

AVALIAÇÃO DAS PRESSÕES DE ATRITO EM SILOS ESBELTOS VARIANDO O ÂNGULO DA TREMONHA E A ESBELTEZ DO SILO

RÔMULO MARÇAL GANDIA¹, WISNER COIMBRA DE PAULA², SIMONE MANCINI³, MARCELO BAHUTI⁴, FRANCISCO CARLOS GOMES⁵, PEDRO JOSÉ AGUADO RODRIGUEZ⁶

¹PhD, Federal University of Lavras (UFLA) (Brazil), Agricultural engineering Department, (35) 998337777, romagandia@gmail.com

²PhD, UFLA, Engineering Department, wisner.depaula@ufla.br

³Master student, UFLA, Agricultural engineering Department, simonemancini10@hotmail.com

⁴PhD student, UFLA, Agricultural engineering Department, marcelo_bahuti@hotmail.com

⁵PhD, UFLA, Agricultural engineering Department, fcgomes@ufla.br

⁶PhD, University of León (Spain), Agricultural engineering Department, pedro.aguado@unileon.es

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: É notável a importância do armazenamento em silos tanto no âmbito nacional quanto internacional. Falhas devido as pressões na parede do cilindro devido a esbeltes e ângulo da tremonha são relatadas. Além de não ser encontrado muitos relatos a respeito da influência das pressões devido a esbeltes. O trabalho teve o objetivo de avaliar as pressões de atrito na parede do silo variando a esbeltes a inclinação da tremonha. Neste trabalho, foi relatado os resultados para as pressões verticais na parede de silos em escala piloto obtidos a partir de ensaios realizados em uma estação de teste usando um produto de fluxo livre. Seis tipos diferentes de geometria de silo (esbeltez e ângulo da tremonha) foram testados enchendo o silo até a altura de interesse e observando a fase estática (10 minutos) seguida de descarga completa. Os resultados mostram que as pressões de atrito no cilindro durante a fase estática apresentaram picos de acomodação simétricos à altura do silo.

PALAVRAS-CHAVE: Pressões de silo, produto de fluxo livre, tremonha concêntrica

EVALUATION OF FRICTION PRESSURES IN SLENDER SILOS VARYING THE HOPPER ANGLE AND THE SLENDERNESS OF THE SILO

ABSTRACT: The importance of storage in silos both nationally and internationally is remarkable. Failures due to cylinder wall pressures due to slender and hopper angle are reported. In addition to not being found many reports about the influence of pressures due to slender. The aim of this work was to evaluate the friction pressures in the silo wall, varying the hopper inclination to slender. In this work, the results for the vertical wall pressures of pilot scale silos obtained from tests carried out in a test station using a free-flowing product were reported. Six different types of silo geometry (slenderness and hopper angle) were tested by filling the silo to the height of interest and observing the static phase (10 minutes) followed by complete discharge. The results show that the friction pressures in the cylinder during the static phase peaks of accommodation symmetrical to the height of the silo

KEYWORDS: Silo pressures, free-flowing product, concentric hopper, flow pattern, slender silo.

INTRODUÇÃO: No mercado internacional, o milho e seus derivados constituem um produto líder de alto consumo devido ao seu alto índice nutricional e ampla prevalência na alimentação animal. Só no Brasil, a produção de grãos em 2020 foi de 268,7 milhões de toneladas (CONAB, 2020). Os silos de torres têm sido estudados desde o século 19, mas devido à complexidade das leis que governam o comportamento mecânico dos materiais armazenados, muitos aspectos permanecem mal compreendidos (AYUGA, 2008; DOGANGUN et al., 2009; NIELSEN, 2008). O comportamento das pressões em um silo é influenciado pelo padrão de fluxo e os dois parâmetros que influenciam diretamente são o ângulo da tremonha e o ângulo de atrito entre o material e a parede da tremonha. A estação de teste em escala piloto proposta por Pieper e Schütz em 1980 (PIEPER; SCHÜTZ, 1980), que forneceu suporte para DIN 1055-6: Base de projeto e ações em estruturas - Parte 6 (DIN, 2005), pode ser usada para obter inúmeras variáveis que influenciam diretamente o comportamento das pressões em um silo (SONG; TENG, 2003; ZEGZULKA, 2013). Modelos experimentais de silos em grande escala fornecem proximidade com valores reais, permitindo confiança nos dados e aumentando nossa compreensão das pressões em silos (CHEN et al., 2007). Portanto, o objetivo do presente estudo foi elucidar a relação entre o padrão de fluxo e esbeltez em relação às pressões do silo.

MATERIAL E MÉTODOS: Os componentes principais consistem em dois silos: um para realização dos testes (silo piloto), contendo a instrumentação necessária para medir o comportamento do material armazenado, e o outro (silo de armazenamento) para armazenar o produto utilizado nos testes, armazenando o material durante os testes. O silo é cilíndrico, elevado e metálico. O cilindro do silo e a tremonha são independentes e podem ser desmontados. O silo cilindro tem 600 centímetros de altura e 70 centímetros de diâmetro, e é dividido em 12 semicilindros (anéis) estruturalmente independentes. Cada anel tem 49,50 cm de altura com um vão de 0,50 cm, totalizando a altura do cilindro do silo em 6 metros (Figura 1). O uso de anéis independentes permite a medição da força vertical e horizontal na parede do cilindro (em cada anel). Para medir as pressões normais da parede, uma geratriz vertical foi localizada na parede do cilindro, ao longo da qual 12 pares de leituras foram feitas em diferentes alturas usando uma célula de carga de tensão, cada par produzindo a medição de pressão normal para cada anel. Para evitar erros de leitura, cada anel possui uma folga de 5 mm na abertura (Figura 1).

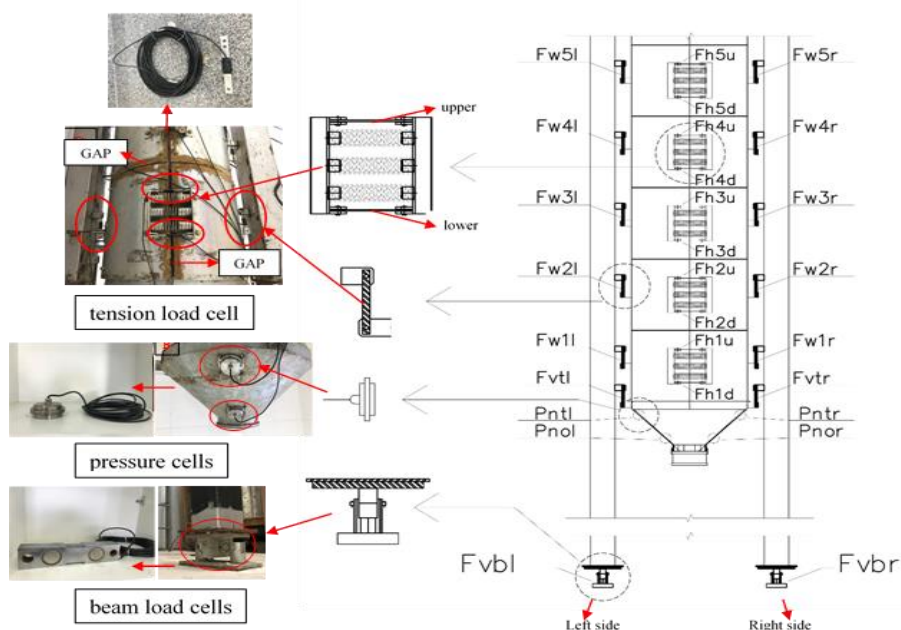


FIGURA 1. Localização das células de medição no silo piloto.

Célula de carga tipo viga, base do pilar (a), célula de pressão, tremonhas (b), célula de carga de tensão, anéis de silo (vertical - atrito, normal - horizontal) (c).

Utilizando milho e preenchimento concêntrico, foram realizados 30 testes, divididos em seis configurações com cinco repetições cada. Cada configuração diferia quanto ao ângulo da tremonha e à altura de enchimento do produto (esbeltes). Foram utilizadas três alturas de enchimento: 2,5 metros (4hd), 4,0 metros (6hd) e 5,0 metros (8hd) (Figura 6); e dois ângulos concêntricos da tremonha: $\beta = 15^\circ$ (C15) e $\beta = 60^\circ$ (C60). Embora a relação altura / diâmetro não fosse exatamente 4, 6 e 8, esse termo foi usado para facilitar a escrita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Durante o enchimento do silo, foi verificado (Figura 2) que a magnitude e a quantidade dos picos de acomodação foram relacionadas à diminuição de β e aumento da esbeltes, ou seja, foi observado menos picos de acomodação e estes foram de menor magnitude para C60 4hd e máximo para C15 8hd.

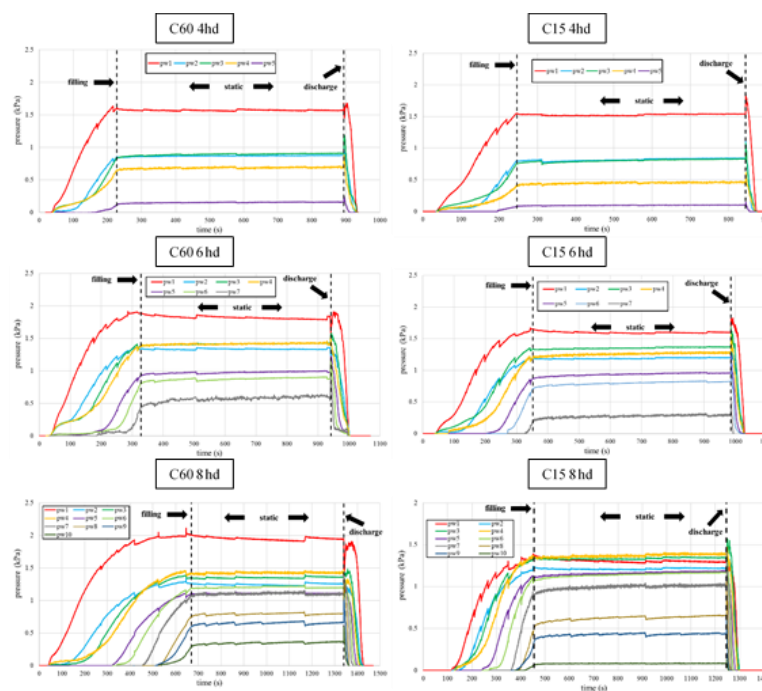


FIGURA 2. Pressões de atrito da parede do cilindro do silo (pw), em cada tempo t. Ensaios do tipo C15 e C60, teste C60 4hd, C60 6hd, C60 8hd, C15 4hd, C15 6hd e C15 8hd.

As pressões de atrito na parede do cilindro em $\beta = 60^\circ$ aumentaram com o aumento da esbeltes, enquanto que em $\beta = 15^\circ$, pouca diferença foi observada em relação às variações na esbeltes. Em relação à fase estática, além das pressões normais, a acomodação relacionada ao deslocamento do material exercendo força vertical nas paredes (pressões de atrito na parede do cilindro) aumentou com a maior altura do produto armazenado. Mais acomodação ocorreu no início, reduzindo os picos devido a acomodação ao longo do tempo (RUIZ; COUTO; AGUADO, 2012). Outra observação diz respeito à simetria dos picos de acomodação relacionados à altura do silo, onde as pressões de atrito na parede próxima à tremonha aumentaram, as localizadas no topo diminuíram e as da parte central do silo foram neutras.

CONCLUSÕES: As pressões de atrito no cilindro durante a fase estática apresentaram picos de acomodação simétricos à altura do silo, sendo que da metade da altura do silo para baixo os picos foram positivos, da metade para cima foram negativos, e na central região eles eram neutros. Esses picos de atrito apresentaram valores maiores em paralelo com o aumento da relação altura / diâmetro.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior) pelo financiamento da bolsa de doutorado relacionada a este projeto.

REFERÊNCIAS

- AYUGA, F. Some unresolved problems in the design of steel cylindrical silos. In: CHEN, J.F., TENG, J. G. (Ed.). . **Structures and Granular Solids: From Scientific Principles to Engineering Applications**. Boca Raton, USA: CRC Press-Taylor & Francis Group, 2008. p. 123–133.
- CHEN, J. F. et al. Correlation between the flow pattern and wall pressures in a full scale experimental silo. **Engineering Structures**, v. 29, n. 9, p. 2308–2320, 2007.
- CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020** **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2019/2020**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>.
- DIN. **DIN 1055-6: Basis of design and actions on structures – Part 6: design 623 loads for buildings and loads in silo bins**. Berlin, Verlaz: 2005
- DOGANGUN, A. et al. Cause of damage and failures in silo structures. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 23, n. 2, p. 65–71, 2009.
- NIELSEN, J. From silo phenomena to load models. In: CHEN, J. F.; TENG, J. G. (Eds.). . **Structures and Granular Solids: From Scientific Principles to Engineering Applications**. Boca Raton, USA: CRC Press-Taylor & Francis Group, 2008. p. 49–57.
- PIEPER, K.; SCHÜTZ, M. **Bericht Über das Forschungsvorhaben - Norm-Mess-Silo für Schüttguteigenschaften**. [s.l.] Technische Universität Braunschweig, 1980.
- RUIZ, A.; COUTO, A.; AGUADO, P. J. Design and instrumentation of a mid-size test station for measuring static and dynamic pressures in silos under different conditions - Part II: Construction and validation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 85, p. 174–187, 2012.
- SONG, C. Y.; TENG, J. G. Buckling of circular steel silos subject to code-specified eccentric discharge pressures. **Engineering Structures**, v. 25, n. 11, p. 1397–1417, 2003.
- ZEGZULKA, J. The angle of internal friction as a measure of work loss in granular material flow. **Powder Technology**, v. 233, p. 347–353, 2013.