

# EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DE CAFÉ SOLÚVEL<sup>1</sup>

Paulo Cesar CORRÊA<sup>2</sup>, Paulo Cesar AFONSO JÚNIOR<sup>3</sup> e Paulo César STRINGHETA<sup>4</sup>

**RESUMO:** Considerando a importância das diversas aplicações do conhecimento do comportamento higroscópico do café solúvel na manutenção de sua qualidade, armazenagem e outros, esse trabalho teve como objetivo selecionar uma equação apropriada para representar a variação do teor de umidade de equilíbrio do café solúvel, em função da temperatura e umidade relativa do ar ambiente. Entre as inúmeras equações matemáticas empregadas para expressar as isotermas de umidade de equilíbrio do produto, a equação de Henderson-Modificado, com seus parâmetros estimados, foi a que melhor representou os dados experimentais obtidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** café solúvel, equilíbrio higroscópico, modelos matemáticos

**ABSTRACT:** Considering the importance of the several applications of the knowledge of the behavior higroscopic of the soluble coffee in the maintenance of its quality, storage and other, that work had as objective to select an equation adapted to represent the variation of the equilibrium moisture content of the soluble coffee, in function of the temperature and relative humidity of the air sets. Among the countless equations mathematical maids to express the isotherms of equilibrium moisture content of the product, the equation of having Henderson-modified, with its dear parameters, went to that best represented the obtained experimental data.

**KEY WORDS:** soluble coffee, equilibrium moisture content, mathematical models

## INTRODUÇÃO

A fabricação do café solúvel baseia-se na obtenção de um extrato sólido obtido após a torração e moagem dos grãos de café seco, por meio de água quente sob pressão. Segundo Labuza (1982) e Robertson (1993) o teor de umidade representa o principal problema a contribuir para redução da qualidade do produto, uma vez que níveis mais elevados de umidade promovem uma aglomeração das partículas do material. Portanto, uma importante propriedade física a ser conhecida para o estudo da deterioração e perda da qualidade do café solúvel é o teor de umidade de equilíbrio, que representa a quantidade de massa de água por unidade de massa total, quando o produto entra em equilíbrio com o ambiente em que se encontra, a uma dada temperatura e umidade relativa do ar que o envolve (Hall, 1980). Diversos autores afirmam que os valores de umidade de equilíbrio dos produtos biológicos dependem principalmente da espécie e variedade do produto, do seu teor de umidade inicial e da temperatura e umidade relativa do ar (Morey, 1995; Chen & Jayas, 1998). Diferentes equações teóricas e empíricas tem sido proposto para representar as isotermas de equilíbrio higroscópico de inumeros produtos (Sun & Woods, 1994). Entretanto, Brooker et al. (1992) menciona que nenhuma equação teórica é ainda capaz de prever com extidão o teor de umidade de equilíbrio de produtos biológicos em uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa do ar. Dentre as várias equações utilizadas para expressar o teor de umidade de equilíbrio de produtos de origem vegetal, as mais comumente empregadas, por sua relativa precisão e generalidade de uso, podem ser destacadas a de Chung-Pfost, Smith, Copace e Henderson Modificada (Corrêa & Almeida, 1999). Diante o exposto, este trabalho teve como objetivo selecionar uma equação que melhor represente as isotermas de equilíbrio higroscópico do café solúvel.

<sup>1</sup> CONSÓRCIO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, D.S., professor Adjunto no DEA-UFV, Viçosa-MG, CEP 36.571-000, copace@mail.ufv.br

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, M.S., estudante de Doutorado em Engenharia Agrícola no DEA-UFV, pjunior@alunos.ufv.br

<sup>4</sup> Eng. Alimentos, D.S., professor Titular no DTA-UFV

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao CENTREINAR, localizado na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. Foram empregados para obtenção das isotérmicas de sorção com quatro níveis de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e diferentes níveis de umidade relativa do ar, que variaram na faixa de 32 a 98%, com três repetições para cada tratamento experimental. As condições ambientais para realização dos testes foram obtidas utilizando-se quatro B.O.D. mantidas nas diferentes temperaturas estudadas e dessecadores com soluções saturadas de sais preparadas de acordo com técnicas citadas por Hall (1980) e Palipane e Driscoll (1992). Para todos os testes foram utilizadas amostras de café solúvel de aproximadamente 50 g com teor de umidade inicial de 0,09 base seca. Durante o processo de adsorção de umidade, os recipientes contendo as amostras foram pesadas periodicamente. Considerou-se que o equilíbrio higroscópico havia sido alcançado quando a variação da massa dos recipientes entre três pesagens fosse igual ou inferior a 0,001g. Os teores de umidade do produto foram determinados pelo método gravimétrico, para as três repetições. Aos dados experimentais foram ajustados quatro modelos matemáticos, com aplicação reconhecida na predição de isotermas de umidade de equilíbrio de produtos biológicos (Tabela 1). Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o programa computacional STATISTICA 5.0. O grau de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, baseou-se na magnitude do coeficiente de determinação ajustado (variância explicada), na análise do comportamento da distribuição dos resíduos, na magnitude do erro médio relativo (P) e estimado (SE), calculados por:

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum [ |Y - \hat{Y}| / Y ]$$

$$SE = \sqrt{ \left[ \left( \sum (Y - \hat{Y})^2 \right) / GLR \right]}$$

em que: n = número de observações;  $\hat{Y}$  = valor calculado pelo modelo;  
Y = valor observado experimentalmente; GLR = graus de liberdade do modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros ajustados para os quatro modelos avaliados são apresentados na Tabela 1, onde se pode observar, a partir da combinação dos valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), SE, P e distribuição do resíduo, que os modelos de Sigma-Copace e Henderson-Modificado, são os que apresentam os melhores resultados. Entre as equações ajustadas aos dados experimentais de umidade de equilíbrio de café solúvel, a equação de Henderson-Modificado, foi a que melhor representou o fenômeno estudado, apresentando maior valor do coeficiente de determinação ajustado, menores valores dos erros médios relativo e estimado, e um comportamento aleatório da distribuição do resíduo em função dos valores estimados. Na Figura 1 é apresentado o gráfico das isotermas de café solúvel, em função do teor de umidade de equilíbrio e da umidade relativa do ar, para o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, foi plotado, também, os valores médios de umidade de equilíbrio obtidos experimentalmente. Observa-se, ainda na Figura 1, que as isotermas de higroscopicidade do café solúvel, como para maioria dos produtos de origem vegetal, apresentam em sua porção final, corresponde às umidades relativas mais elevadas, um comportamento que caracteriza-se por uma ascensão bastante pronunciada.

TABELA 1- Parâmetros das equações ajustadas para se calcular os teores de umidade de equilíbrio higroscópico ( $U_e$  em % base seca) de café solúvel, em função da temperatura ( $T$  em °C) e da umidade relativa ( $UR$  em decimal) do ar e das constantes que dependem da natureza do produto ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ).

Parâmetros	Modelos Matemáticos			
	Chung-Pfost $U_e = a - b \cdot \ln[-(T+c) \cdot \ln(UR)]$	Smith $U_e = a - (b \cdot T) - c \cdot \ln(1 - UR)$	Sigma-Copace $U_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot \exp(UR))]$	Henderson-Modificado $U_e = \{\ln(1 - UR) / [-a \cdot (T + b)]\}^{1/c}$
A	109,3858	-3,1341	-1,1560	$3,7800 \times 10^{-4}$
B	19,3500	0,0968	0,0034	270,0402
C	214,4417	22,5536	2,0801	0,7948
R <sup>2</sup>	0,9818	0,9913	0,9928	0,9969
P (%)	18,0291	11,3818	8,1203	5,8350
SE	14,4432	9,9897	9,0635	6,0096
Distrib. do Resíduo	tendencioso	tendencioso	aleatório	aleatório

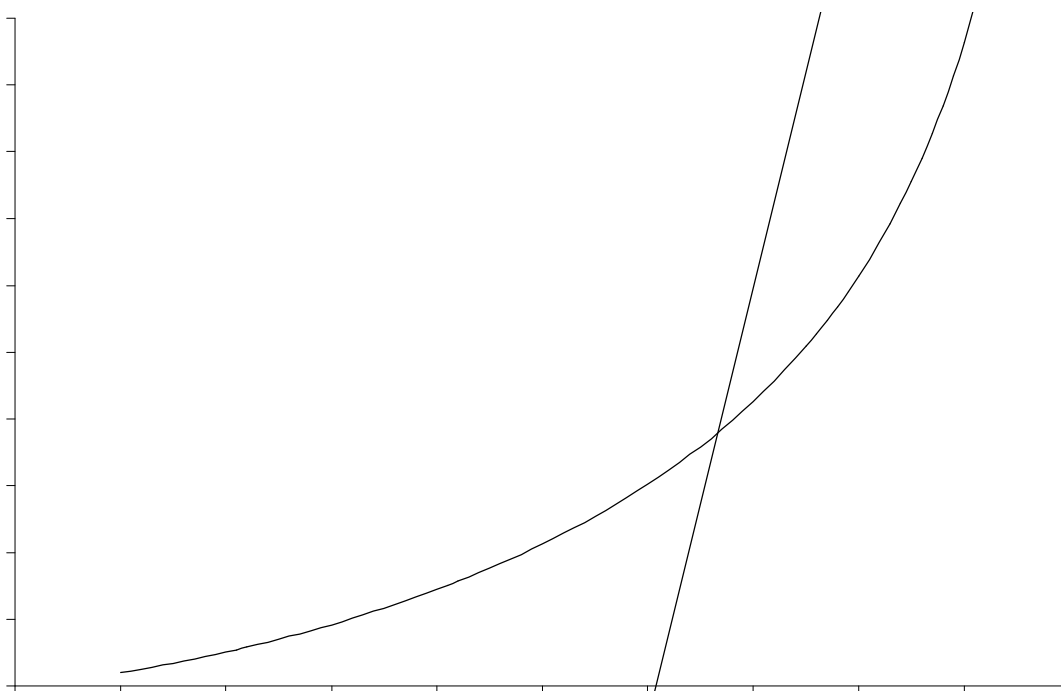


FIGURA 1- Isotermas de umidade de equilíbrio de café solúvel.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o modelo matemático de Henderson-Modificado apresentou um ajuste satisfatório na predição de isotermas de equilíbrio higroscópico do café solúvel, nas faixas de temperatura e umidade relativa estudadas, e ainda, que o comportamento da higroscopicidade do café solúvel comportou-se de forma similar a maioria dos produtos agrícolas já estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKENA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: AVI, 1992. 450p.
- CHEN, C.; JAYAS, D. S. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.41, n.6, p. 1755-1760, 1998.
- HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops.** Westport: AVI, 1980. 381p.

- LABUZA, T.P. Shelf-life of coffee and tea. In: **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food & Nutrition Press Inc., 1982. p.359-372.
- MOREY, V.; WILCKE, W. F.; MERONUCK, R. A., LANG, J. P. Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.38, n.4, p. 1139-1145,1995.
- ROBERTSON, G.L. Packaging of beverages. In: **Food packaging principles and practice**. New York: Marcel Dekker, 1993. p.588-621.
- SUN, D.W.; WOODS, J.L. The selection of sorption isotherm equations for wheat based on the fitting of available data. **Journal of Stored Product Research**, London, v.30, n.1, p.27-43, 1994.
- CORRÊA, P.C.; ALMEIDA, F.A.C. Comparação de modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar redenção. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.3, n.1, p.1-6, 1999.
- 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.

## **AVISO**

ESTA PUBLICAÇÃO PODE SER ADQUIRIDA NOS  
SEGUINTE ENDEREÇOS:

### **FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES**

Edifício Sede, s/nº. - Campus Universitário da UFV  
Viçosa - MG  
Cep: 36571-000  
Tels: (31) 3891-3204 / 3899-2485  
Fax : (31) 3891-3911

### **EMBRAPA CAFÉ**

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (Final)  
Edifício Sede da Embrapa - sala 321  
Brasília - DF  
Cep: 70770-901  
Tel: (61) 448-4378  
Fax: (61) 448-4425