

PARÂMETRO K PARA DETERMINAÇÃO DAS PRESSÕES EM SILOS VERTICAIS

VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA^{1*}; ARIADNE SOARES MEIRA²; HYGOR CÉSAR SOARES RODRIGUES³; PATRÍCIO GOMES LEITE⁴; JORDÂNIO INÁCIO MARQUES⁵

¹Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, rval707@gmail.com;

²Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, ariadnesm_eng@hotmail.com;

³Graduando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hygor2._soares@hotmail.com;

⁴Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, pgomesleite@gmail.com;

⁵Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, jordanioinacio@hotmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O parâmetro K relaciona as pressões horizontais e verticais e é elemento fundamental na determinação da distribuição das pressões ao longo do silo. Com isto, o objetivo deste trabalho foi determinar o parâmetro K através das normas AS 3774 (1996) e BS EN 1991/4 (2006) e das teorias propostas por Jaky (1948), Hartmann (1966). A metodologia aplicada no presente trabalho levou em consideração as propriedades de fluxo de grãos de milho e soja, sendo determinadas no TSG 70-140 utilizando os anéis de Jenike. O parâmetro K experimental foi determinado a partir do equipamento modelo Autograh – AG-IS 100 kN. Já o parâmetro K indireto, utilizou as equações propostas nas teorias e nas normas. Por resultados, obtiveram-se valores do parâmetro K experimental sempre aquém dos valores obtidos pela resolução das equações propostas pelas teorias e normas. Nenhuma das normas ou teorias se adequou a situação presente no trabalho sendo a menor variação quando comparados os resultados em torno de 65% para milho e 54% para a soja, evidenciando a incompatibilidade de resultados e o uso inadequado destas teorias e normas para a situação imposta neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Sormatização, silo vertical, milho, soja

MAPPING OF THE PEDOLOGICAL POTENTIAL OF THE PARAÍBA STATE FOR THE CULTIVATION OF SUGAR CANE (*Saccharum spp*)

ABSTRACT: The K parameter lists the horizontal and vertical pressures and is a key element in determining the distribution of pressure along the silo. With this, the aim of this study was to determine the parameter K by the standards the 3774 (1996) and BS EN 1991/4 (2006) and of the theories proposed by Jaky (1948), Hartmann (1966). The methodology applied in this study took into account the flow properties of corn and soy beans, being determined in TSG 70-140 using Jenike rings. The parameter K was determined from model equipment Autograh-AG-IS 100 kN. Already the parameter K indirect, used the equations on the theories and proposals in the standards. For results, values were obtained of the parameter K always below the experimental values obtained by solving the equations proposed by the theories and standards. None of the theories developed standards or if the present situation at work being the lower variation when compared the results around 65% for corn and 54% for soybeans, demonstrating the inconsistency of results and the misuse of these theories and standards for situation imposed in this work.

KEYWORDS: Standardization, vertical, silo corn, soybeans

INTRODUÇÃO

Primordialmente, o parâmetro K foi determinado de maneira experimental por Janssen (1895) onde foi verificada a variação deste fator pra cada produto a ser armazenado. Posterior a isto, este parâmetro foi aprimorado por Koenen (1896). Esta é uma das expressões mais aceitas para a determinação do valor de K, sendo determinada com base no coeficiente de empuxo ativo da teoria de Rankine (1857) para empuxos de terra, sendo válida para ângulos de atrito com a parede igual a zero.

Ainda seguindo o conceito de empuxo em repouso estabelecido por Rankine (1857), Jaky (1948) em sua teoria obteve a relação para o parâmetro K para o caso do produto em repouso contido por silo de parede lisa e rígida, desprezando o atrito grão/grão e grão/parede.

Calderon (2017) relaciona o parâmetro K à forma da partícula e afirma que este tem pouca dependência do tamanho dos grãos, embora tenham sido observadas modificações que levam em consideração a presença de produtos com granulometria heterogênea.

Em sua teoria para análise de silos sujeitos ao fluxo de funil, Benink (1989) verificou que ocorreram altas pressões nas paredes, onde as zonas estagnadas atingem as paredes do corpo do silo. Sugerindo assim, dois valores limites para K com duas imposições: K no centro do silo e K na parede do silo.

Na norma BS EN 1991/4 (2006) deve-se levar em consideração os procedimentos para determinação do parâmetro K onde, uma tensão vertical σ_1 deve ser aplicada a amostra restrita contra a deformação horizontal. A tensão horizontal induzida σ_2 deve ser medida e o valor secante da razão de pressão lateral K_o determinado.

No calculo das pressões que agem na tremonha, segundo a norma BS EN 1991/4(2006), o parâmetro K pode ser determinado á partir das características da tremonha tais como o coeficiente de atrito da tremonha e o ângulo que a tremonha faz com a horizontal

Lopes Neto & Nascimento (2014) analisam que na maioria das teorias sobre as relações das pressões laterais, o parâmetro K é determinado apenas com o conhecimento do efetivo ângulo de atrito interno, sendo o ângulo de atrito com a parede considerada em algumas formulações identificando incerteza para o cálculo deste parâmetro.

Sendo assim, o presente artigo tem por objetivo determinar o parâmetro K através das normas AS 3774 (1996) e BS EN 1991/4 (2006) e das teorias impostas por Jaky (1948) e Hartmann (1977) e aplicar uma correlação entre os valores encontrados.

MATERIAL E MÉTODOS

As propriedades físicas e de fluxo, assim como a determinação empírica do parâmetro K, foram realizados no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Campina Grande – PB, Brasil.

Foram utilizadas nessa pesquisa propriedades físicas e de fluxo de grãos de milho e soja com teor de umidade a 10, 12 e 14% respectivamente. Produtos estes adquiridos no comércio local. Para a determinação da correlação entre o parâmetro K advindo da resolução das equações, utilizou-se os dados do milho e da soja com teor de umidade 12% haja visto este ser o percentual de água admitido para o armazenamento destes grãos.

Os ensaios de cisalhamento foram realizados em triplicata no aparelho de cisalhamento transversal TSG 70-140 que utiliza a célula de Jenike. O segmento de parede utilizado para a determinação do ângulo de atrito do produto com a parede foi confeccionado como o mesmo material da parede do silo, aço liso.

O parâmetro K experimental foi determinado quando obtidas as pressões horizontais e verticais utilizado o equipamento modelo Autograph – AG-IS 100 kN como sequencia de cargas variando de 5 a 20 kN.

Para a determinação do parâmetro K de forma indireta, foram utilizadas as equações propostas na Teoria de Jaky (1948) e Hartmann (1977) e pelas normas AS 3774 (1996) e BS EN 1991/4 (2006). Onde, para determinação de sua teoria, Jaky (1948) obteve a uma relação para o parâmetro K onde o produto encontra-se em repouso e a parede do silo é lisa e rígida. Relação esta, expressa pela Equação 1.

(Eq. 1)

$$K = \frac{(1 + \text{sen}\varphi_e) \left(1 + \frac{2}{3}(\text{sen}\varphi_e)\right)}{1 + \text{sen}\varphi_e}$$

Hartmann (1977), baseado na teoria da elasticidade sugere uma expressão para calcular a relação entre as pressões em silos de paredes rugosas, obteve a seguinte relação para o parâmetro K: (Eq. 2) que leva em consideração a disposição grão/grão expresso pelo efetivo ângulo de atrito.

(Eq. 2)

$$K = \frac{(1 - \text{sen}^2\varphi_e)}{1 + \text{sen}^2\varphi_e}$$

Com a norma AS 3774 (1996) o parâmetro K pode ser determinado tanto pela Tabela 1 quanto pela resolução da equação de Walker (Eq. 3) para a determinação do valor de K, limitando este valor como maior ou igual a 0,35.

(Eq. 3)

$$K = \frac{1 + \text{sen}^2\varphi_e - 2\sqrt{(\text{sen}^2\varphi_e - \mu^2 \cos^2\varphi_e)}}{4\mu^2 + \cos^2\varphi_e}$$

A norma europeia BS EN 1991-4 (2006) utiliza a equação de Janssen (Eq. 4) para determinação do parâmetro K onde evidencia a utilização a disposição do produto armazenado pelo efetivo ângulo de atrito.

(Eq. 4)

$$K = 1,1(1 - \text{sen}\varphi_e)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro K para o milho e a soja determinado experimentalmente é representado na Tabela 1 para os devidos teores de umidade estipulados para cada grão.

Tabela 1 – Parâmetro K experimental

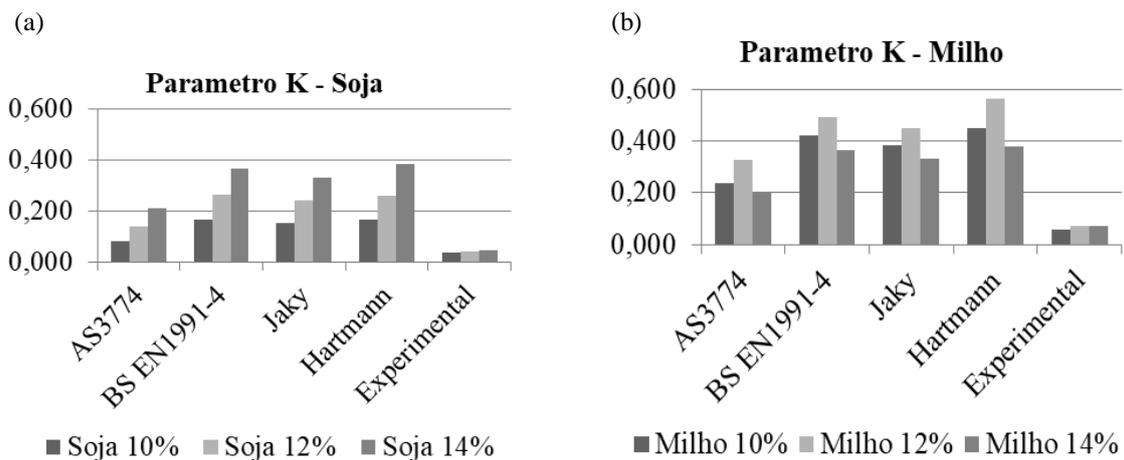
Grão/TU	Parâmetro K Experimental		
	10%	12%	14%
Milho	0,060	0,070	0,070
Soja	0,038	0,042	0,040

Observa-se que o parâmetro K tende a crescer de acordo com o acréscimo do teor de umidade dos grãos em estudo. Tendência esta também observada por Costa (2013) para milho triturado quando em seu trabalho, o parâmetro K apresentou leve acréscimo simultâneo ao teor de umidade.

Pelo fato do parâmetro K determinado por Janssen (1895) ser uma relação direta entre as pressões horizontal e vertical, quando o valor do parâmetro segue a tendência de acréscimo com o teor de umidade do grão, proporcionalmente há um acréscimo na pressão horizontal resultante da dilatação do grão por acúmulo de água.

Tanto para a determinação do parâmetro K dos grãos de milho quanto para os grãos de soja, os valores obtidos pela resolução das equações propostas pela norma BS EN 1991-4 (2006) se aproximaram dos valores encontrados pela resolução das equações propostas por Hartmann em sua teoria, havendo uma variação média de 6% entre os valores obtidos como na Figura 1a e 1b.

Figura 1 – (a) Parâmetro K para soja; (b) Parâmetro K para milho.



Freitas (2001) realizando experimentos com milho encontra valores discrepantes de até 21% entre os resultados experimentais e a norma AS 3774 (1996) e de até 12% entre os experimentais e a norma BS EN1991-4 (2006), corroborando com o encontrado no presente trabalho aonde a discrepância chega a 87% entre os valores obtidos pela resolução das equações normatizadas e os valores experimentais.

Costa (2013) para o milho triturado encontra valores de parâmetro K abaixo dos encontrados pela resolução das equações contidas nas teorias de Jaky (1948) e Hartmann (1977) e nas normas estrangeiras, validando assim os dados encontrados no presente trabalho e comprovando a deficiência nos parâmetros requeridos em tais equações.

Lopes Neto & Nascimento (2014) comparando valores do parâmetro K experimental com empíricos, encontrados a partir da resolução das equações propostas por alguns autores, dentre eles Jaky (1948), verifica que para esta teoria os valores são mais aproximados aos experimentais quando em relação às outras teorias estudadas.

Nascimento & Calil Júnior (2008) obtiveram, ao medir o parâmetro K para o carregamento de um silo cilíndrico metálico de paredes lisas, valores médios iguais a 0,45 e 0,32 para grãos de milho e soja, respectivamente. Já Couto (2013) ao determinar as pressões exercidas pelo milho nas paredes do silo, encontra valores para o parâmetro K entre 0,16 e 0,28 quando o descarregamento foi realizado concentricamente.

Ruiz et al. (2012) encontraram valores médios para K de 0,34 no carregamento e 0,38 para o descarregamento de grãos de trigo em um silo metálico com paredes lisas e relação H/D igual a 2. Apesar dos valores entre essas pesquisas se apresentarem dentro de uma mesma faixa de variação, é importante observar que o parâmetro K não é constante ao longo da profundidade do silo e que distorções podem surgir quando analisados apenas os valores médios.

Os valores do parâmetro K obtidos experimentalmente foram sempre aquém dos valores obtidos pela resolução das equações propostas pelas teorias e pelas normas. A menor variação quando comparados os resultados foi entre aos valores experimentais e os encontrados a partir da norma AS 3774 (1996) em torno de 31,48%. A maior diferença foi entre os valores experimentais e os encontrados a partir da teoria de Hartmann em torno de 87%, evidenciando a incompatibilidade de resultados e o uso inadequado desta teoria para a situação imposta neste trabalho.

O parâmetro K determinado experimentalmente foi gerado a partir de ensaios em um equipamento com parede rugosa, porém, sua determinação, tomando por equação a relação determinada por Janssen, desprezou este atrito na sua resolução. Sendo assim, a assertiva imposta por Ito (2016) sobre a imprecisão da equação de Janssen é válida para a situação presente neste trabalho.

Porém, ainda há uma teoria de Freitas (2001) que afirma que os valores obtidos a partir das normas estrangeiras são, no geral, superdimensionados pelo fato de na maioria das recomendações existentes, ainda há muita incerteza no cálculo para a relação de pressão.

A ausência de aplicações estatísticas dificulta a comparação dos dados obtidos no presente trabalho com outros tantos obtidos anteriormente, porém, o entendimento teórico da correlação esteve expresso no presente trabalho.

CONCLUSÃO

O parâmetro K experimental, determinado através da equação de Janssen (1985) como a relação direta entre as pressões horizontal e vertical, foi sempre aquém dos valões determinados pela resolução das equações normatizadas e contidas nas teorias, porém, sendo entendido como o ideal nas condições experimentais as quais os produtos foram expostos.

O teor de umidade pode ser tido como um dos fatores de acréscimo do parâmetro K tendo em vista a relação direta entre eles.

Há ainda a necessidade da verificação e aplicabilidade de outras normas ou teorias á situação imposta pelo presente trabalho, a fim de se assimilar aos resultados experimentais ou resultados teóricos.

AGRADECIMENTOS

A Capes pela concessão de bolsa de pesquisa dos autores, ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da UFCG.

REFERÊNCIAS

- Araújo, A. E. de; Amorim Neto, M. da S.; Beltrão, N. E. de M. Municípios aptos e épocas de plantio para o cultivo da mamoneira no estado da Paraíba. Revista de Oleaginosas e Fibras, v.4, n.2, p.103-110, 2000.
- Brito Neto, J. F. de; Souza, K. S. de; Guedes Filho, D. H.; Lacerda, J. S. de; Costa, D. S.; Santos, D. P. dos; Sena, G. S. A. de. Avaliação dos componentes de produção da mamoneira em função de doses de calcário e fósforo. In: Reunião Brasileira de Manejo de Solo e Água, 2008. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2008.
- EMBRAPA. Embrapa Algodão. Zoneamento da Mamona no Nordeste. Nota Técnica. 2008. Disponível em: http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/zoneamento_pb.PDF. Acesso em: 28 de abril de 2016.
- Francisco, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- Francisco; P. R. M.; Medeiros; R. M. de; Matos, R. M. de; Santos; D. Variabilidade espaço-temporal das precipitações anuais do período úmido e seco no Estado da Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. CONTECC' 2015, Fortaleza, Anais...Fortaleza, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de março de 2011.
- Lepsch, I. F.; Bellinazzi Jr., R.; Bertolini, D.; Espíndola, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4a Aprox. SBCS, Campinas-SP. 1996. 175p.