desorção da erva-mate

Hellen Melo Barbosa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gracielle Johann

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Edimir Andrade Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo a obtenção de isotermas de desorção para a espécie *Ilex paraguariensis*, conhecida como erva-mate. As isotermas foram determinadas utilizando-se o método gravimétrico estático e soluções salinas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C. Os dados experimentais obtidos foram analisados e seis modelos matemáticos (Adam e Shove, BET, Caurie, GAB, Oswin e Smith) foram ajustados aos resultados. O modelo de Adam e Shove apresentou o melhor ajuste dentre as equações avaliadas. As isotermas concebidas apresentaram curvas sigmóides, sendo, portanto, denominadas de isotermas do tipo II. Também se observou que o teor de umidade de equilíbrio aumentava com incremento da umidade relativa à temperatura constante, contrariamente, diminuía com o aumento da temperatura.

Palavras-chave: Secagem, Modelos matemáticos, *Ilex Paraguariensis*.

Obtaining mate herb desorption isotherms

Abstract: The present work aimed to obtain desorption isotherms for the species *Ilex paraguariensis*, known as yerba mate. Isotherms were determined using the static gravimetric method and saline solutions at temperatures of 40, 50 and 60°C. The experimental data obtained were analyzed and six mathematical models (Adam and Shove, BET, Caurie, GAB, Oswin and Smith) were adjusted to the results. The Adam and Shove model presented the best fit among the evaluated equations. The designed isotherms had sigmoid curves and are therefore called type II isotherms. It was also observed that the equilibrium moisture content increased with increasing relative humidity at a constant temperature, in contrast, it decreased with increasing temperature.

Keywords: Drying, Mathematical Models, *Ilex Paraguariensis*.

1. Introdução

A espécie *Ilex paraguariensis*, popularmente conhecida como erva-mate, é uma planta que possui uma grande importância econômica e cultural nos países da América do sul, em especial, nos estados localizados ao sul do Brasil. Suas folhas, após serem processadas, são comumente utilizadas no preparo de bebidas e na produção de medicamentos naturais para o tratamento de diversas doenças. As principais bebidas brasileiras preparadas com erva-mate são denominadas de chá mate, chimarrão ou tererê/tererê.

Para que seja feito o seu consumo, a erva mate deve ser processada. Esse processamento envolve várias etapas, como o branqueamento, secagem, envelhecimento, peneiramento e embalagem (POLIDORO et al., 2016). Tendo em vista que essa planta é cultivada em diversos países, as suas condições de processamento variam de acordo com o produtor e com o perfil do consumidor final.

Dentre as características positivas apresentadas pela erva-mate podemos citar sua capacidade antioxidante, comprovada pela sua potente inibição da oxidação causada por radicais livres. Ademais, em um estudo de caracterização dos extratos de folhas de chá mate, Jacques et al. (2007) identificaram compostos de extrema importância como cafeína, ácidos graxos, esqualeno, fitoesteróis, vitamina E, xantinas e álcoois.

Os extratos de erva-mate também apresentam muitos compostos fenólicos, como ácido cafeico e ácido 3,4-dihidroxibenzoico, além da rutina (SOUZA et al., 2011; BIZZOTTO et al., 2012). A principal propriedade dos compostos fenólicos é a defesa contra compostos produzidos pelo metabolismo celular, principalmente espécies reativas do oxigênio que são geradas durante o estresse oxidativo (LIMA et al., 2017).

Popularmente, a infusão de erva-mate é usada no tratamento de doenças inflamatórias, hepáticas e digestivas, artrite, reumatismo, obesidade, hipertensão entre outras (Moraes et al., 2009). O esqualeno, um precursor de esteróides como o colesterol (HE et al., 2002) presente na erva-mate tem sido associado a diminuição de diversos tipos de câncer, principalmente em regiões onde há alto consumo de azeite de oliva, que é um produto rico no citado composto (SMITH, 2000). A erva-mate também é utilizada como um tônico no tratamento contra celulites e envelhecimento (STREIT et al., 2007).

As infusões de erva-mate se mostraram eficientes no atenuamento da lipoproteína humana de baixa densidade (LDL) em indivíduos hipercolesterolêmicos e na melhora dos índices lipídicos nos normolipidêmicos e dislipidêmicos, sendo portanto, uma aliada na redução de doenças cardiovasculares que são a principal causa de morbidade e mortalidade no mundo (MORAIS et al., 2009).

Para que a erva-mate seja entregue ao consumidor, uma das etapas imprescindíveis é a secagem, sendo esse um dos processos mais antigos utilizados para a conservação de alimentos. É por meio dessa técnica que a água presente nos alimentos é removida, com o objetivo de reduzir a sua disponibilidade para o crescimento e desenvolvimento de microrganismos, que em sua maioria são prejudiciais à saúde (PRIOR, 1979).

Os alimentos que possuem alto teor de água tendem a uma maior probabilidade de serem deteriorados, tendo em vista que os organismos que realizam essa ação, possuem elevada atividade metabólica em ambientes com maiores níveis de hidratação (ANAGNOSTOPOULOS, 1979). A água disponível para o metabolismo microbiano é denominado de água livre (DITCHFIELD, 2000). A quantidade desta em um material é definida, por sua vez, como atividade de água (A_w), sendo expressa como a razão entre a pressão de vapor relativa da água presente em um sistema (P), pela pressão de vapor relativa da água pura (P_0), para uma mesma temperatura (GAVA, 1998).

Em um estado de equilíbrio, a umidade relativa do ar é tomada como 100 vezes a atividade de água. Partindo desse pressuposto, o fenômeno de sorção pode então ser explicado. Levando-se em conta que este ocorre quando a umidade de um material e a umidade relativa do ambiente atingem o equilíbrio. Quando essa condição se dá por meio da perda de umidade é denominado de dessorção, quando por ganho, de adsorção (GOLLNER-REIS, 2019).

Um material submetido ao processo de secagem atinge um menor nível de umidade por meio da transferência desse líquido presente em sua superfície para uma fase de vapor insaturado (MATOS, 2015). Quando o equilíbrio é então atingido, esse material não perde

ou ganha água, sendo assim, a dessorção ou adsorção que o material sofre visa o ajuste da sua atividade de água à uma condição de equilíbrio com a umidade relativa do ar do sistema.

Baseando-se na relação existente entre umidade relativa e atividade de água, isotermas de sorção são desenvolvidas, uma vez que estas permitem o projeto e otimização de equipamentos de secagem, a previsão da qualidade, a estabilidade e do prazo de validade de um alimento. Uma isoterma de sorção é uma curva que correlaciona a atividade de água de um material e a água dessorvida ou adsorvida (DITCHFIELD, 2000). Essa curva pode ser classificada como isoterma de adsorção quando obtida por meio do aumento da umidade ou isoterma de dessorção quando resultante da diminuição da umidade presente no material.

Uma isoterma de dessorção pode ser obtida pela disposição da amostra em uma câmara de umidade controlada, a uma temperatura constante. Com o decorrer do experimento, se observa a diminuição da massa, até que o equilíbrio seja alcançado. Esse estado de constância é constatado quando a massa se torna estacionária.

Diversas espécies de plantas tiveram suas isotermas determinadas, visando a obtenção de importantes dados sobre os processos de secagem e armazenamento. A título de exemplo, as isotermas de sorção da verbena (*Lippia citriodora*), sálvia (*Salvia officinalis*) e hortelã (*Mentha viridis*) foram obtidas para as temperaturas de 25, 30, 40, 50, 60 e 70°C, cujos resultados corroboram com a premissa de que cada material apresenta um comportamento específico durante o processo de secagem (KOUHILA et al., 2001). Para as folhas *Citrus aurantium*, se observou que conforme há a diminuição da temperatura há o aumento da umidade relativa nas amostras, que foram submetidas a processos nas temperaturas de 30, 40 e 50°C (MOHAMED et al., (2005). Resultados semelhantes foram obtidos em experimentos realizados nas mesmas temperaturas para as folhas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*) e para quatro variedades de oliveira da Tunísia, nos quais verificou-se que além de existir uma redução no teor da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura, esse último parâmetro juntamente com a atividade de água exercem influência sobre os valores de umidade de equilíbrio (Bahloul et al 2008) (Cordeiro et al. 2006).

Tendo em vista a importância econômica da erva-mate e suas amplas aplicações na área da saúde, esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento das isotermas de sorção das folhas de erva-mate.

2. Material e métodos

Para o presente trabalho, utilizou-se erva-mate de variedade comercial do estado de Santa Catarina. As folhas foram limpas e submetidas ao processo de branqueamento. Uma folha antes do processo de branqueamento estão representadas na figura 1.

Figura 1 – Folha de erva-mate antes do branqueamento



Fonte: AUTORES (2020)

Essa etapa consistiu em colocar as folhas em um béquer com água dentro de um banho maria com circulação a 87°C por 90 segundos. Na figura 2 está representada a erva-mate após o processo.

Figura 1 – Folha de erva-mate após o branqueamento



Fonte: AUTORES (2020)

Para a obtenção das isotermas de desorção foi utilizado o método gravimétrico estático. Para tanto, utilizou-se cinco soluções salinas saturadas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C. Os sais utilizados para o preparo das soluções foram nitrito de sódio (NaNO_2), cloreto de sódio (NaCl), sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)\text{SO}_4$), hidróxido de sódio (NaOH), cloreto de potássio (KCl) e cloreto de magnésio (MgCl_2). Na tabela 1 estão descritas as umidades relativas para cada solução salina nas temperaturas empregadas no trabalho, embasadas nas informações fornecidas por Carr e Harris (1949), Greenspan (1977) e Spencer (1926).

Sais	Temperaturas		
	40°C	50°C	60°C
NaOH	0,6150	-	-
NaCl	0,7468	0,7443	0,7450
$(\text{NH}_4)\text{SO}_4$	0,8032	0,7954	0,7876
NaOH	-	0,0494	-
KCl	-	0,8120	0,8025
MgCl_2	-	-	0,2926

Fonte: Autores (2020)

Como pode se observar na tabela 1, alguns sais não puderam ser utilizados para todas as temperaturas no experimento devido à falta de dados a respeito de sua umidade relativa ou da sua solubilidade. Além disso, alguns sais demandavam de grande quantidade para o preparo das soluções, inviabilizando o seu emprego, devido aos custos. Contudo, com as soluções salinas empregadas, uma faixa de umidade relativa de 0,2926 a 0,8120 pode ser alcançada.

O preparo das soluções saturadas consistiu na dissolução dos sais em água destilada, observando o valor de solubilidade para cada composto. É importante ressaltar, que para o correto desenvolvimento do experimento, as soluções devem permanecer saturadas nas temperaturas de trabalho. Essa característica pode ser observada pela formação de corpo de fundo.

Cada solução saturada foi adicionada em um vidro hermético. Além da solução, foram alocados no recipiente um suporte de policloreto de vinila utilizado para acomodar o copo com a amostra de erva-mate. Cada amostra consistia em 1 g de erva-mate cortada. O recipiente hermético possibilita que a umidade relativa fornecida pela solução salina seja relacionada a umidade de equilíbrio da amostra ao final do processo. A unidade experimental pode ser visualizada na figura 3 abaixo.

Figura 3 – Unidade experimental



Fonte: Autores (2020)

A unidade amostral foi montada de forma a permitir a circulação das correntes de umidade durante o processo de secagem e o não contato direto entre a amostra e a solução salina, mantendo a integridade das folhas de erva-mate. A massa das amostras foram monitoradas até o equilíbrio, ou seja, quando o valor de duas pesagens consecutivas se mantivesse constante. Em seguida, a massa seca das amostras foram determinadas ao submetê-las a secagem em estufa por 24 horas a 105°C.

Para determinar o teor de umidade final das folhas ao final do processo de secagem em base seca (b.s.), kg de água por kg de material seco, representada por X_e , utilizou-se a massa da amostra na umidade de equilíbrio (M_e) e o valor da massa seca (M_s):

$$X_{e(b.s.)} = \frac{(M_e - M_s)}{M_s} \quad (1)$$

Com a umidade de equilíbrio em base seca calculada tornando possível sua correlação com as umidades relativas. Como os experimentos foram realizados em duplicatas, a média aritmética e o desvio padrão das amostras foram estimados.

Para o ajuste matemático das isotermas de desorção das folhas de erva-mate foram utilizados os modelos matemáticos de Adam e Shove (CHIRIFE; IGLESIAS, 1978), BET (BRUNAUER et al., 1936), Caurie (CASTILLO et al., 2003), GAB (CHEN, 2002), Oswin (OSWIN, 1946) e Smith (SMITH, 1947). Com o uso do programa computacional Statistica® versão 13.5, os dados foram analisados por meio de regressão não linear. Todos os modelos utilizados se encontram na tabela 2.

Tabela 2 – Modelos matemáticos

Modelo	Equação	
Adam e Shove	$X_e = A + B * UR + C * UR^2 + D * UR^3$	(2)
BET	$X_e = \{1/[(1 - UR) * (1/A + B + ((A - 1)/A + B))]\}$	(3)
Caurie	$X_e = \exp(A + B * UR)$	(4)
GAB	$X_e = (A * B * C * UR) / [(1 - C * UR) * (1 - C * UR + B * C * UR)]$	(5)
Oswin	$X_e = A * (UR/1 - UR)^B$	(6)
Smith	$X_e = (A - B) * \log(1 - UR)$	(7)

Fonte: Autores (2020)

Os dados obtidos a partir da análise dos modelos foram analisados, sendo considerado o melhor modelo aquele com melhor coeficiente de determinação (R^2).

3. Resultados e discussão

Na tabela 3 são exibidos os valores experimentais das umidades de equilíbrio obtidos para as amostras de erva-mate em relação a umidade relativa das soluções salinas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, com os desvios padrões calculados (σ).

Tabela 3 – Umidades de equilíbrio experimentais

Temperaturas								
40°C			50°C			60°C		
UR	X_e (b.s.)	σ	UR	X_e (b.s.)	σ	UR	X_e (b.s.)	σ
0,6150	0,0801	0,0087	0,0494	0,0089	0,0000	0,2926	0,0548	0,0987
0,7468	0,1394	0,0120	0,7443	0,1454	0,0309	0,7450	0,1195	0,0076
0,8032	0,1791	0,0038	0,7954	0,1845	0,0271	0,7876	0,1488	0,0189
-	-	-	0,8120	0,1932	0,0188	0,8025	0,1520	0,0234

Fonte: Autores (2020)

Com esses resultados apresentados já é possível observar que para uma temperatura constante, com o aumento da umidade relativa também há o incremento da umidade de equilíbrio (X_e (b.s.)).

Os valores médios dos coeficientes de determinação obtidos para cada modelo estão dispostos na tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos coeficientes de determinação

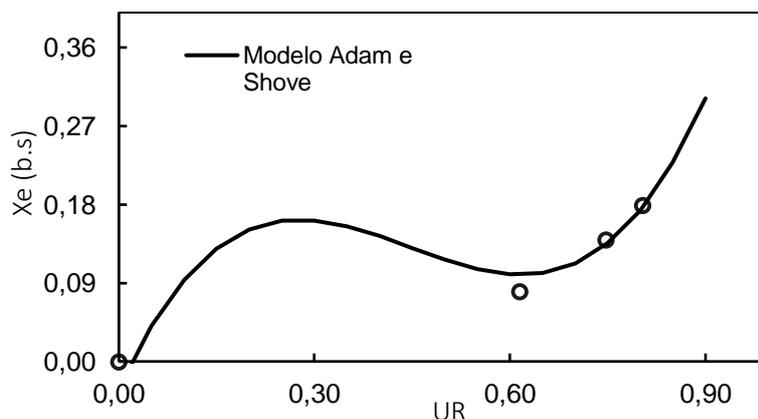
Modelo	R^2
Adam e Shove	0,953
BET	0,570
Caurie	0,635
GAB	0,882
Oswin	0,764
Smith	0,113

Fonte: Autores (2020)

Dentre os modelos analisados, o que apresentou melhor coeficiente de correlação foi o de Adam e Shove, seguido do GAB. Levando em consideração os resultados, podemos considerar que o modelo empírico de Adam e Shove é o com melhores estimativas para o material de estudo, pois apresentou melhor ajuste aos dados experimentais.

Por fim, na figura 3 está representada a isoterma de dessorção das folhas de erva-mate na temperatura de 40°C.

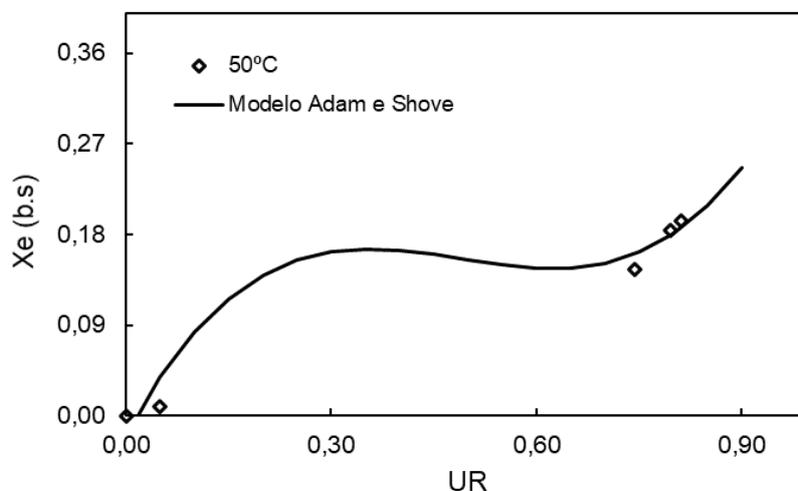
Figura 3 – Isoterma de dessorção a 40°C



Fonte: AUTORES (2020)

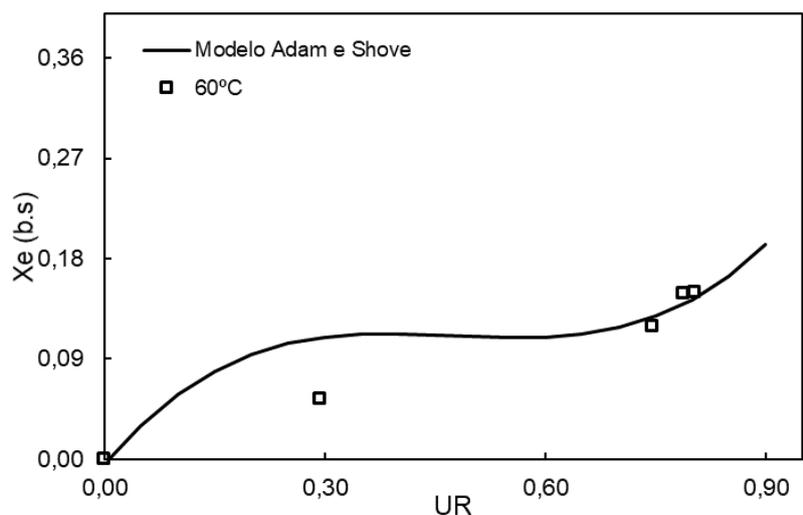
Nas figuras 4 e 5 estão demonstradas as isotermas de dessorção obtidas para as temperaturas de 50 e 60°C respectivamente.

Figura 4 – Isoterma de dessorção a 50°C



Fonte: AUTORES (2020)

Figura 5 – Isoterma de dessorção a 60°C

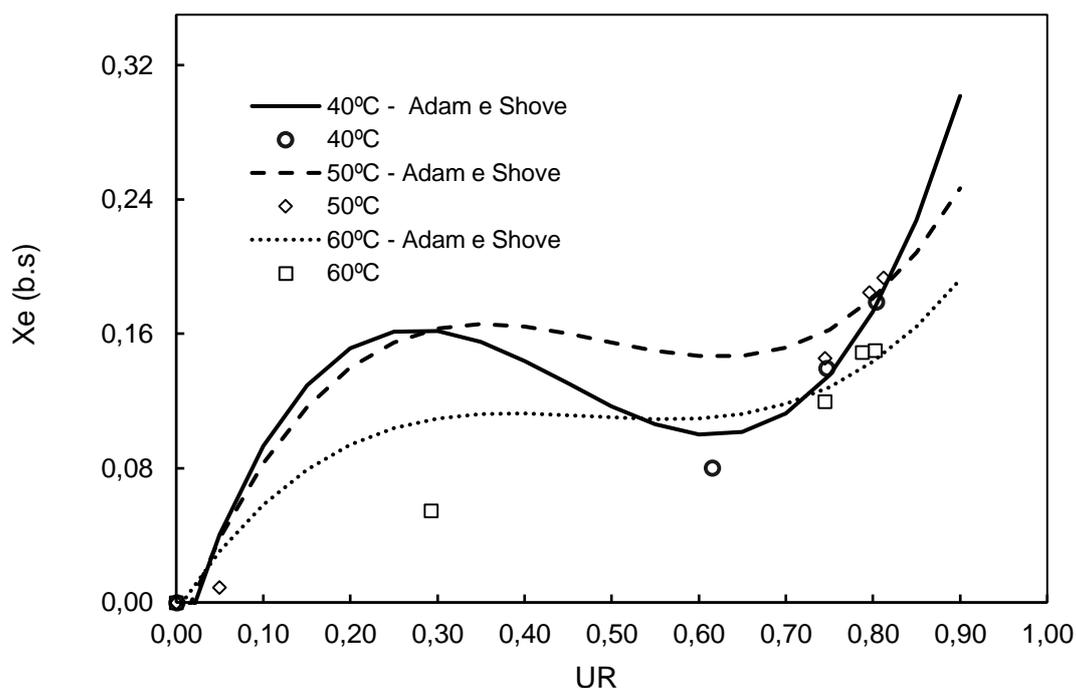


Fonte: AUTORES (2020)

Os dados presentes nas isotermas são condizentes com os descritos na da tabela 3. Sendo demonstrado novamente, que o incremento na umidade relativa é acompanhado pelo aumento da umidade de equilíbrio em cada temperatura. Tal relação já foi observada em outros trabalhos como para as folhas de alecrim (BENSEBIA; ALLIA, 2016) cujas isotermas de dessorção foram determinadas a 30, 40 e 50°C e para o alecrim marroquino (MGHAZLI et al., 2016). Nesses trabalhos também foram obtidas curvas em forma de sigmoide, classificadas como isotermas do tipo II, segundo a classificação de Brunauer e Emmett (1940) semelhantes as obtidas neste experimento para a erva-mate.

Quando reunidas as três isotermas, como ilustrado na figura 6, alguns pontos podem ser discutidos, como por exemplo a dependência existente entre as curvas e a temperatura de trabalho.

Figura 6 – Isotermas de dessorção da erva-mate



Fonte: AUTORES (2020)

Observa-se que a umidade de equilíbrio decresce com o aumento da temperatura. Para a temperatura de 60°C em valores superiores a 0,7 a umidade de equilíbrio é inferior as umidades apresentadas nas outras temperaturas. Já para 50°C, o teor de umidade de equilíbrio passa a ser inferior ao de 40°C em uma atividade de água superior a 0,8. Esse comportamento é explicado pelo fato de que a energia cinética das moléculas de água tendem a aumentar com o aumento da temperatura. Com isso, há uma redução nas forças de atração entre essas moléculas, resultando em uma diminuição do teor de umidade com a elevação da temperatura (SHIVHARE et al., 2004). Sendo assim, com o aumento da temperatura as forças de atração entre as moléculas diminuem devido ao seu alto grau de agitação. Esses resultados estão em concordância com os encontrados para cogumelos (KUROZAWA et al., 2005) e melão (MALLEK-AYADI et al., 2020) que também apresentaram o mesmo comportamento. Ademais, a temperatura possui maior influência na isoterma de dessorção a 60°C do que a 40 e 50°C.

Com a construção das isotermas de dessorção para a erva-mate, estudos posteriores que visem a análise termodinâmica desses resultados se tornam válidos.

4. Conclusão

A erva-mate possui grande importância econômica e cultural no Brasil. Ademais, devido seus diversos benefícios, têm se buscado aplicações terapêuticas. Isotermas de dessorção para a erva mate foram determinadas a 40, 50 e 60°C, utilizando o método estático gravimétrico. As isotermas obtidas são do tipo II, caracterizadas por serem uma curva em forma de sigmoide. O modelo que forneceu os melhores ajustes aos dados experimentais foi o Adam e Shove, com um coeficiente de correlação de 0,953.

Além disso, a umidade de equilíbrio diminuiu com o aumento da temperatura para as amostras. Contudo, houve um aumento na umidade de equilíbrio com o acréscimo da umidade relativa.

Referências

- ANAGNOSTOPOULOS, G. Water activity in food. **Nutrition & Food Science**, v. 79, n. 4, p. 6–7, 1979.
- BENSEBIA, O.; ALLIA, K. Analysis of adsorption-desorption moisture isotherms of rosemary leaves. **J. Appl. Res.on Med. and Aromat. Plants**, p. 1–8, 2016.
- BIZZOTTO, C.; DILLENBURG, A.; CECÍLIA, A.; et al. Quantification of phenolic compounds by capillary zone electrophoresis in extracts of four commercial types of mate herb before and after acid hydrolysis. **Food Research International**, v. 48, p. 763–768, 2012.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. Theory of the Van Der Waals adsorption of gases. **J. Am. Chem. Soc**, v. 62, p. 1723–1732, 1940.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **J. Am. Chem. Soc**, v. 60, n. 2, p. 309–319, 1936.
- CARR, D. S.; HARRIS, B. L. Solutions for maintaining constant relative humidity. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 41, p. 2014–2015, 1949.
- CASTILLO, M. D.; MART, E. J.; GONZ, H. H. L.; PACIN, A. M.; RESNIK, S. L. Study of mathematical models applied to sorption isotherms of Argentinean black bean varieties. **Journal of food En**, v. 60, p. 343–348, 2003.
- CHEN, C. Sorption Isotherms of Sweet Potato Slices. **Biosystems Engineering**, v. 83, n. 1, p. 85–95, 2002.
- CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods : Part 1 - a review. **Jornaul Food Technol**, v. 13, p. 159–174, 1978.
- DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**, 2000. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo, 1998.
- GOLLNER-REIS, J. P. **Modelagem matemática da secagem convectiva e dessorção das folhas de Ora-pro-nobis (Pereskia sp.)**, 2019. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**, v. 81, n. 1, p. 89–96, 1977.
- HE, H.; CAI, Y.; SUN, M.; CORKE, H. Extraction and Purification of Squalene from Amaranthus Grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 368–372, 2002.
- JACQUES, R. A.; SANTOS, J. G.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, J. V.; CARAM, E. B. GC/MS characterization of mate tea leaves extracts obtained from high-pressure CO₂ extraction. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 40, p. 354–359, 2007.
- KOUHILA, M.; BELGHIT, A.; DAGUENET, M.; BOUTALEB, B. C. Experimental determination of the sorption isotherms of mint (*Mentha viridis*), sage (*Salvia officinalis*) and verbena (*Lippia citriodora*). **Journal of Food Engineering**, v. 47, n. 4, p. 281–287, 2001.
- KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isotermas de dessorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 828–834, 2005.
- LIMA, M. E.; COLPO, A. C.; MAYA-LÓPEZ, M.; ROSA, H.; TÚNEZ, I.; GALVÁN-ARZATE, S. SANTAMARÍA, A.; FOLMER, V.;. Protective effect of Yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) against oxidative damage in vitro in rat brain synaptosomal/ mitochondrial P2 fractions.

- Journal of Functional Foods**, v. 34, p. 447–452, 2017.
- MALLEK-AYADI, S.; BAHLOUL, N.; KECHAOU, N. Mathematical modelling of water sorption isotherms and thermodynamic properties of Cucumis melo L. seeds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 131, p. 109727, 2020.
- MATOS, S. **Operações unitárias: fundamentos, transformações e aplicações dos fenômenos físicos e químicos**. 1º ed. São Paulo, 2015.
- MGHAZLI, S.; IDLIMAM, A.; MAHROUZ, M.; LAHNINE, L.; HIDAR, N.; OUHAMMOU, M.; MOUHIB, MOHAMED.; ZANTAR, S.; BOUCHDOUG, M. Comparative moisture sorption isotherms, modelling and isosteric heat of sorption of controlled and irradiated Moroccan rosemary leaves. **Industrial Crops & Products**, p. 1–8, 2016.
- MOHAMED, L. A.; KOUHILA, M.; JAMALI, A.; LAHSASNI, S.; MAHROUZ, M. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (Citrus aurantium). **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 491–498, 2005.
- MORAIS, E. C.; STEFANUTO, A.; KLEIN, G. A.; BOAVENTURA, B. C. B.; ANDRADE, F.; WAZLAWIK, E.; DI PIETRO, P. F.; MARASCHIN, M.; SILVA, E. L. Consumption of Yerba Mate (Ilex paraguariensis) Improves Serum Lipid Parameters in Healthy Dyslipidemic Subjects and Provides an Additional LDL-Cholesterol Reduction in Individuals on Statin Therapy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 8316–8324, 2009.
- OSWIN, C. The kinetics of packing life III the isotherm. **Journal of Chemical Industry**, v. 65, p. 419–423, 1946.
- POLIDORO, A. S.; SCAPIN, E.; MALMANN, M.; CARMO, J. U.; MACHADO, M. E.; CARAMÃO, E. B.; JACQUES, R. A. Characterization of volatile fractions in green mate and mate leaves (Ilex paraguariensis A. St. Hil.) by comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled to time-of-flight mass spectrometry (GC × GC/ TOFMS). **Microchemical Journal**, v. 128, p. 118–127, 2016.
- PRIOR, B. Measurement of Water Activity in Foods : A Review. , v. 42, n. **Journal of Food Protection**, p. 668–674, 1979.
- SHIVHARE, U. S.; ARORA, S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G. S. V. Moisture adsorption isotherms for mushroom. **Lebensm._Wiss. u.-Technol.**, v. 37, p. 133–137, 2004.
- SMITH, E.; SMITH, E. The sorption of water vapor by high polymers. **Journal of Chemical Industry**, v. 69, p. 646–651, 1947.
- SMITH, T. J. Squalene : potential chemopreventive agent. **Ashley Publications Ltd.**, v. 9, n. 8, p. 1841–1848, 2000.
- SOUZA, L. M. DE; DARTORA, N.; SCOPARO, C. T.; CIPRIANI, T. R.; GORIN, P. A. J.; IACOMINI, M., SASSAKI, G. L. Comprehensive analysis of maté (Ilex paraguariensis) compounds: Development of chemical strategies for matesaponin analysis by mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1218, p. 7307–7315, 2011.
- SPENCER, H. **Laboratory methods for maintaining constant humidity**. New York: National Rese, 1926.
- STREIT, N. M.; HECKTHEUER, L. H. R.; CANTO, M. W.; MALLMANN, C. A.; STRECK, L.; PARODI, T. V.; CANTERLE, L. P. Relation among taste-related compounds (phenolics and caffeine) and sensory profile of erva-mate (Ilex paraguariensis). **Food Chemistry**, v. 102, p. 560–564, 2007.