

CINÉTICA DE SORÇÃO DE ÁGUA DO CAFÉ TORRADO E MOÍDO¹

Fernanda Machado Baptestini²; Paulo Cesar Corrêa³; Guillermo Asdrúbal Vargas Elías⁴; Lara Santana Fernandes⁵; Marcela Silva Carvalho⁶

¹ Trabalho financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

² Eng. Agrícola, Doutoranda DEA-UFV, Viçosa - MG, fernanda.baptestini@ufv.br

³ Eng. Agrônomo, DS., Professor Adjunto do DEA - UFV, Viçosa - MG, copace@ufv.br

⁴ Eng. Agrícola, Doutorando DEA-UFV, Viçosa - MG, guillermo.elias@ufv.br

⁵ Eng. de Alimentos, Doutoranda DEA-UFV, Viçosa - MG, lara.fernandes@ufv.br

⁶ Eng. Agrônoma, Mestranda DEA-UFV, Viçosa - MG, lara.fernandes@ufv.br

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho modelar da cinética de sorção de água pelo café torrado, em diferentes níveis granulométricos. Foram utilizados grãos de café arábica com teor de água inicial de 0,1234 kg_a kg_{ms}⁻¹, torrados no ponto de torra médio, com perda de massa de 17%, tendo sido estabelecido três níveis granulométricos: grossa, média e fina. Para a obtenção das isotermas de sorção da água, foram analisadas diferentes condições de temperatura e umidade relativa, variando entre 25 e 30 °C e de 0,3 a 0,8 (decimal), respectivamente. Os dados de teor de água no equilíbrio foram correlacionados com modelos matemáticos. O modelo de Copace foi o que melhor representou o equilíbrio higroscópico para a sorção do café torrado nos diferentes níveis granulométricos; o teor de água de equilíbrio do café torrado é diretamente proporcional à umidade relativa do ar ambiente e decresce com o aumento de temperatura para um valor de umidade relativa. Quanto maior o tamanho da partícula maior é a sua estabilidade devido a menor atividade de água. A partir de 0,5 de atividade de água, tanto para a temperatura de 25 como para a de 30 °C, o limite para o teor de água estabelecido pela legislação brasileira é ultrapassado, comprometendo assim a estabilidade física, química e biológica do alimento.

PALAVRAS-CHAVE: Granulometria, equilíbrio higroscópico, atividade de água.

KINETICS OF WATER SORPTION BY THE COFFEE ROASTED AND GROUND COFFEE

ABSTRACT: The objective of this study was to model the kinetics of water adsorption by roasted coffee in different granulometric levels. Arabica coffee grains were utilized with an initial water content of 0.1234 kg_w kg_{dm}⁻¹, roasted until the medium roast point, with a weight loss of 17%, in which three granulometric levels were established: thick, medium and thin granulometries. To obtain the water sorption isotherms, different conditions of temperature and relative humidity were analyzed, ranging between 25 to 30 °C and 0.3 to 0.8 (decimal), respectively. The data of equilibrium moisture content were correlated with mathematical models. Copace model was the one that better represented the hygroscopic equilibrium for sorption in roasted coffee for all granulometric levels the equilibrium moisture content of roasted coffee is directly proportional to the relative humidity of ambient air and decreases when increasing the temperature for a relative humidity value. The larger the particle size the greater its stability due to lower water activity. From 0.5 water activity, both for the temperature to 25 to 30 °C, the limit for the water content established by Brazilian legislation is exceeded, thereby undermining the physical stability, chemical and biological food.

KEY WORDS: Granulometry, equilibrium moisture, water activity.

INTRODUÇÃO

A água desempenha um importante papel no que diz respeito às propriedades dos alimentos, influenciando as características físicas e de textura do produto, assim como, sua estabilidade química. Ela pode ser expressa pelo teor de água ou pela atividade de água.

O teor de água se refere à quantidade de água que contém o produto. É um indicativo no controle da taxa de deterioração dos alimentos, mas não é suficiente porque não prediz quanto sua estabilidade. A atividade de água é o melhor indicio. Ela quantifica o grau de ligação da água contida no produto e conseqüentemente sua disponibilidade para agir como um solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (FELLOWS, 2006).

Alimentos desidratados tendem a ganhar umidade do ambiente de estocagem, alterando assim sua atividade de água, até que o equilíbrio seja novamente restituído. As alterações observadas em alimentos em pó são: aglomeração, alterações na textura, mudança de cor e até crescimento microbiano, sendo que tais transformações tendem a levar à rejeição do produto (MEDEIROS e LANNES, 2010). Para melhor entendimento e controle dos fatores que afetam a estabilidade dos alimentos existe uma ferramenta conhecida como curva de equilíbrio higroscópico ou isoterma de sorção.

As isotermas de sorção são curvas que relacionam o teor de água de um produto e a umidade relativa de equilíbrio, para uma dada temperatura. De acordo com Damodaran et al. (2010) as informações derivadas das isotermas de sorção são úteis para estudar e controlar processos de conservação e desidratação, pois a facilidade ou dificuldade para a remoção de água estão relacionadas à atividade de água, para formular misturas de alimentos de modo a evitar a transferência de umidade entre os ingredientes, para determinar as propriedades de barreira a umidade dos material de embalagem, para determinar o conteúdo de umidade que reduzirá o crescimento de microrganismos de interesse em um sistema e , para prever a estabilidade física e química dos alimentos em função de mudanças em seu conteúdo de água. Além disso, por meio das isotermas de equilíbrio higroscópico pode-se determinar o requerimento de energia necessário ao processo de secagem, representado pelos valores do calor isostérico de sorção (WANG e BRENNAN, 1991).

Cada alimento possui um par de isotermas de sorção sob determinada temperatura, isotermas de adsorção e de dessorção. A forma dessas isotermas é resultado de diferenças na estrutura física, composição química e quantidade de água ligada no alimento, apesar disso todas elas possuem uma forma característica (FELLOWS, 2006).

O comportamento higroscópico de diversos alimentos tem sido estudado por vários pesquisadores, que descrevem modelos diferenciados para expressar o teor de água no equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar. Entretanto, para o café torrado e moído em diferentes níveis granulométricos nenhum relato foi encontrado. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho determinar as isotermas de sorção do café torrado e moído em diferentes níveis granulométricos, para diversas condições de temperatura e umidades relativas do ar e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais em função do teor de água no equilíbrio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar), localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Foram utilizados grãos de café beneficiados, com tamanho acima da peneira 16, da espécie arábica (*Coffea arabica L.*), variedade Catuaí Vermelho, com teor de água inicial de $0,1234 \text{ kg}_a \text{ kg}_{ms}^{-1}$.

Foi utilizado torrefador com queima de gás direto, pré-aquecido, com cilindro em movimento rotativo a 45 rpm e capacidade de 350 g de café cru. A temperatura média de torrefação foi de 284 °C. O ponto de torra foi estabelecido quando a temperatura da massa de grão atingiu cerca de 235 °C para um intervalo de tempo de aproximadamente 16 minutos, com perda de massa de 17%, que equivale ao padrão de torra para classificação de grãos de café baseado no número Agtron (SCCA # 55), torra média.

Para a medição da temperatura das amostras, foi utilizado termômetro infravermelho.

Depois de torrado o café, foram estabelecidos três níveis granulométricos: grossa, média e fina, obtidos pela moagem do produto em moinho da marca Mahlkönig, seguindo recomendações da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) (ABIC, 2004).

O teor de água das amostras foi determinado segundo a técnica descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL) (IAL, 2008).

Para obtenção do teor de água no equilíbrio das amostras de café torrado e moído nos diferentes níveis granulométricos, pelo processo de sorção, foi utilizado o método dinâmico e estático.

Para o método dinâmico (Figura 1a), foram utilizadas as seguintes combinações de temperatura e umidade relativa: 25 °C/50 a 80% e 30 °C/30 a 80%, fornecidas por unidade condicionadora de atmosfera com controle de temperatura e umidade relativa, de fabricação da empresa Aminco, modelo Aminco-Aire. E para o método estático (Figura 1b), foi utilizado câmara tipo BOD mantida na temperatura de 25 °C e dessecadores com soluções saturadas de carbonato de potássio e cloreto de magnésio hidratado que forneciam no interior destes umidade relativa de 43,8 e 33,2%, respectivamente. Estas foram preparadas de acordo com técnicas citadas por Hall (1980).



Figura 1: Determinação do teor de água de equilíbrio pelo método dinâmico (a) e estático (b).

Para todos os testes, foram utilizadas amostras contendo aproximadamente 10 g que foram pesadas periodicamente, até que a variação da massa, entre três pesagens consecutivas, fosse igual ou inferior a 0,01 g, representando nesse momento o teor de água no equilíbrio higroscópico.

Aos dados observados do equilíbrio higroscópico foram ajustados modelos matemáticos utilizados para descrição dos fenômenos de sorção (Tabela 1).

Tabela 1: Modelos matemáticos para representação das curvas de equilíbrio higroscópico

Designação do modelo	Modelo
Oswin modificado	$U_e = \frac{(a + bT)}{\left[\frac{(1 - A_W)}{A_W} \right]^{\frac{1}{c}}} \quad (1)$
Halsey	$U_e = \left[\frac{\exp(a - bT)}{-\ln A_W} \right]^{\frac{1}{c}} \quad (2)$
Chung-Pfost	$U_e = a - b \ln[(c - T) \ln(A_W)] \quad (3)$
Sigma-Copace	$U_e = \exp\{a - (bT) + [c \exp(A_W)]\} \quad (4)$
Copace	$U_e = \exp[a - (bT) + (cA_W)] \quad (5)$

em que, U_e : teor de água no equilíbrio, $kg_a kg_{ms}^{-1}$; A_w : atividade de água, decimal; a, b e c: parâmetros de ajuste dos modelos; e T: temperatura, °C.

O experimento foi montado segundo o delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os dados experimentais do equilíbrio higroscópico do café torrado e moído nos diferentes níveis granulométricos foram submetidos à análise de regressão não-linear e à seleção do modelo adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas.

Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação, do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE), equações 6 e 7 respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (7)$$

em que Y_i : valor observado; \hat{Y}_i : valor estimado; n: número de dados observados; e GLR: graus de liberdade do resíduo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, estão apresentadas as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustado aos dados de teor de água no equilíbrio higroscópico do café torrado, nos diferentes níveis granulométricos, para diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, assim como seus respectivos valores de coeficiente de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P).

De acordo com a Tabela 2, observa-se que o modelo de Copace foi o mais indicado para descrever o fenômeno de sorção para o café torrado para todos os níveis granulométricos, uma vez que ele apresentou satisfatórios coeficientes de determinação (R^2), superiores a 95%, e valores reduzidos do erro médio estimado (SE) e do erro médio relativo (P). Conforme Draper e Smith (1998), a capacidade do modelo para descrever fielmente um processo físico é inversamente proporcional aos valores de SE . Além disso, Samapundo et al. (2007) afirmam que os modelos que tem valores de P superiores a 10% não são bons para prever o fenômeno.

O fenômeno de adsorção de água e seleção de modelos matemáticos para representar a higroscopicidade do café solúvel foi estudado por Corrêa, Afonso Júnior e Stringheta (2000). As equações de Sigma-Copace e Henderson modificada apresentaram ajuste satisfatório nas faixas de temperatura de 10 a 40 °C e atividade de água de 0,32 a 0,98. Além disso, o fenômeno de higroscopicidade do café solúvel comportou-se de forma similar à maioria dos produtos agrícolas já estudados.

Tabela 2: Estimativas dos parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico do café torrado nos diferentes níveis granulométricos, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P), para a faixa de temperatura de 25 a 30 °C

Modelos	níveis granulométricos		
	grossa	média	fina
Oswin modificado	$a = 5,8873$	$a = 6,6994$	$a = 6,4785$
	$b = -0,0303$	$b = -0,0671$	$b = -0,0681$
	$c = 1,5667$	$c = 1,6029$	$c = 1,6404$
	$R^2 = 0,9827$	$R^2 = 0,9519$	$R^2 = 0,9643$
	$SE = 0,424$	$SE = 0,674$	$SE = 0,526$
	$P (\%) = 6,47$	$P (\%) = 9,34$	$P (\%) = 8,64$
Halsey	$a = 1,8672$	$a = 2,142803$	$a = 2,160087$
	$b = 0,0077$	$b = 0,018049$	$b = 0,019662$
	$c = 1,2540$	$c = 1,282622$	$c = 1,309824$
	$R^2 = 0,9759$	$R^2 = 0,9440$	$R^2 = 0,9592$
	$SE = 0,501$	$SE = 0,727$	$SE = 0,563$
	$P (\%) = 8,35$	$P (\%) = 10,85$	$P (\%) = 9,66$
Chung-Pfost	$a = 29,1515$	$a = 23,4887$	$a = 22,7647$
	$b = 5,6263$	$b = 5,2635$	$b = 4,7898$
	$c = -72,1519$	$c = -20,1356$	$c = -33,4663$
	$R^2 = 0,9768$	$R^2 = 0,9519$	$R^2 = 0,9532$
	$SE = 0,491$	$SE = 0,674$	$SE = 0,603$
	$P (\%) = 7,45$	$P (\%) = 10,16$	$P (\%) = 8,27$
Sigma-Copace	$a = -0,8067$	$a = -0,5718$	$a = -0,5369$
	$b = 0,0062$	$b = 0,0141$	$b = 0,0151$
	$c = 1,5640$	$c = 1,5283$	$c = 1,4935$
	$R^2 = 0,9804$	$R^2 = 0,9493$	$R^2 = 0,9613$
	$SE = 0,451$	$SE = 0,692$	$SE = 0,548$
	$P (\%) = 6,97$	$P (\%) = 9,87$	$P (\%) = 8,98$
Copace	$a = 0,3184$	$a = 0,5280$	$a = 0,5443$
	$b = 0,0060$	$b = 0,0139$	$b = 0,0150$
	$c = 2,9193$	$c = 2,8515$	$c = 2,7778$
	$R^2 = 0,9831$	$R^2 = 0,9536$	$R^2 = 0,9616$
	$SE = 0,419$	$SE = 0,662$	$SE = 0,546$
	$P (\%) = 5,84$	$P (\%) = 8,99$	$P (\%) = 8,35$

Na Figura 2, estão contidos os valores observados e as isotermas de sorção, estimadas pelo modelo de Copace, para os diferentes níveis granulométricos, nas temperaturas de 25 e 30 °C.

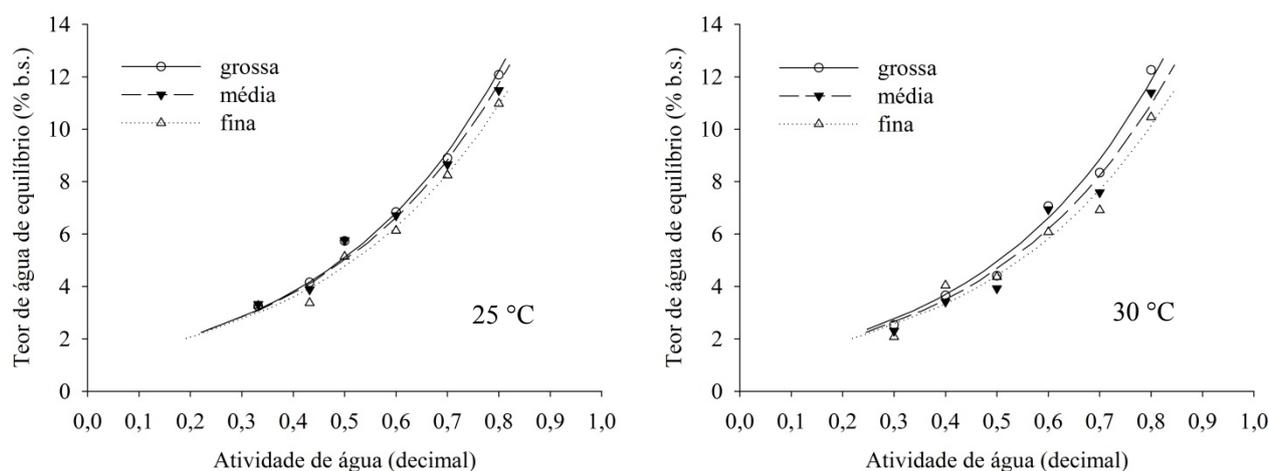


Figura 2: Valores observados e as isotermas de sorção, estimadas pelo modelo de Copace, para os diferentes níveis granulométricos do café torrado, nas temperaturas de 25 e 30 °C.

Verifica-se, na Figura 2, o efeito da temperatura sobre as isotermas de sorção do café torrado. Com o aumento da temperatura, para um valor constante de atividade de água, ocorre redução do teor de água no equilíbrio. Segundo Palipane e Driscoll (1992), com o aumento da temperatura, as moléculas de água atingem níveis de energia, tornando-se termodinamicamente menos estáveis, favorecendo a quebra da ligação entre a água e os sítios de sorção, reduzindo o teor de água no produto. Com a variação da temperatura, a excitação das moléculas, bem como a distância e, por conseguinte, a atração entre as moléculas, também variam. Desta forma, a quantidade de água sorvida muda com a variação na temperatura a uma dada umidade relativa (MOHSENIN, 1986).

As isotermas de sorção do café torrado apresentaram em sua porção final, correspondente às atividades de água mais elevadas, uma ascensão mais pronunciada da curva (Figura 2). O mesmo fenômeno foi observado por Corrêa, Afonso Júnior e Stringheta (2000) e Anese, Manzocco, e Nicoli (2006), que indicaram esse mesmo comportamento para a maioria dos produtos de origem vegetal.

Na isoterma de 30 °C a partir de 0,5 de atividade de água, para o mesmo teor de água observou-se menor atividade de água na granulometria grossa e para a mais fina obteve-se maior, o que pode estar associada a maior área específica exposta. Por tanto, quanto maior a partícula maior é a estabilidade do material devido a menor atividade de água.

O teor de água para o café torrado e moído estabelecido pela legislação brasileira não pode ultrapassar 5,26% (b.s.). Se considerar este valor como o teor de água no equilíbrio, observa-se na Figura 2, que a partir de 0,5 de atividade de água, tanto para a temperatura de 25 como para a de 30 °C, este limite é ultrapassado, comprometendo assim a estabilidade física, química e biológica do alimento.

CONCLUSÕES

1. O modelo de Copace foi o que melhor representou o equilíbrio higroscópico para a sorção do café torrado, nos diferentes níveis granulométricos.
2. O teor de água de equilíbrio do café torrado é diretamente proporcional à umidade relativa do ar ambiente e decresce com o aumento de temperatura para um valor de umidade relativa.
3. Quanto maior o tamanho da partícula maior é a sua estabilidade devido a menor atividade de água.
4. A partir de 0,5 de atividade de água, tanto para a temperatura de 25 como para a de 30 °C, o limite para o teor de água estabelecido pela legislação brasileira é ultrapassado, comprometendo assim a estabilidade física, química e biológica do alimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFV e ao Centreinar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café. Norma de Qualidade Recomendável e Boas Práticas de Fabricação de Cafês Torrados em Grão e Cafês Torrados e Moídos. 2004. 18 de fevereiro de 2010. Disponível em: http://www.abic.com.br/arquivos/pqc_norma_qualidade_fev10.pdf. Acesso em: 29 de novembro de 2010.
- ANESE, M.; MANZOCCO, L.; NICOLI, M. C. Modeling the secondary shelf life of ground roasted coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Columbus, v. 54, p. 5571-5576, 2006.

- CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; STRINGHETA, P. C. Estudo do fenômeno de adsorção de água e seleção de modelos matemáticos para representar a higroscopicidade do café solúvel. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.2, n.1, p.19-25, 2000.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA O. R. *Química de Alimentos de Fennema*. 4ª edição, Editora: Artmed. Porto Alegre, 2010, 900p.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. Wiley series in probability and mathematical statistics. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, 1998. 706 p.
- FELLOWS, P. J. *Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e Prática*. 2 ed.- Porto Alegre: Artmed, 602p., 2006.
- HALL, C.W. *Drying and storage of agricultural crops*. Westport: AVI, 1980. 381p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos - Físicos para Análise de Alimentos*, 1ª edição digital. São Paulo. p. 812, 2008.
- MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, supl. 1, p. 243-253, 2010.
- MOHSEIN, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986, 841 p.
- PALIPANE, K.B.; DRISCOLL, R.H. Moisture sorption characteristics of in-shell macadamia nuts. *Journal of Food Engineering*, London, v.18, n.1, p.63-76,1992.
- WANG, N.; BRENNAN, J.G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. *Journal of Food Engineering*, v. 14, p. 269 - 287, 1991.