MODELOS MATEMÁTICOS E CURVAS DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE SEMENTES DE JACARANDÁ-DA-BAHIA, ANGICO-VERMELHO E ÓLEO-COPAÍBA

João Basílio Mesquita[1], Ednilton Tavares de Andrade[2], Paulo Cesar Corrêa[3]

RESUMO: Apesar da higroscopicidade da maioria das sementes e grãos agrícolas já ter sido estudada, observou-se, na literatura consultada, a carência de relatos sobre umidade de equilíbrio de sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.), angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) e óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii* Benth.). O presente trabalho teve como objetivo determinar experimentalmente as curvas de dessorção para estas sementes e ajustar diferentes modelos matemáticos já tradicionalmente utilizados para outras sementes aos dados experimentais. A equação de Sigma-Copace, com as constantes determinadas para as espécies de jacarandá-da-bahia e angico-vermelho, foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, já para a óleo-copaíba, a equação de Henderson-Modificada foi a que melhor representou os dados experimentais.

Palavras-chave: Sementes florestais, umidade de equilíbrio, modelos

MATHEMATICAL MODELS AND CURVES OF EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT OF SEEDS OF JACARANDA-DA-BAHIA, ANGICO-VERMELHO AND ÓLEO-COPAÍBA

ABSTRACT: *The hygroscopic capacity of most of seeds and agricultural grains have already been studied, however, it can be observed in the specialized literature a lack of reports on equilibrium moisture content of seeds of jacaranda-da-bahia (Dalbergia nigra Fr. All.), angico-vermelho (Anadenanthera macrocarpa Benth.) and óleo-copaiba (Copaifera langsdorffii Benth.). This research objectived to determine the desorption curves for these seeds, and to adjust different mathematical models already traditionally used for another seeds, to the experimental data. The equation of Sigma-Copace, with the constants determined for the species of jacaranda-da-bahia and angico-vermelho, was the model that better adjusted to the experimental data, while for óleo-copaiba the of Henderson-Modified equation represented better the experimental data.*

Key words: Forest seeds, equilibrium moisture content, models

[1] Engenheiro Florestal, professor adjunto da UFS, São Cristovão-SE, CEP 49.100-000.
[2] Engenheiro Agrícola, professor adjunto da UFF, Niterói – RJ, CEP 24.210-240.
[3] Prof. Adjunto, Bolsista CNPq, Departamento de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa, MG, CEP 36.751-000.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as espécies florestais nativas, podem-se citar como as que mais se destacam o jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.), o angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) e o óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii* Benth.), por permitirem várias aplicações de sua madeira (Rizzini, 1971). Em razão da importância econômica, estas espécies têm sido bastante estudadas, principalmente no que diz respeito a técnicas silviculturais. Entretanto, não se tem conhecimento de quais são as condições ideais para o armazenamento de suas sementes por períodos mais longos.

De acordo com Freitas (1978), freqüentemente observam-se prejuízos econômicos causados pela morte de sementes de várias espécies florestais. Por esta razão, diversos autores têm mostrado a importância do controle das condições ambientais para a manutenção da viabilidade de diversas espécies de sementes (Carvalho & Nakagawa, 1988; Bilia et al., 1994).

Segundo Freitas (1978), a longevidade da semente é, primeiramente, uma função da temperatura de armazenamento e da umidade da semente e, secundariamente, da atmosfera do ambiente.

O teor de umidade de equilíbrio de uma semente ou grão pode ser definido como sendo o teor de umidade deste produto depois de exposto a um ambiente com condições de temperatura e umidade relativas controladas, por um período de tempo suficiente para que ocorra o equilíbrio. Assim, a umidade contida nas sementes está em equilíbrio com determinada umidade relativa do ar, para uma mesma temperatura (Christ, 1996).

Normalmente, dois métodos são utilizados para determinar as curvas de umidade de equilíbrio (Brooker et al., 1992): o método estático e o método dinâmico. No método estático, a umidade de equilíbrio entre a semente e a atmosfera circundante é atingida sem movimentação do ar ou da semente; no método dinâmico, o ar, ou a semente, é movimentada até que o equilíbrio seja atingido.

A umidade de equilíbrio estabelece parâmetros (temperatura e umidade relativa) que determinam a umidade em que as sementes podem ser secadas ou armazenadas seguramente. Cada espécie e/ou material apresenta uma diferente característica de pressão de vapor de água para cada temperatura e umidade relativa (Corrêa et al., 1998a; Corrêa et al., 1998b).

Para a modelagem das curvas de umidade de equilíbrio, têm sido utilizadas relações matemáticas semiteóricas e empíricas, uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de predizer com precisão o teor de umidade de equilíbrio de grãos em todas as faixas de temperatura e umidade relativa do ar (Brooker et al., 1992). Dentre as diversas equações utilizadas para expressar o teor de umidade de equilíbrio de sementes, em função da temperatura e umidade relativa de equilíbrio ou atividade de água, algumas das mais utilizadas, pela sua relativa precisão e generalidade de uso, são as de Henderson, Henderson-Modificada, Chung-Pfost, Sabbah, Copace e Sigma -Copace (Pfost et al., 1976; Sokhansaj et al., 1986; Pereira & Queiroz, 1987; Chen & Morey, 1989a; Chen & Morey, 1989b; Mazza & Jayas, 1990; Mazza & Jayas, 1991; Brooker et al., 1992; Corrêa et al., 1995; Morey et al., 1995; Sokhansanj & Yang, 1996; Chen & Jayas, 1998; Corrêa et al., 1998b; ASAE, 1999).

Apesar da maioria das sementes e grãos agrícolas já terem sido estudadas com relação à sua higroscopicidade, não foi encontrado, em literatura especializada consultada, relato sobre umidade de equilíbrio de sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.), angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) e óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii* Benth.). Do exposto, o presente trabalho teve como objetivo determinar experimentalmente as curvas de dessorção para estas sementes e ajustar diferentes modelos matemáticos já tradicionalmente utilizados para outras sementes de outras espécies florestais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Clínica de Doenças de Plantas do Departamento de Fitopatologia e no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, ambos na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Foram utilizadas sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.), angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) e óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii* Benth.), provenientes do Parque Estadual do Rio Doce, na região de Marliéria estado de Minas Gerais, colhidas em novembro de 1997. Depois de colhidas, as sementes foram acondicionadas em sacos de polietileno e armazenadas em câmara fria, no Departamento de Engenharia Florestal da UFV, à temperatura aproximada de 5ºC até os testes de determinação da umidade de equilíbrio.

Foram separadas, para cada repetição, amostras de 10 sementes de cada espécie. As amostras foram colocadas em placa de Petri e acondicionadas em dessecadores contendo soluções saturadas de sais (Tabela 1), para controle das seis umidades relativas desejadas, preparadas de acordo com metodologia descrita por Dhingra & Sinclair (1995). Os dessecadores foram colocados em estufas incubadoras B.O.D., reguladas para as temperaturas de 5° e 25°C.

As sementes foram pesadas diariamente em balança analítica com precisão de quatro casas decimais e a umidade de equilíbrio foi considerada atingida quando seu peso manteve-se constante. Neste ponto, determinou-se a umidade de equilíbrio para cada repetição pelo método padrão da estufa, 105 ± 3°C, durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992).

A partir dos pontos amostrais das umidades de equilíbrio determinadas para as duas temperaturas e as seis umidades relativas, obtiveram-se, por regressão não linear, as curvas de umidade de equilíbrio para cada espécie. O experimento foi conduzido com três espécies, duas temperaturas e seis umidades relativas para cada temperatura de equilíbrio, com dez repetições.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de umidade de equilíbrio, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o programa computacional STATISTICA 5.0. Estimaram-se os valores dos parâmetros dos modelos, em função das variáveis independentes temperatura do ar e umidade de equilíbrio do produto.

Tabela 1. Umidades relativas (%) obtidas por soluções saturadas de sais para as temperaturas de 5ºC e 25ºC.
Table 1. *Relative humidities (%) obtained by saturated solutions of salts for the temperatures of 5ºC and 25ºC.*

Sais		Temperatura (ºC)	
		5	25
Cloreto de magnésio	$MgCl_26H_2O$	34,5	32,5
Nitrato de magnésio	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	59,0	53,0
Cloreto de sódio	NaCl	75,0	64,0
Sulfato de amônio	$(NH_4)_2SO_4$	82,5	75,5
Sulfato de zinco	$Zn_2SO_4.7H_2O$	94,5	88,5
Sulfato de potássio	K_2SO_4	98,5	97,5

Fonte: Dhingra & Sinclair (1995)

Tabela 2. Modelos matemáticos utilizados para ajuste dos dados de umidade de equilíbrio por meio da análise de regressão.
Table 2*. Mathematical models used for adjustment of the data of equilibrium moisture content through the regression analysis.*

Modelo	Equação
Henderson	$U_e = (ln(1 - UR)/(-a.(T + 273)))^{(1/b)}$
Henderson modificada	$U_e = (ln(1 - UR)/(-a.(T + b)))^{(1/c)}$
Chung-pfost	$U_e = a - b.ln(-(T + c).ln(UR))$
Sabbah	$U_e = a.((UR^b)/(T^c))$
Copace	$U_e = \exp(a - b.T + c.UR)$
Sigma-copace	$U_e = \exp(a - b.T + c.\exp(UR))$

em que,

UR = Umidade relativa, decimal;
T = Temperatura do ambiente, ^oC;
U_e = Umidade de equilíbrio, (Ue/100), b.s., decimal;
a,b,c = Parâmetros que dependem da natureza do produto.

Para selecionar o modelo que melhor se ajustou a cada espécie, foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio (SE), dados por Chen & Morey (1989a), Chen & Morey (1989b) e Chen & Jayas (1998):

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

em que,

Yi = valor observado experimentalmente;
$\hat{Y}_i$ = valor calculado pelo modelo;
GLR = graus de liberdade do modelo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os dados experimentais do teor de umidade de equilíbrio (b.s.) para as sementes de jacarandá-da-bahia, angico-vemelho e óleo-copaíba.

Os modelos não lineares adotados foram ajustados aos dados experimentais por meio da técnica de regressão. A temperatura e a umidade relativa são as variáveis independentes e os teores de umidade de equilíbrio, a variável dependente. As estimativas dos parâmetros das diversas equações encontram-se na Tabela 4, juntamente com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erro médio estimado (SE).

Observa-se, pela Tabela 4, que todos os modelos ajustados para as três espécies florestais apresentaram uma satisfatória representação dos dados experimentais quando observados os resultados para o coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio estimado (SE). Para as sementes de jacarandá-da-bahia e angico-vemelho, o modelo de Sigma-Copace foi o que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais; para as sementes de óleo-copaíba, o modelo de Henderson-Modificada foi o que melhor representou os dados experimentais.

Nota-se que não houve grandes diferenças entre os modelos quanto aos coeficientes de determinação (R^2) e erro médio (SE), pois o me-

nor R^2 foi de 0,9016 e o maior de 0,9779. Para a espécie jacarandá-da-bahia, esta diferença ainda foi menor. Isso sugere que qualquer dos modelos poderia ser usado para descrever o comportamento da umidade de equilíbrio em função da umidade relativa e da temperatura.

As curvas de umidade de equilíbrio dos modelos que apresentaram o melhor ajuste para as sementes de jacarandá-da-bahia, angico-vemelho e óleo-copaíba determinadas por meio de regressão não linear estão representadas, respectivamente, nas Figuras 1, 2 e 3. Estas curvas serão muito úteis para auxiliar na análise de condições de armazenamento adequado (com controle de temperatura e umidade relativa) das sementes.

Nas mesmas figuras observam-se também os desvios em relação ao teor de umidade de equilíbrio médio. Quando se analisa o desvio padrão para cada curva, observa-se, para as três espécies, que os menores desvios ocorreram sempre para as umidades relativas ou atividades de água mais baixas.

As sementes de jacarandá-da-bahia, angico-vermelho e óleo-copaíba apresentam as mesmas características de higroscopicidade da maioria dos produtos agrícolas já estudados, como ipê-amarelo (Freitas, 1978), madeira (Corrêa et al., 1998b), canola (Sokhansanj et al., 1995), milho (Morey et al., 1995), milho pipoca (Corrêa et al., 1998a) e cebola (Matos et al., 1999). O teor de umidade de equilíbrio diminui com o aumento de temperatura para uma mesma umidade relativa do ar e aumenta com o aumento da umidade relativa para uma mesma temperatura do ar.

Tabela 3. Teores médios de umidade de equilíbrio das sementes, em b.s. (decimal), de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.), angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) e óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii* Benth.), em função da temperatura e umidade relativa.
Table 3. *Medium of equilibrium moisture content of the seeds, b.s. (decimal), of jacaranda-of-bahia (Dalbergia nigra Fr. All.), angico-vermelho (Anadenanthera macrocarpa Benth.) and óleo-copaíba (Copaifera langsdorffii Benth.), in function of the temperature and relative humidity.*

Temperatura (ºC)	*UR* (%)	Espécie		
		JACARANDÁ	ANGICO	COPAÍBA
5	34,5	0,0871	0,0734	0,0964
	59,0	0,1198	0,1621	0,1138
	75,0	0,1891	0,2154	0,1945
	82,5	0,3425	0,4786	0,243
	94,5	0,5396	0,8886	0,3412
	98,5	0,6455	1,0751	0,5047
25	32,5	0,0739	0,0668	0,0784
	53,0	0,0959	0,1472	0,0891
	64,0	0,1422	0,1827	0,1109
	75,5	0,1635	0,1881	0,168
	88,5	0,2473	0,3519	0,2369
	97,5	0,5425	0,8467	0,3058

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros dos seis modelos usados para calcular a umidade de equilíbrio (b.s.) das sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.), angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) e óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii* Benth.), e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e erro médio estimado (SE).
Table 4*. Estimates of the parameters of the six models used to calculate the equilibrium moisture content (b.s.) of the seeds of jacaranda-da-bahia (Dalbergia nigra Fr. All.), angico-vermelho (Anadenanthera macrocarpa Benth.) and óleo-copaíba (Copaifera langsdorffii Benth.), and respective determination coefficients (R^2) and estimated medium error (SE).*

		JACARANDÁ			ANGICO			COPAÍBA		
		Constantes	R^2	SE	Constantes	R^2	SE	Constantes	R^2	SE
Henderson	a=	2,35 x10^{-4}	0,9538	4,21	6,11 x10^{-4}	0,9295	9,03	1,85 x10^{-4}	0,9331	3,20
	b=	0,99244			0,66954			1,15151		
Henderson-Modificada	a=	6,27 x10^{-4}			7,92 x10^{-4}			6,92 x10^{-4}		
	b=	91,87021	0,9626	3,80	91,00828	0,9597	6,86	41,12123	0,9779	1,85
	c=	0,99942			0,84378			1,25803		
Chung-Pfost	a=	58,03018			94,41614			36,83505		
	b=	13,62549	0,9505	4,38	23,53284	0,9360	8,65	8,42184	0,9490	2,81
	c=	33,93772			36,22719			18,90682		
Sabbah	a=	85,33445			154,8577			60,36053		
	b=	3,73803	0,9368	4,95	4,95544	0,9542	7,29	2,47842	0,9016	3,90
	c=	0,14601			0,17597			0,18697		
Copace	a=	-0,12954			-0,82051			0,74530		
	b=	0,01144	0,9590	3,98	0,01380	0,9667	6,21	0,01498	0,9411	3,02
	c=	4,42138			5,66743			3,16586		
Sigma-Copace	a=	-0,90539			-1,63659			0,05009		
	b=	0,01112	0,9707	3,37	0,01346	0,9742	5,49	0,01494	95,85	2,54
	c=	1,92105			2,39278			1,43231		

Com base nas Figuras 1, 2 e 3, pode-se determinar as circunstâncias em que as sementes com umidade conhecida ganharão ou perderão umidade, quando armazenadas ou expostas a condições conhecidas de temperatura e umidade relativa.

Figura 1. Curvas de umidade de equilíbrio para sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.) estimadas com base no modelo de Sigma-Copace, ajustadas aos dados experimentais.
Figure 1*. Curves of equilibrium moisture content for seeds of jacaranda-da-bahia (Dalbergia nigra Fr. All.) estimated starting from the model of Sigma-Copace, adjusted to the experimental data.*

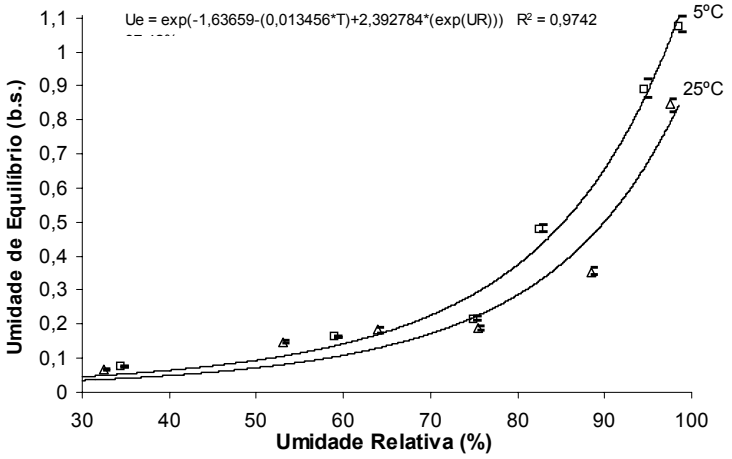

Figura 2. Curvas de umidade de equilíbrio para sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.), estimadas com base no modelo de Sigma-Copace, ajustadas aos dados experimentais.

Figure 2. *Curves of equilibrium moisture content for seeds of angico-vermelho (Anadenanthera macrocarpa Benth.) estimated starting from the model of Sigma-Copace, adjusted to the experimental data.*

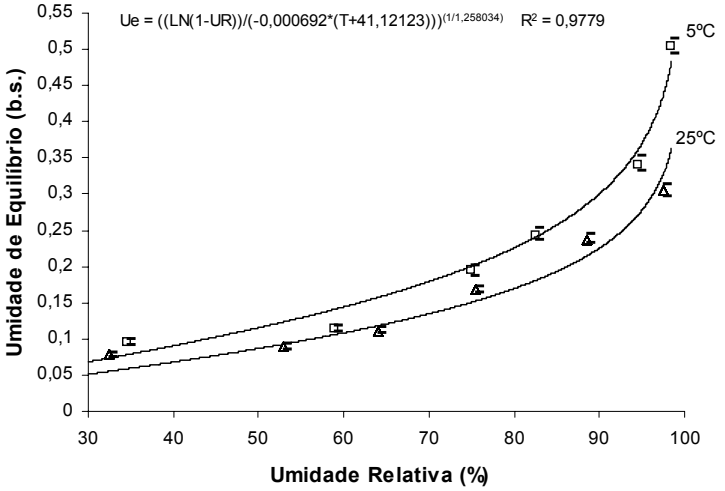

Figura 3. Curvas de umidade de equilíbrio para sementes de óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii* Benth.), estimadas com base no modelo de Henderson-Modificada, ajustadas aos dados experimentais.
Figure 3. *Curves of equilibrium moisture content for seeds of óleo-Copaíba (Copaifera langsdorffii Benth.) estimated starting from the Henderson-modified model, adjusted to the experimental data.*

4. CONCLUSÕES

Apartir dos resultados obtidos neste trabalho concluiu-se que:

O modelo de Sigma-Copace ajustou-se melhor aos teores de umidade para as espécies de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Fr. All.) e angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.); já para óleo-copaíba (*Copaifera langsdorffii*) a equação de Henderson-Modificada foi a que melhor ajustou-se;

Os demais modelos testados também se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, podendo ser utilizados para o cálculo da umidade de equilíbrio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE STANDARDS. **Transactions of ASAE.** St. Joseph, MI, 1999. 980 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, DF, 1992. 365 p.

BILIA, D. A. C.; FANCELLI, A. L.; MARCOS FILHO, J. Comportamento de sementes de milho híbrido durante o armazenamento sob condições variáveis de temperatura e umidade relativa do ar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 153-157, jan./jun. 1994.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: The AVI, 1992. 450 p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes:** ciência, tecnologia e produção. 3. ed. Campinas, SP : Fundação Cargil, 1988. 424 p.

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, Nov./Dec. 1998.

CHEN, C.; MOREY, V. Comparison of four EMC/ERH equations. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 3, p. 983-990, May/June 1989a.

CHEN, C.; MOREY, V. Equilibrium relativity humidity (ERH) relationships for yellow-dente corn. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 3, p. 999-1006, May/june 1989b.

CORRÊA, P. C.; MARTINS, D. S. R.; MELO, E. C. **Umigrãos:** programa para o cálculo do teor de umidade de equilíbrio para os principais produtos agrícolas. Viçosa: Centreinar - UFV, 1995. 10 p.

CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; CHRIST, D. et al. Curvas de dessorção e calor latente de vaporização para sementes de milho pipoca (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina grande, v. 2, n. 1, p. 75-79, jan./abr. 1998a.

CORRÊA, P. C.; VITAL, R. B.; MARTINS, J. H. Higroscopicidade e entalpia de vaporização para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 22, n. 4, p. 555-561, out./dez. 1998b.

CHRIST, D. **Curvas de umidade de equilíbrio higroscópico e de secagem da canola (***Brassica napus* **L.** *var. oleifera***), e efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade das sementes.** 1996. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. Basic plant pathology methods. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1995. 434 p.

FREITAS, S. C. **Determinação de equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de Ipê amarelo (*Tabebuia Serratifolia* Vahl. Nichols) armazenadas em diferentes umidades relativas.** 1978. 24 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MATOS, A. T.; CORRÊA, P. C.; FINGER, F. L. Higroscopia das folhas e películas externas de bulbos da cebola (*Allium cepa* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 81-91, dez. 1999.

MAZZA, G.; JAYAS, D. S. Equilibrium moisture characteristics of sunflower seeds, hulls, and kernels. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 2, p. 534-538, Mar./Apr. 1991.

MAZZA, G.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Moisture sortion isotherms of flax seed. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 4, p. 1313-1318, July/Aug. 1990.

MOREY, V.; WILCKE, W. F.; MERONUCK, R. A. et al. Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 4, p. 1139-1145, July/Aug. 1995.

PEREIRA, J. A. M.; QUEIROZ, D. M. de. **Higroscopia**, Viçosa: CENTREINAR, 1987. 28 p.

PFOST, H. B.; MAURER, S. G.; CHUNG, D. S. et al. **Sumarizing and reporting equilibrium moisture data for grains**. St. Joseph: ASAE, 1976. (Paper, 76-3520).

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1971. 214 p.

SOKHANSANJ, S.; YANG, W. Revision of the ASAE standard D245.4: moisture relationships of grains. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 2, p. 639-642, Mar./Apr. 1996.

SOKHANSANJ, S.; ZHIJIE, W.; JAYAS, D. S. et al. Equilibrium relative humidity- moisture content of rapessed (canola) from 5ºC to 25ºC. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 3, p. 837-839, May/June 1986.