GLOBAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (ISSN 1984 - 3801)

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE GRÃOS DE SORGO

Jessica Lima Viana[1*], Fernando Mendes Botelho[1], Taise Raquel Bechlin[1], Sílvia de Carvalho Campos Botelho[2], Gabriel Henrique Horta de Oliveira[3]

RESUMO: Objetivou-se com o presente trabalho avaliar e modelar a contração volumétrica de grãos de sorgo durante o processo de secagem. Foram utilizados grãos de sorgo colhidos e debulhados manualmente das cultivares BRS 308 e Nidera A 9721. A secagem dos grãos de sorgo foi realizada em uma estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, sendo o teor de água acompanhado por diferença de massa, conhecendo-se o teor de água inicial. O volume da massa de grãos de sorgo foi medido ao longo do processo de secagem utilizando-se uma proveta graduada com volume de 1000 ± 5 mL. A avaliação dos modelos de contração volumétrica utilizados foi realizada mediante a determinação e análise do erro cometido na estimação dos dados observados (erro médio relativo e desvio padrão da estimativa), na magnitude do coeficiente de determinação e na significância dos parâmetros pelo teste "t". Baseando-se nos índices estatísticos utilizados o modelo linear foi o que melhor descreveu a contração volumétrica da massa de grãos de sorgo ao longo do processo de secagem para as duas variedades e condições de secagem analisadas.

Palavras–chave: Modelos matemáticos, *Sorghum bicolor*, teor de água

MATHEMATICAL MODELING OF SORGHUM GRAINS SHRINKAGE

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate and model the shrinkage of sorghum grains during drying process. Grains of sorghum manually was harvested and threshed of BRS 308 and Nidera A 9721 cultivars. The drying of sorghum grains was conducted in an oven with forced air, at temperatures of 40, 50 and 60 ºC, and the moisture content was accompanied by mass difference, knowing the initial moisture content. The mass volume of the sorghum grains was measured during the drying process by a volumetric flask with a volume of 1000 ± 5 mL. The evaluation of shrinkage models used was performed by determination and statistical analysis of the error in estimation of the observed data, the magnitude of the coefficient of determination and in the significance of the parameters for the test "t". Based on the statistical index used the linear model was the best in describing the shrinkage of bulk grain sorghum during the drying process for the two varieties and drying conditions analyzed.

Keywords: *Sorghum bicolor*, moisture content, mathematical models

1 Universidade Federal de Mato Grosso. *E-mail: jessica_llivia@hotmail.com. Autor para correspondência.
2 Embrapa Agrossilvipastoril.
3 Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais.

Recebido em: 26/07/2016. Aprovado em: 25/07/2017.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) está entre os cinco cereais mais cultivados do mundo, sendo precedido pelo arroz, trigo, milho e cevado. Esta posição se deve ao fato da cultura apresentar características vantajosas quando comparada a outros produtos agrícolas, como ser mais resistente à variações climáticas, o cultivo pode ser realizado em uma gama de ambientes, e, inclusive, em períodos não recomendados ao plantio de outras culturas (PAULA JÚNIOR; VENZON, 2007; DUARTE, 2010).

A cultura do sorgo que objetiva a produção de grãos para fabricação de ração é denominada sorgo granífero. O beneficiamento da cultura para obter silagem, álcool e energia renovável, são provindas do sorgo forrageiro, sorgo sacarino e do sorgo biomassa, respectivamente.

Os grãos de sorgo, assim como a maioria dos produtos agrícolas, normalmente são colhidos com teor de água acima do que se preconiza para o armazenamento, devendo ser devidamente pré-processado para diminuir os riscos de deterioração nesta etapa. Neste sentido, a secagem se torna uma etapa indispensável para a conservação pois reduz a atividade de água até níveis seguros para armazenar o produto. O processo de secagem é utilizado com intuito de assegurar a qualidade e estabilidade dos produtos agrícolas, pois possibilita diminuir as perdas na pós-colheita devido à proliferação de insetos e, principalmente, micro-organismos.

Várias são as alterações físicas que ocorrem nos produtos agrícolas e que são atribuídas à secagem, sendo a alteração de volume, fenômeno conhecido como contração volumétrica, uma das principais. A contração volumétrica é apontada como um dos principais fatores que propiciam alterações nas propriedades físicas dos grãos, sendo peculiar para cada espécie e até mesmo variedade (RIBEIRO et al., 2005; RATTI, 1994; LANG; SOKHANSANJ, 1993).

A contração volumétrica de produtos agrícolas durante sua desidratação não é função apenas do teor de água, mas depende também das condições do processo de secagem, dos fatores de forma e constituição química do produto (RATTI, 1994; ZOGZAS et al., 1994).

O fenômeno da contração volumétrica envolve complexas leis mecânicas e de deformação de materiais (TOWNER, 1987) dificultando seu estudo teórico. Entretanto, muitos pesquisadores têm se baseado em modelos empíricos na tentativa de melhor representar esse complicado fenômeno em produtos de natureza biológica (GONELI et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2011).

Para Brooker et al. (1992) e Lang e Sokhansanj (1993), uma das principais fontes de erros no desenvolvimento de modelos matemáticos para simular o processo de secagem de produtos agrícolas está na desconsideração da variação volumétrica durante sua perda de água. De acordo com Khraisheh et al. (2004), a contração volumétrica durante a secagem dos produtos agrícolas ocorre de maneira heterogênea. No início da secagem o produto tende a permanecer com sua forma original, entretanto, com a retirada da água acontece o seu encolhimento, que é acompanhado da deformação dos tecidos, formação de poros e demais mudanças microestruturais (KOÇ et al., 2008).

Considerando o exposto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar a contração volumétrica aparente de duas variedades de grãos de sorgo durante a secagem bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais e indicar o melhor modelo que descreva o fenômeno para este produto.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no laboratório de Energia e Pós-colheita que pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Sinop, na cidade de Sinop (MT).

Foram utilizados grãos de sorgo das cultivares BRS 308 e Nidera A 9721, procedentes de um plantio experimental da

Embrapa Agrossilvipastoril e de um cultivo comercial, respectivamente, ambos no município de Sinop (MT).

Os grãos foram colhidos, debulhados e limpos manualmente, sendo retirados todo tipo de material estranho e impurezas. As amostras possuíam teor de água inicial de 0,3672 (decimal b.s.) para a variedade BRS 308 e 0,3939 (decimal b.s.) para a variedade Nidera A 9721.

O teor de água inicial das amostras foi determinado pelo método gravimétrico utilizando uma estufa com circulação forçada de ar a 105 °C, durante 24 h, em três repetições de 30 g (Brasil, 2009).

A secagem dos grãos de sorgo foi realizada em uma estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Para realizar a secagem os grãos foram acondicionados em bandejas com dimensões médias de 320 × 260 × 50 mm, e secos até o teor de água final médio de 0,158 (decimal b.s.). O teor de água foi acompanhado por diferença de massa, conhecendo-se o teor de água inicial, sendo que, para cada temperatura foram utilizadas duas amostras (repetições) contendo cada uma inicialmente 1 L de grãos (aproximadamente 700 g).

O volume da massa de grãos foi acompanhado utilizando-se uma proveta graduada com volume de 1000 ± 5 mL.

A contração volumétrica aparente ou da massa de grãos de sorgo, para as duas variedades estudadas durante o processo de secagem, foi avaliada por meio do índice de contração volumétrica, que é a relação entre o volume para cada teor de água (V_u) e o volume inicial (V_0), conforme Equação 1:

$$\psi = \frac{V_u}{V_0} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Em que: ψ = é o índice de contração volumétrica, adimensional; V_u = volume do produto para um dado teor de água, m^3; e V_0 = volume inicial do produto, m^3.

Aos dados experimentais da contração volumétrica dos grãos de sorgo durante a secagem, foram ajustados diferentes modelos matemáticos, sendo esses descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de contração volumétrica de produtos agrícolas

Descrição do modelo	Modelo	
Bala e Woods modificado	$\psi = 1 - a\,(1\text{-}\exp(-\,b\,(U_i - U)))$	(Equação 2)
Botelho	$\psi = 1 + a\,(U_i - U)^n$	(Equação 3)
Exponencial	$\psi = a \exp(b\,U)$	(Equação 4)
Linear	$\psi = a + b\,U$	(Equação 5)
Quadrático	$\psi = a + b\,U + c\,U^2$	(Equação 6)
Rahman	$\psi = 1 - b\,(U_i - U)$	(Equação 7)

Em que: ψ = é o índice de contração volumétrica, adimensional; U = é o teor de água do produto, decimal (b.s.); U_i = é o teor inicial de água do produto, decimal (b.s.); e a, b, c e n = são os coeficientes de ajuste dos modelos que dependem do produto e da temperatura de secagem.

Para ajustar os modelos aos dados experimentais, realizou-se a análise de regressão não linear pelo método Gauss Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo analisou-se a magnitude do desvio padrão da estimativa (*SE*), do erro médio relativo (*P*), do coeficiente de determinação (R^2), bem como a análise pelo teste "t" da significância dos coeficientes dos modelos à 5% de probabilidade.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \qquad \text{(Equação 8)}$$

$$P = \frac{100}{\eta} \sum \frac{\left| Y - \hat{Y} \right|}{Y} \qquad \text{(Equação 9)}$$

Em que: Y = é o valor observado experimentalmente; $\hat{Y}$ = é o valor estimado pelo modelo; η = é o número de dados observados; e GLR = são os graus de liberdade

do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices estatísticos utilizados para avaliar os modelos ajustados da contração volumétrica aparente dos grãos de sorgo estão apresentados na Tabela 2.

Verifica-se, pela Tabela 2, que todos os modelos testados apresentaram baixas magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE). Este índice indica o erro médio cometido pelo modelo na mesma unidade de medida da variável em estudo, sendo que, necessariamente, quanto menor sua magnitude, melhor o seu ajuste.

Tabela 2. Erro médio relativo (*P*), desvio padrão da estimativa (*SE*), coeficientes de determinação (R^2) dos modelos utilizados para modelagem da contração volumétrica dos grãos de sorgo para os cultivares Nidera A 9721 e BRS 308

		Cultivares											
		Nidera A9721						BRS 308					
		Coeficientes dos modelos						Coeficientes dos modelos					
T (°C)	Modelos	*a*	*b*	*C*	*P* (%)	*SE*	R^2 (%)	*a*	*b*	*c*	*P* (%)	*SE*	R^2 (%)
40	(2)	-90287,2	0,00001	---	0,915	0,0095	98,0	-180,851	0,00489	---	0,334	0,0044	99,5
	(3)	-0,01560*	---	0,83111*	0,390	0,0045	99,6	-0,0081*	---	1,04625*	0,315	0,0042	99,6
	(4)	0,66537*	0,01016*	---	0,460	0,0055	99,4	0,68629*	0,01045*	---	0,323	0,0041	99,6
	(5)	0,63565*	0,00896*	---	0,621	0,0071	98,9	0,65576*	0,00948*	---	0,313	0,0040	99,6
	(6)	0,74945*	0,00028	0,00016*	0,251	0,0032	99,8	0,66777*	0,00853*	0,00002	0,305	0,0042	99,6
	(7)	---	0,00968*	---	0,915	0,0092	98,0	---	0,00919*	---	0,345	0,0043	99,5
50	(2)	-76,6638	0,00978*	---	0,193	0,0030	99,8	-130,04	0,00613	---	0,410	0,0056	99,4
	(3)	-0,00667*	---	1,07255*	0,179	0,0026	99,9	-0,0070*	---	1,06580*	0,402	0,0050	99,5
	(4)	0,69784*	0,00931*	---	0,253	0,0035	99,8	0,70612*	0,00971*	---	0,357	0,0051	99,5
	(5)	0,67037*	0,00848*	---	0,193	0,0026	99,9	0,68289*	0,00878*	---	0,385	0,0047	99,6
	(6)	0,65895*	0,00935*	-0,00002	0,183	0,0027	99,9	0,68765*	0,00837*	0,00001	0,368	0,0051	99,6
	(7)	---	0,00820*	---	0,261	0,0037	99,7	---	0,99379*	---	0,362	0,0055	99,4
60	(2)	63605,8	0,0000	---	0,379	0,0061	99,2	90333,2	0,0000	---	0,297	0,0043	99,7
	(3)	-0,00603*	---	1,0879*	0,373	0,0048	99,5	-0,00653*	---	1,07235*	0,172	0,0025	99,9
	(4)	0,70924*	0,0090*	---	0,348	0,0054	99,4	0,71772*	0,00924*	---	0,431	0,0053	99,6
	(5)	0,68553*	0,0081*	---	0,373	0,0048	99,5	0,69842*	0,00833*	---	0,216	0,0032	99,8
	(6)	0,68056*	0,0085*	-0,00001	0,384	0,0052	99,9	0,68734*	0,00937*	-0,00002	0,198	0,0031	99,9
	(7)	---	0,0078*	---	0,379	0,0057	99,2	---	0,00808*	---	0,297	0,0039	99,7

*Significativo pelo teste "t" à 5% de probabilidade.

Menor magnitude do índice associada ao melhor ajuste do modelo também é atribuído na análise do erro médio relativo (P). Entretanto, para esta variável estatística tem sido recomendado em trabalhos de modelagem similares a este (MOHAPATRA e RAO, 2005; RESENDE et al. 2015; SMANIOTTO et al., 2015), que para se

considerar que o modelo tenha ajuste satisfatório aos dados observados, sua magnitude deve ser sempre inferior a 10%, observação que pode ser feita para todas as temperaturas do ar de secagem e variedades estudadas.

Os modelos, de modo geral, apresentaram elevados valores do coeficiente de determinação (R^2), sendo sempre maiores que 98%. Normalmente este índice, apresenta as maiores magnitudes para aqueles modelos que apresentam os menores erros na estimação dos dados observados, e é relevante na avaliação de modelos lineares. Todavia, segundo Cunningham et al. (2007) o mesmo não é um índice estatístico indicado para avaliar ou selecionar modelos não-lineares.

Como o erro cometido pelos modelos foi considerado satisfatório, ou seja, todos os modelos apresentaram baixas magnitudes de P e SE, a significância de seus coeficientes foi o critério que selecionou, de fato, os melhores modelos. Neste sentido, verifica-se que apenas os modelos Botelho (3), Exponencial (4), Linear (5) e Rahman (7), apresentaram significância dos seus estimadores pelo teste "t" para todas as temperaturas e variedades analisadas, sendo os indicados para avaliar a contração volumétrica aparente dos grãos de sorgo durante a secagem. Como um mesmo grupo de modelos descreveu satisfatoriamente a contração das duas variedades, pode-se dizer que a contração ocorreu de modo semelhante nos produtos testados em função do teor de água, indicando que esta pode ser uma característica da espécie.

Devido a sua maior simplicidade dentre os modelos recomendados, o Linear foi o escolhido, neste trabalho para descrever as curvas de variação volumétrica dos grãos de sorgo para as duas variedades testadas.

O modelo linear também foi o recomendado por diversos pesquisadores ao descrever a contração volumétrica da massa de grãos de diferentes produtos, como Oliveira et al. (2013) para grãos de soja, Afonso Júnior et al. (2000) para os grãos de milheto e Resende et al. (2005) para o feijão.

Nas Figuras 1 e 2, estão apresentados os valores observados e os estimados pelo modelo Linear da contração volumétrica aparente dos grãos de sorgo, em função do teor de água do produto para as condições de secagem e variedades utilizadas.

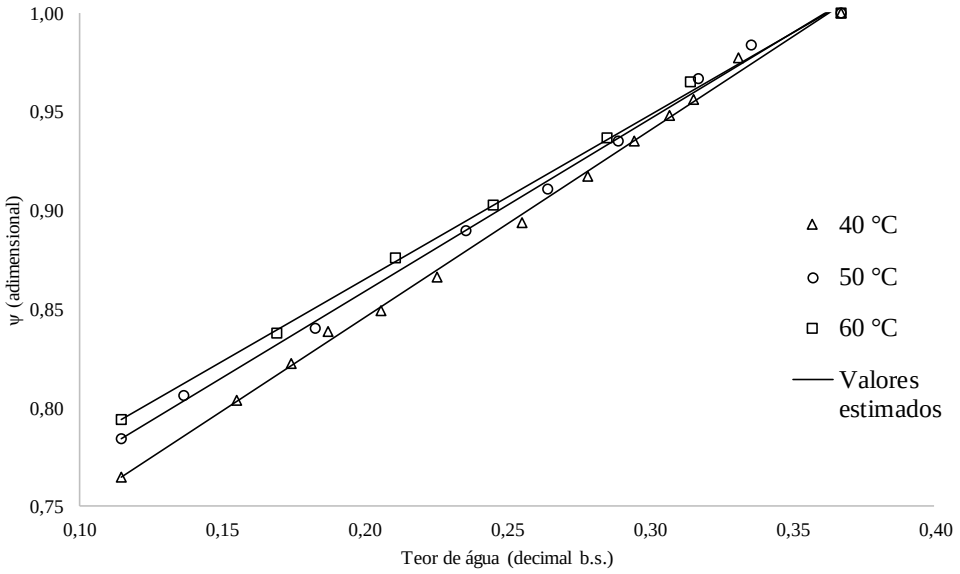

Figura 1. Valores observados e estimados, pelo modelo linear, da contração volumétrica aparente dos grãos de sorgo em função do teor de água para as diferentes temperaturas do ar de secagem para a variedade BRS 308.

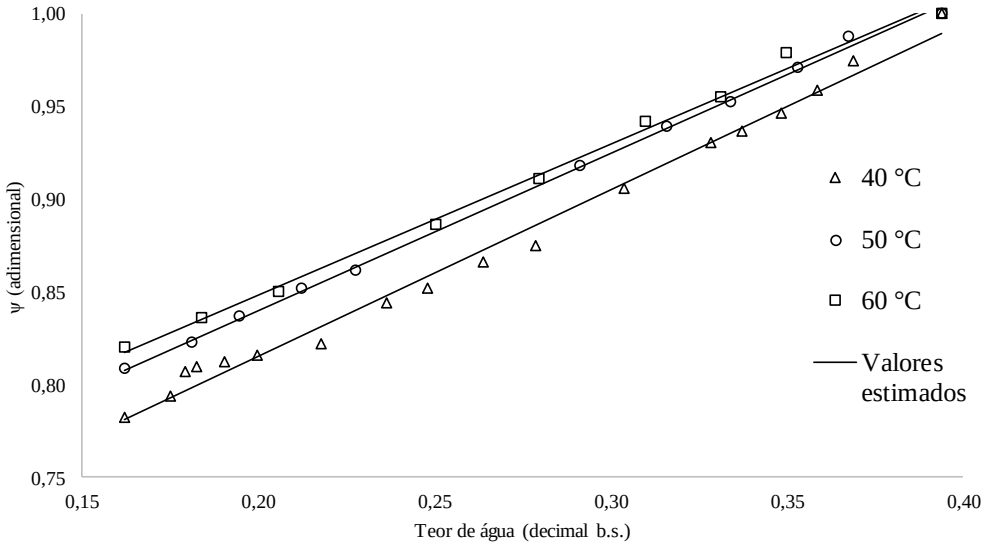

Figura 2. Valores observados e estimados, pelo modelo linear, da contração volumétrica aparente dos grãos de sorgo em função do teor de água para as diferentes temperaturas do ar de secagem e para variedade Nidera A 9721.

Analisando as Figuras 1 e 2, observa-se que houve boa correspondência entre os dados observados e estimados pelo modelo Linear, indicando que os índices estatísticos propostos para escolher o melhor modelo que descrevesse este fenômeno foram adequados.

Nota-se também que a massa de grãos de sorgo teve seu volume reduzido em relação ao volume inicial para as duas variedades estudadas, confirmando que a contração volumétrica não deve ser negligenciada nos estudos de transferência de calor e massa que ocorrem durante a secagem dos grãos de sorgo.

A redução de volume ao longo da secagem é frequentemente observada durante a secagem de produtos agrícolas, conforme verificaram Goneli et al. (2011) e Araújo et al. (2014) estudando mamona e grãos de amendoim, respectivamente.

Verifica-se ainda que, além de apresentar uma variação de volume que foi proporcional à variação do teor de água, podendo assim ser descrita por um modelo polinomial de primeiro grau, houve um efeito inverso da temperatura de secagem sobre a contração volumétrica final (Tabela 3).

Tabela 3. Contração volumétrica dos grãos de sorgo no final do processo de secagem para as variedades BRS 308 e Nidera A 9721.

	Contração final (%)		
Temperatura (°C)	40	50	60
BRS 308	24	22	21
Nidera A 9721	19	18	18

Para as variedades estudadas, à medida que se aumentou a temperatura de secagem, menor foi a contração volumétrica final da massa de grãos de sorgo. Dependência direta entre a temperatura do ar de secagem e o índice de contração volumétrica final foi observada por Coradi et al. (2016) avaliando a secagem de grãos de milho nas temperaturas de secagem de 80, 100 e 120°C. Já Oliveira et al., (2014) avaliando a secagem de grãos de feijão adzuki e Smaniotto et al. (2015) estudando a secagem de grãos de soja não observaram dependência da contração volumétrica final com a temperatura do ar de secagem. Esses resultados indicam que a variação volumétrica que ocorre nos produtos

agrícolas não depende apenas da temperatura de secagem, podendo depender também da espécie ou estar associado à outros fatores, como teor de água inicial, forma e tamanho do produto, dentre outros.

Verifica-se ainda que para variedade BRS 308, que o volume reduzido em relação ao volume inicial para temperatura de 40 °C foi de aproximadamente 24% para o teor de água variando de 0,37 a 0,11 (decimal b.s.), para temperatura de 50 °C foi de aproximadamente 22% para o teor de água variando de 0,37 a 0,11 (decimal b.s.) e para temperatura de 60 °C foi de aproximadamente 21% para o teor de água variando de 0,37 a 0,11 (decimal b.s.). Para a variedade Nidera A 9721, seu volume foi reduzido em aproximadamente 19% para teor de água variando de 0,39 a 0,18 (decimal b.s.) para a temperatura de 40 °C, de 18% para teor de água variando de 0,39 a 0,18 (decimal b.s.) e 0,39 a 0,16 (decimal b.s.) para as temperaturas de 50 e 60 °C, respectivamente.

Por fim, avaliando a contração volumétrica final entre as variedades e para uma mesma temperatura de secagem, nota-se que os grãos da variedade BRS 308 sofreram, de modo geral, maiores variações de volume do que os grãos da variedade Nidera A 9721. Este resultado evidencia diferenciações que ocorrem na secagem devido à características varietais e, justificam e reforçam, a necessidade de se fazer trabalhos contínuos da avaliação da contração volumétrica visando não apenas o produto em si, mas as peculiaridades genéticas que são potencializadas pela característica varietal.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que a variação volumétrica dos grãos de sorgo para as duas variedades analisadas é linearmente dependente do teor de água, sendo que um modelo polinomial de primeiro grau (modelo Linear) é o recomendado para descrever a contração volumétrica deste produto ao longo da secagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), indispensável para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Cinética da contração volumétrica dos grãos de duas cultivares de milho-pipoca durante o processo de secagem. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. Campina Grande, v.2, n.1, p.61-65, 2000.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; ANDRADE, E. T. Análise da variação das propriedades físicas e contração volumétrica dos grãos de milheto (*Pennisetumglaucum*) durante o processo de dessorção. Revista Brasileira de Armazenamento. Viçosa, v.25, n.1, p.15-21, 2000.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A. de; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.3, p.279-289, 2014.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análises de sementes.** RAS, Brasília. p. 399, 2009.

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

CORADI, P. C.; MILANE, L. V.; ANDRADE, M. G. O.; CAMILO, L. J.; SOUZA, A. H. S. Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos. Brazilian Journalof Biosystems Engineering. V. 10(1), p.14-26, 2016.

CUNNINGHAM, S. E.; MCMINN, W. A. M.; RICHARDSON, P. S. Modelling water absorption of pasta during soaking. Journal of Food Engineering, v. 82 (4), p. 600-607, 2007.

DUARTE, J. O. Mercado e comercialização: da produção do sorgo granífero no Brasil. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo.** 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2).

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, C. P.; MAGALHÃES, F. E. de A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v.33, n. 1, p. 1-8, 2011.

KHRAISHEH, M. A. M.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. Food Research International.v.34, p.497-503, 2004.

KOÇ, B.; EREN, I.; ERTEKIN, F.K. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. Journal of Food Engineering, v.85, p.340-349, 2008.

LANG, W.; SOKHANSANJ, S. Bulk volume shrinkage during drying of wheat and canola. Journal of Food Process Engineering. Trumbull, v.16, n.4, p. 305-314, 1993.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying modelof parboiled wheat. Journal of Food Engineering. p.513-518, 2005.

OLIVEIRA, D. E. C. de; RESENSE, O.; MENDES, U. C.; SMANIOTTO, T. A. de S.; DONADON, J. R. Modelagem da contração volumétrica do feijão-adzuki durante a secagem. Científica, Jaboticabal, v.42, n.1, p.23–31, 2014.

OLIVEIRA, D. E. C. de; RESENSE, O.; SMANIOTTO, T. A. de S.; SIQUEIRA, V. C.; JOSÉ NETO, C. A. Alterações morfométricas em grãos de soja durante o processo de secagem. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 3, p. 975-984, maio/jun. 2013.

PAULA JUNIOR, T. J de; VENZON, M. **101culturas:** Manual de técnicas agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007.

RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. Journal of Food Engineering.v.23, n.1, p. 91-105, 1994.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; CECON, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolusvulgaris*L.) durante a secagem. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. Campina Grande, v.7, n.1, p.15-24, 2005.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Contração volumétrica dos frutos de pinhão-manso durante a secagem em diversas temperaturas. Revista Brasileira de Armazenamento, v. 36, n. 2, p. 171-178, 2011.

SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de O.; SIQUEIRA, V. C.; SOUSA, K. A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. Revista Agro@mbiente On-line, v. 9, n. 4, p. 397-404, outubro-dezembro, 2015.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; KOURIS, D. M. Densities, shrinkage and porosity of som o vegetables during air drying. Drying Technology. v. 12 (7), p.1653-1666, 1994.