

Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki

Adzuki bean seeds hygroscopicity

Dieimisson Paulo ALMEIDA^{1,2}, Osvaldo RESENDE³, Lílian Moreira COSTA⁴, Udenys Cabral MENDES²

¹ Parte do Trabalho de Conclusão do Curso de graduação do primeiro autor; Pesquisa financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

² Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Rio Verde – GO, Brasil, dieimissonpa@gmail.com; udenys-ago@hotmail.com

³ Dr, Engenheiro Agrícola, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Rio Verde – GO, Brasil, osvresende@yahoo.com.br

⁴ Autor para correspondência. Engenheiro Agrônomo, Mestre, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Rio Verde – GO, Brasil, Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais. Rod. Sul Goiana, km 01- Cx. Postal: 66- CEP 75.901-970, Fones: (64) 3620-5641. Fax: (64) 3620-5640; lmctpg@yahoo.com.br

Resumo

Neste trabalho, objetivou-se estudar a higroscopicidade das sementes de feijão adzuki (*Vigna angularis* Willd), obtendo-se as isotermas de sorção e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais. Para a obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico, utilizaram-se sementes de feijão adzuki com teor de água inicial de 15,13% (%b.s.) e o método estático-gravimétrico. Para cada repetição, foram colocados 20 g de sementes envolvidas por um tecido permeável para permitir o contato do ar com o produto e colocados no interior dos dessecadores. Para o controle da umidade relativa nos dessecadores, foram utilizadas soluções saturadas de LiCl, CaCl₂, Ca(NO₃)₂, NaCl e KBr. Os dessecadores foram colocados em Câmara Incubadora BOD, regulada para as temperaturas de 25; 30; 35 e 40 °C. O teor de água de equilíbrio higroscópico do feijão é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio. Os modelos de Copace e GAB são os que melhor representam a higroscopicidade das sementes de feijão quando comparados aos demais modelos testados. Assim, os modelos de GAB e Copace foram selecionados para representar a higroscopicidade das sementes de feijão adzuki.

Palavras-chave adicionais: Dessorção; modelos matemáticos; teor de água; *Vigna angularis*.

Abstract

The objectives of this study were to determine the hygroscopicity of adzuki bean seeds by means of the sorption isotherms and adjust different mathematical models to the experimental data. The static-gravimetric method was used to have adzuki bean seeds with an initial moisture content of 15.13% (dry basis). For each replicate, 20 g of seed were enclosed in bags made of a permeable fabric to permit contact between the air and the product and placed inside desiccators. The relative humidity of the air inside the desiccators was controlled by saturated solutions of LiCl, CaCl₂, Ca(NO₃)₂, NaCl, and KBr. The dessicators were placed inside BOD chambers with temperatures adjusted to 25, 30, 35, and 40 °C. Adzuki bean seeds equilibrium moisture content is directly proportional to water activity and decreases as temperature increases. For the same equilibrium relative humidity value, the CECAF and GAB models are those best representing adzuki bean seeds hygroscopicity. Thus, these were the models chosen to represent adzuki bean seeds hygroscopicity.

Additional keywords: Desorption; mathematical modeling; *Vigna angularis*; water activity.

Introdução

O feijão é cultivado em quase todos os países de clima tropical e subtropical, e assume enorme importância na alimentação humana, fundamentalmente pelo seu baixo custo. Trata-se de um alimento rico em proteína, com plena aceitação nos mais diversos hábitos alimentares, estando seu cultivo disseminado por todo o País.

O gênero *Vigna* compreende cerca de 160 espécies, das quais somente sete são cultivadas. Dentre estas, o feijão adzuki (*Vigna angularis* Willd) é produzido, principalmente, na Ásia (VIEIRA et al., 1992), sendo consumido na China, Japão e Coreia. O Japão é o maior produtor e importador de feijão adzuki, com uma área de plantio em torno de 100 mil hectares. No Brasil, ainda não há estatísticas precisas de nú-

mero de produtores, produção ou área cultivada com esse tipo de feijão, que é consumido principalmente nas colônias japonesas, sobretudo na forma de doces e inúmeras iguarias orientais.

Na fase de pós-colheita do feijão, a secagem é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e estabilidade, considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento.

Entende-se por equilíbrio higroscópico o teor de água no qual a pressão de vapor d'água no produto é igual à pressão de vapor do ar que o envolve (SOKHANSANJ & YANG, 1996).

Os produtos agrícolas possuem a propriedade de realizar trocas de água sob a forma de vapor, com o ambiente que os envolve. Essas trocas podem acontecer por meio do ganho ou da perda de água, fenômenos conhecidos, respectivamente, por adsorção e dessorção, de acordo com as características higroscópicas recíprocas do produto e do ar. A afinidade existente entre a água e os outros componentes (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.) de um produto define sua higroscopicidade (BROOKER et al., 1992).

A relação entre o teor de água de equilíbrio e a umidade relativa de equilíbrio, também designada por atividade da água (A_w), constitui fator essencial nos projetos e nos estudos de sistemas de secagem, manuseio, armazenagem, embalagem e transporte, e na modelagem da longevidade das sementes (ARAÚJO et al., 2001).

Durante o armazenamento do feijão, podem ocorrer mudanças físicas, químicas e microbiológicas que, dependendo da interação entre estes fatores e o ambiente, podem ocasionar perdas em sua qualidade. Assim, faz-se necessário o conhecimento das relações existentes entre o produto, a temperatura e a umidade relativa do ar, objetivando iniciativas e estudos com a finalidade de amenizar estas possíveis alterações (RESENDE et al., 2006).

De acordo com HALL (1980), as curvas de equilíbrio higroscópico são importantes para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças do teor de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ambiente e para definir os teores de água adequados ao início de atividade de microrganismos que podem provocar a deterioração do produto.

Além disso, a cultivar, o grau de maturidade e as condições físicas e sanitárias, bem como a maneira pela qual o equilíbrio foi obtido (adsorção ou dessorção), também são determinantes para o estabelecimento do teor de água de equilíbrio de produtos higroscópicos (CHEN, 2000; FAN et al., 2000).

Vários pesquisadores têm estudado o comportamento higroscópico de diversos produtos

agrícolas, que descrevem modelos distintos para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e da umidade relativa do ar; como para o nabo forrageiro (SOUSA, 2011), o quiabo (GONELI et al., 2010), a mamona (GONELI, 2008), o feijão vermelho (RESENDE et al., 2006), o milho em espiga (CORRÊA et al., 2005b), dentre outros. Entretanto, para o estabelecimento de isotermas que representam essa relação de equilíbrio, são utilizados modelos matemáticos empíricos, uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de estimar, com precisão, o teor de água de equilíbrio para uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa do ar (CORRÊA et al., 2005b; RESENDE et al., 2006).

Considerando a importância da secagem e o conhecimento da higroscopicidade dos produtos agrícolas tropicais para o armazenamento, a gama de espécies de feijão existentes e a escassez de informações teóricas a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem e o armazenamento do feijão adzuki, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a higroscopicidade das sementes de feijão adzuki, obtendo-se as isotermas de sorção e de ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais.

Material e métodos

Para a condução do experimento, foram utilizadas sementes de feijão adzuki (*Vigna angularis* Willd.) cultivadas na safra de inverno de 2010, colhidas manualmente em uma área experimental no município de Rio Verde, Goiás, com teor de água de 15,13% base seca (%b.s.).

Os teores de água das sementes foram determinados por gravimetria, secando-as em estufa a 105 ± 1 °C, durante 24 h, em três repetições (BRASIL, 2009).

Para a obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico, utilizou-se do método estático-gravimétrico. Para cada repetição, foram colocados 20 g de sementes envolvidas por um tecido permeável (voile) para permitir o contato do ar com o produto e colocados no interior dos dessecadores. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de um *data logger* colocado no interior dos dessecadores. Para o controle da umidade relativa no interior dos dessecadores, foram utilizadas soluções saturadas de diferentes sais apresentados na Tabela 1, preparadas de acordo com a metodologia descrita por DHINGRA & SINCLAIR (1995). Os dessecadores foram colocados em câmara incubadora tipo BOD, reguladas nas temperaturas de 25; 30; 35 e 40 °C.

Tabela 1 - Umidades relativas (decimal) estabelecidas no interior dos dessecadores para a determinação do equilíbrio higroscópico das sementes de feijão adzuki pelo método estático-gravimétrico. *Relative humidity values established inside the desiccators to determine the hygroscopic equilibrium of adzuki bean seeds by the static-gravimetric method.*

| ¹ Composto químico | ² Temperatura (°C) | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|------|------|------|
| | 25 | 30 | 35 | 40 |
| LiCl | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,11 |
| CaCl ₂ | 0,35 | 0,28 | 0,22 | 0,21 |
| Ca(NO ₃) ₂ | - | 0,49 | 0,44 | 0,5 |
| NaCl | - | 0,78 | 0,74 | 0,75 |
| KBr | 0,84 | 0,89 | 0,80 | 0,79 |

¹ Composto químico usado para a determinação da Higroscopicidade (LiCl) Cloreto de lítio, (CaCl₂) Cloreto de cálcio, (Ca(NO₃)₂), (NaCl) , (KBr) Brometo de Potássio. ² Temperaturas reguladas na BOD.

Aos dados experimentais do teor de água de equilíbrio foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para a representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas expressões estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de higroscopicidade de produtos agrícolas. *Mathematical models used to predict the phenomenon of hygroscopicity of agricultural products.*

| ¹ Designação do modelo | ¹ Modelo | |
|--|----------------------|------|
| $Xe^* = \left\{ 1 / \left[(1 - a_w) \cdot (1/a \cdot b + ((a - 1)/a \cdot b)) \right] \right\}$ | BET | (1) |
| $Xe^* = [\log(1 - a_w) / (a \cdot (T^b))]^{1/c}$ | Cavalcante Mata | (2) |
| $Xe^* = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$ | Chung Pfof | (3) |
| $Xe^* = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$ | Copace | (4) |
| $Xe^* = (a \cdot b \cdot c \cdot a_w) / [(1 - c \cdot a_w) \cdot (1 - c \cdot a_w + b \cdot c \cdot a_w)]$ | GAB | (5) |
| $Xe^* = (\exp(a - b \cdot T) / -\ln(UR))^{1/c}$ | Halsey Modificado | (6) |
| $Xe^* = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot T + 273,16)]^{1/c}$ | Henderson | (7) |
| $Xe^* = \left\{ \ln(1 - UR) / [-a \cdot (T + b)] \right\}^{1/c}$ | Henderson Modificado | (8) |
| $Xe^* = (a + b \cdot T) / [a_w / (1 - a_w)]^{1/c}$ | Oswin Modificado | (9) |
| $Xe^* = a \cdot \left(a_w \cdot b / T^c \right)$ | Sabbah | (10) |
| $Xe^* = \exp \left\{ a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)] \right\}$ | Sigma Copace | (11) |

¹ Modelos matemáticos frequentemente utilizados para a representação da higroscopicidade de produtos agrícolas.

em que:

Xe^* - teor de água de equilíbrio, % b.s.;

a_w - atividade de água, decimal;

T - temperatura, °C;

a, b, c - coeficientes que dependem do produto.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi realizada a análise de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton, utilizando-se de um programa estatístico. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo, foi considerada a significância do coeficiente de regressão pelo teste t, adotando o nível de 5% de significância, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE) e o teste de Qui-quadrado (χ^2) em nível de

significância de 1% e o intervalo de confiança a 99% ($p < 0,01$). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para a seleção dos modelos, de acordo com MOHAPATRA & RAO (2005). Os erros médios relativos e estimados, bem como o teste de Qui-quadrado para cada um dos modelos, foram calculados conforme as seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \tag{12}$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \tag{13}$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \tag{14}$$

em que:

Y - valor experimental;

\hat{Y} - valor estimado pelo modelo;

N - número de observações experimentais;

GLR - grau de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Resultados e discussão

Os valores médios do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de feijão adzuki, obtidos por dessorção para as temperaturas de 25; 30; 35 e 40 °C, e a atividade de água entre 0,27 e 0,82 (decimal) são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que, para uma mesma temperatura, com a variação da atividade de água, tem-se um aumento acentuado do teor de água de equilíbrio para as sementes de feijão.

Na Tabela 4, estão apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos valores de teor de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de feijão adzuki, obtidos por dessorção, pelo método estático, para diferentes condições de temperatura e atividades de água.

Verifica-se, na Tabela 4, que os modelos matemáticos utilizados para descrever a higroscopicidade do feijão adzuki apresentaram, para a maioria de seus coeficientes, significância de regressão em nível de 1% de significância, pelo teste t. De modo geral, os modelos apresentaram elevados valores do coeficiente de determinação, superior a 95%, à exceção dos modelos de Halsey Modificado, BET e Oswin. Segundo MADAMBA et al. (1996), a utilização do coeficiente de determinação como o único critério de avaliação para a

seleção dos modelos não lineares não constitui um bom parâmetro para a representação do fenômeno. Então, para uma análise mais detalhada, outros parâmetros estatísticos foram utilizados para respaldar a seleção do melhor modelo.

De acordo com os valores obtidos, referentes ao erro médio estimado (SE), nota-se que os modelos Copace, Henderson, Sigma Copace, GAB e Cavalcanti Mata apresentaram menores valores quando comparados aos demais.

Em relação ao teste de Qui-quadrado (χ^2), os 12 modelos analisados encontram-se no intervalo de confiança de 95%. Entretanto, comparando a magnitude dos valores, somente os modelos de Copace, Henderson, Sigma Copace, GAB, Henderson modificado e Cavalcanti Mata apresentaram menores valores em comparação aos demais.

Ainda na Tabela 4, nota-se que os valores do erro médio relativo (P) foram inferiores a 10%, somente para os modelos de Copace e GAB, que, de acordo com MOHAPATRA & RAO (2005), indica uma representação adequada do fenômeno estudado. Desta forma, recomendam-se estes dois modelos para a descrição do teor de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de feijão adzuki.

Tabela 3 - Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) do feijão adzuki, obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e a atividade de água (decimal). *Mean equilibrium moisture content (dry basis) of adzuki seed beans resulting from a desorption process as influenced by temperature (°C) and water activity (decimal).*

| ¹ Atividade de água (decimal) | ² Temperatura (°C) | | | |
|---|-------------------------------|------|------|------|
| | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 0,1 | 4,9 | - | - | - |
| 0,11 | - | - | - | 4,1 |
| 0,15 | - | 4,5 | 4,3 | - |
| 0,21 | - | - | - | 5,8 |
| 0,22 | - | - | 6,0 | - |
| 0,28 | - | 6,7 | - | - |
| 0,35 | 7,8 | - | 9,6 | - |
| 0,44 | - | - | - | - |
| 0,49 | - | 10,5 | - | - |
| 0,5 | - | - | - | 8,0 |
| 0,74 | - | - | 19,5 | 19,2 |
| 0,75 | - | - | - | - |
| 0,78 | - | 24,8 | - | - |
| 0,79 | - | - | - | 20,0 |
| 0,8 | - | - | 23,5 | - |
| 0,84 | 23,8 | - | - | - |
| 0,89 | - | 24,8 | - | - |

¹ Atividade de água entre 0,27 e 0,82 (decimal), ² Temperaturas reguladas na BOD.

Tabela 4 - Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de feijão adzuki, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios estimados (SE), erros médios relativos (P) e Qui-quadrado (χ^2). *Coefficient of the models adjusted to the adzuki bean seeds equilibrium moisture content with their respective coefficients of determination (R^2), estimated mean errors (SE), mean relative errors (P), and chi-square (χ^2).*

| ¹ Modelos | ² Coeficientes | | | SE decimal | P (%) | χ^2 | R^2 (%) |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|----------|----------|--------------|
| | a | b | c | | | | |
| BET | -194,119** | 0,262** | - | 3,99 | 18,28 | 15,94 | 76,88 |
| Cavalcante Mata | -0,010489 ^{ns} | 0,173492 ^{ns} | 1,455789** | 1,57 | 10,21 | 2,45 | 96,44 |
| Chung Pfast | 44,79732** | 7,68515** | 68,72072 ^{ns} | 1,68 | 12,28 | 2,84 | 95,88 |
| Copace | 1,374465** | 0,003230 ^{ns} | 2,236857** | 1,27 | 7,46 | 1,62 | 97,66 |
| GAB | 8,992505** | 5,958549* | 0,766491** | 1,54 | 9,53 | 2,39 | 96,54 |
| Halsey Modificado | 3,544637** | -0,006853 ^{ns} | 1,757213** | 2,22 | 14,45 | 4,93 | 92,85 |
| Henderson | 0,000064** | 1,449584** | - | 1,52 | 10,20 | 2,32 | 96,42 |
| Henderson Modificado | 0,0001 ^{ns} | 161,0849 ^{ns} | 1,4555** | 1,57 | 10,22 | 2,46 | 96,43 |
| Oswin Modificado | 10,80822** | 0,00948 ^{ns} | 2,27373** | 1,86 | 10,54 | 3,45 | 95,00 |
| Sabbah | 70,58647 ^{ns} | 1,09423** | 0,27517 ^{ns} | 1,79 | 17,09 | 3,21 | 95,35 |
| Sigma Copace | 0,265599 ^{ns} | -0,000116 ^{ns} | 1,247164 ^{ns} | 1,54 | 10,37 | 2,37 | 96,44 |

¹ Modelos matemáticos frequentemente utilizados para a representação da higroscopicidade de produtos agrícolas. ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t; * Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t; ^{ns} Não significativo.

Nas Figuras 1 (A) e (B), estão apresentados os valores experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de feijão adzuki, obtidos por dessorção, bem como suas isotermas calculadas pelo modelo de GAB e Copace, respectivamente.

De modo geral, a utilização das isotermas de sorção geram informações referentes ao

armazenamento adequado e à tomada de decisão sobre medidas preventivas para a manutenção da qualidade do produto, pois permitem a previsão do teor de água das sementes para cada condição específica de temperatura e de umidade relativa do ar.

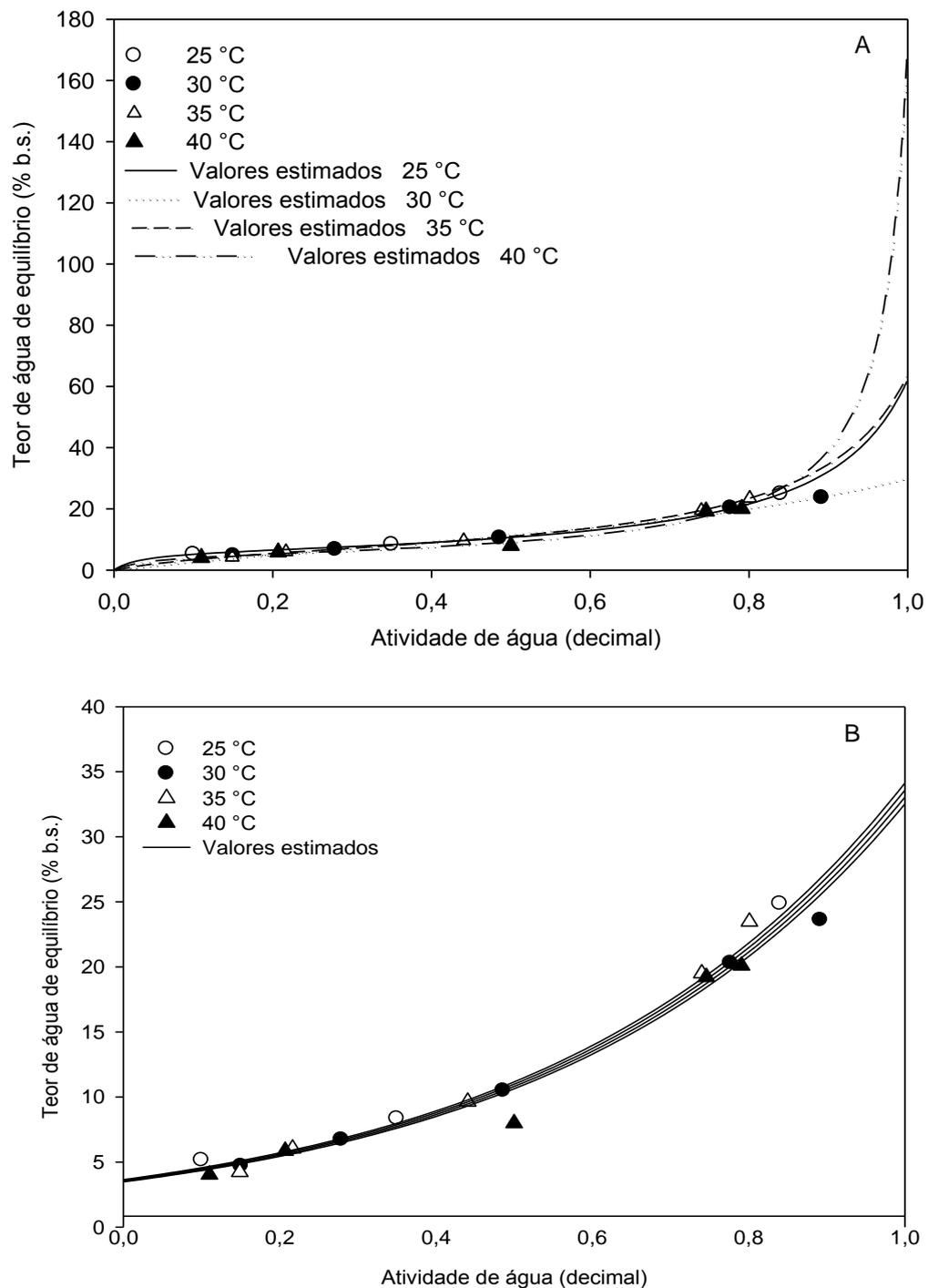


Figura 1 - Valores experimentais de teor de água de equilíbrio higroscópico e isothermas de dessorção estimadas pelo modelo de: A) GAB; B) Copace, para as sementes de feijão adzuki, em diferentes condições de temperatura e atividades de água. *Experimental values of equilibrium moisture content and desorption isotherms estimated by the models A) GAB, and B) Copace under different conditions of temperature and water activity.*

As isothermas das sementes do feijão adzuki estimadas pelos modelos de GAB e Copace podem ser classificadas como do tipo III (IUPAC, 1985), conforme verificado para as sementes de nabo forrageiro por SOUSA (2011), que também utilizou o modelo de Copace para a predição do teor de água de equilíbrio higroscópico do produto; e por FIGUEIRA et al. (2004), que encontraram na avaliação de isothermas de adsorção da raiz de chicória (*Chicorium intybus* L.), para as temperaturas de 60; 70 e 80 °C, melhor representação pelo modelo de GAB.

Entretanto, para a maioria dos produtos agrícolas, as isothermas apresentaram a forma

típica sigmoidal (tipo II), conforme observado para a maioria dos produtos agrícolas, como, por exemplo, soja (AVIRA et al., 2004), trigo (CORRÊA et al., 2005a), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (RESENDE et al., 2006), arroz em casca (BASUNIA & ABE, 2001; IGUAZ & VÍRSEDA, 2007) e mamona (GONELI, 2008). Segundo IUPAC (1985), as isotermas do tipo III são menos comuns, e este comportamento sugere que os principais constituintes do produto (solutos) apresentam pouca afinidade pelas moléculas de água.

Conclusões

O teor de água de equilíbrio higroscópico do feijão adzuki está associado à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio.

Baseando-se em parâmetros estatísticos, os modelos de Copace e GAB são os que melhor representam a higroscopicidade das sementes de feijão adzuki, quando comparados aos demais modelos testados, portanto são os selecionados para representar a higroscopicidade das sementes de feijão adzuki.

Referências

- ARAÚJO, L. F.; CORRÊA, P. C.; SILVA, R. F. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessecção de sementes de milho-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.991-995, 2001.
- AVIRA, N. A.; AJIBOLA, O. O.; ONI, S. A. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. **Biosystems Engineering**, London, v.78, n.2 p.179-190, 2004.
- BASUNIA, M. A.; ABE, T. Moisture desorption isotherms of medium-grain rough rice. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.37, n.3, p.205-219, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395p.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450p.
- CHEN, C. A rapid method to determine the sorption isotherms of peanuts. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.75, n. 4, p.401-408, 2000.
- CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D. RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor esotérico de dessecção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.1, p.39-48, 2005a.
- CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; MARTINAZO, A. P.; BOTELHO, F. M. Comparação entre os métodos estático e dinâmico na determinação do equilíbrio higroscópico das espigas de milho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.2, p.153-161, 2005b. Número especial.
- DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Basic plant pathology methods**. 2nded. Boca Raton: CRC Press, 1995. 434p.
- FAN, J.; SIEBENMORGEN, T. J.; MARKS, B. P. Effects of variety and harvest moisture content on equilibrium moisture contents of rice. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.16, n.3, p.245-251, 2000.
- FIGUEIRA, G. M.; PARK, K. J.; BROD, F. P. R.; HONÓRIO, S. L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Chichorium intybus* L) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.63, n.3, p.273-280, 2004.
- GONELI, A. L. D. ; CORRÊA, P. C. ; OLIVEIRA, G. H. H. ; BOTELHO, F. M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.53, n.1, p.191-197, 2010.
- GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2008. 186f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI, 1980. 381p.
- IGUAZ, A.; VÍRSEDA, P. Moisture desorption isotherms of rough rice at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.79, n.3, p.794-802, 2007.
- IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). **Pure & Applied Chemistry**, Oxford, v.57, n.4, p.603-619, 1985.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, London, v.66, n.4, p.513-18, 2005.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.26, n.3, p.626-631, 2006.

SOKHANSANJ, S.; YANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola

during adsorption and desorption. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.63, n.2, p.129-136, 1996.

SOUSA, K. A. **Estudo da secagem e higroscopicidade de sementes e grãos de nabo forrageiro**. 2011. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2011.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; ANDRADE, G. A. Comparações agronômicas de feijões dos gêneros *Vigna* e *Phaseolus* com o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.6, p.841-850, 1992.