

INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE TREMONHAS EXCÊNTRICAS NAS PRESSÕES NORMAIS EXPERIMENTAIS

WISNER COIMBRA DE PAULA¹, RÔMULO MARÇAL GANDIA², FRANCISCO CARLOS GOMES³, ESTÁCIO ANTUNES DE OLIVEIRA JÚNIOR⁴, LUIZ FELIPE SOUZA⁵, SIMONE MANCINI⁶

¹PhD, Federal University of Lavras (UFLA) (Brazil), Engineering Department, (35) 38291398, wisner.depaula@ufla.br

²PhD, UFLA, Agricultural engineering Department, romagandia@gmail.com

³PhD, UFLA, Agricultural engineering Department, fcgomes@ufla.br

⁴Agricultural Engineer, UFLA, Agricultural engineering Department, estacioantunes@gmail.com

⁵Agricultural Engineer, UFLA, Agricultural engineering Department, ifsouza94@hotmail.com

⁶Master student, UFLA, Agricultural engineering Department, simonemancini10@hotmail.com

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

RESUMO: Silos verticais esbeltos são estruturas de armazenamento que ainda necessitam de estudos para o completo conhecimento dos esforços atuantes nas tremonhas, uma vez que existe grande variabilidade nas pressões causadas pelo produto armazenado e pela geometria da boca de descarga. O objetivo deste trabalho foi avaliar as pressões normais exercidas pelo armazenamento de milho em grãos nas paredes de tremonhas excêntricas com 15°, 30° e 45° de inclinação com a vertical, em silos esbeltos (relação entre o diâmetro e a altura igual a 7,8 e 8,5). Para tal fim, propôs-se a análise do comportamento estrutural das tremonhas citadas, instalada em um silo piloto, cujo projeto baseia-se no princípio teórico do modelo de Pieper e Schütz (1980). Os estudos nessas tremonhas foram concebidos quando submetidas a cargas estáticas e dinâmicas (carregamento, armazenamento e descarregamento), em um silo com o corpo revestido por chapas metálicas lisas e onduladas. Os resultados dos esforços obtidos nos ensaios com o uso de células de pressão foram apresentados por meio de suas curvas de tendência, demonstrando o comportamento estrutural da tremonha de acordo com sua geometria. Observam-se valores máximos das pressões normais próximos à região de transição, tanto na situação estática quanto dinâmica, notadamente no lado oposto à excentricidade. Próximo à boca de descarga, as pressões se reduziram consideravelmente. A conformação das paredes do silo também influenciou os valores máximos de pressão normal na tremonha.

PALAVRAS-CHAVE: cargas estáticas e dinâmicas, esforços em tremonhas, silo esbelto.

INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF ECCENTRIC HOPPERS ON NORMAL EXPERIMENTAL PRESSURES

ABSTRACT: Slender vertical silos are storage structures that still need to be studied in order to fully understand the efforts acting on the hoppers, since there is great variability in the pressures caused by the stored product and by the geometry of the discharge nozzle. The objective of this work was to evaluate the normal pressures exerted by the storage of grain corn on hopper walls with 15°, 30°, 45° and 60° inclination to the vertical, in slender silos (ratio between diameter and height equal to 7.8 and 8.5). For this purpose, it was proposed the analysis of the structural behavior of the hoppers mentioned, installed in a pilot silo, whose project is based on the theoretical principle of the model of Pieper and Schütz (1980). The studies in these hoppers were conceived when subjected to static and dynamic loads (loading,

storage and unloading), in a silo with the body covered by smooth and corrugated metal sheets. The results of the efforts obtained in the tests with the use of pressure cells were presented through their trend curves, demonstrating the structural behavior of the hopper according to its geometry. Maximum values of normal pressures are observed close to the transition region, both in the static and dynamic situation, notably on the side opposite to the eccentricity. Near the discharge mouth, pressures were considerably reduced. The conformation of the silo walls also influenced the maximum normal pressure values in the hopper.

KEYWORDS: static and dynamic loads, hopper loads, slender silo.

INTRODUÇÃO:

A necessidade de ampliar a capacidade estática da rede armazenadora tornaram os estudos sobre silos bastante desafiadores para os pesquisadores, projetistas e construtores. Para a determinação das pressões exercidas pelos produtos armazenados sobre as paredes de silos, podem-se citar algumas normas internacionais: norma ISO 11697 (2012), a europeia EN 1991-4 (2006) e a australiana AS 3774 (1996). Entretanto, existem várias discordâncias no tratamento do assunto entre as referidas normas, como também é citado por diversos autores (CALIL (2007); PALMA (2005); MADRONA (2009) e DECKERS (2010)). O insuficiente conhecimento das pressões e do comportamento de fluxo dos produtos armazenados explica, ainda, o grande número de acidentes envolvendo silos, como ruínas, afundamentos, explosões, combustões, etc. Tanaka (2009) relata em seu trabalho que as estruturas de armazenamento devem ser robustas e confiáveis e, por isso, o cálculo deve priorizar segurança à economia. Portanto, devido à infinidade de possibilidades de geometrias de bocas de descarga de silos e dadas as importâncias econômica, científica e social relativas à questão, verifica-se a importância do conhecimento correto para determinação das ações e respectivas pressões que atuam nas tremonhas dos silos.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo das pressões nas diversas tremonhas excêntricas analisadas, com ângulos de inclinação de 15°, 30° e 45°, foi realizado em um silo piloto com paredes lisas e diâmetro interno de 70,6 cm e com paredes onduladas, cujo diâmetro interno é de 64,36 cm. O silo possui altura de 600 cm, com capacidade de armazenamento de 2,3 m³ para produto granular. Ele é subdividido em 12 anéis independentes e suspensos por 3 pilares metálicos, medindo 49,5 cm de altura cada anel, conforme Figuras 1-A, 1-B e 1-C.

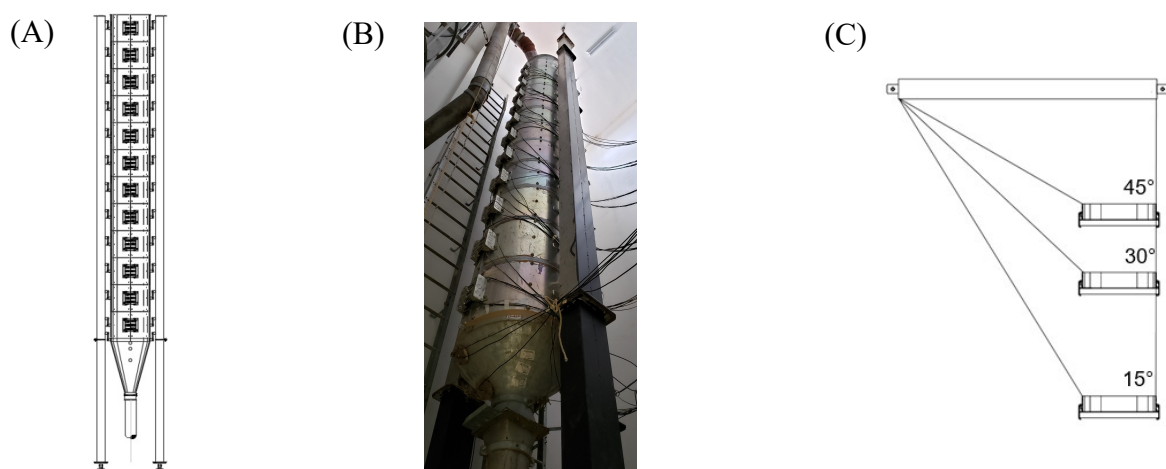
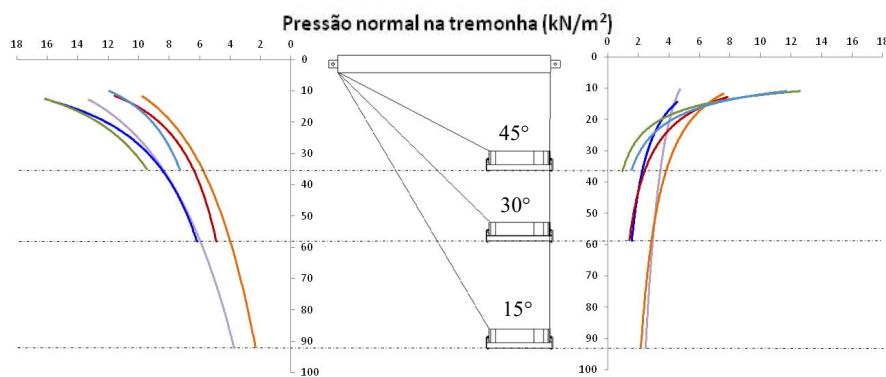


Figura 1- Vistas esquemáticas gerais do silo piloto (A e B) e vista frontal das geometrias das tremonhas utilizadas no estudo (C).

A altura de carregamento foi de 5,5m para todos os ensaios executados e o produto granular, o milho. Para verificar as pressões de enchimento e descarga nas tremonhas (sendo denominadas pressões estáticas e dinâmicas, respectivamente), foram utilizadas células de pressão do tipo diafragma instaladas ao longo da altura da estrutura, com capacidade nominal de 70 kPa e diâmetro de 53 mm. Realizaram-se quatro ensaios para cada tipo de parede considerada na pesquisa (lisa e ondulada) e as pressões verticais máximas foram registradas durante o carregamento e descarregamento do silo. Desses quatro ensaios, fizeram-se as médias dos valores máximos, considerando todos os sensores instalados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A partir dos resultados obtidos pelas células de pressão, traçaram-se as curvas de tendência para toda a altura das três geometrias de tremonhas excêntricas avaliadas, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3.

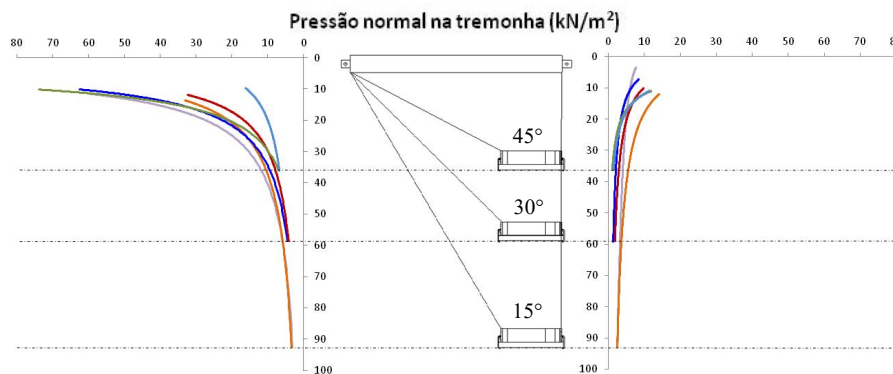


Eixo vertical: altura da tremonha (cm).

Legenda:

- $\alpha=15^\circ$ / parede lisa
- $\alpha=15^\circ$ / parede ondulada
- $\alpha=45^\circ$ / parede lisa
- $\alpha=45^\circ$ / parede ondulada
- $\alpha=30^\circ$ / parede lisa
- $\alpha=30^\circ$ / parede ondulada

Figura 2 - Pressões normais estáticas nas tremonhas excêntricas de 15°, 30° e 45°.



Eixo vertical: altura da tremonha (cm).

Legenda:

- $\alpha=15^\circ$ / parede lisa
- $\alpha=15^\circ$ / parede ondulada
- $\alpha=45^\circ$ / parede lisa
- $\alpha=45^\circ$ / parede ondulada
- $\alpha=30^\circ$ / parede lisa
- $\alpha=30^\circ$ / parede ondulada

Figura 3 - Pressões normais dinâmicas nas tremonhas excêntricas de 15°, 30° e 45°.

Nota-se a redução das pressões normais com a profundidade da tremonha, tanto estáticas quanto dinâmicas. Como é previsível, a assimetria da estrutura promoveu maiores pressões no lado inclinado da tremonha (oposto à excentricidade), notadamente na situação de descarregamento. Na descarga, as pressões normais foram significativamente inferiores no lado vertical da tremonha, se comparado ao lado oposto (inclinado), conforme evidenciado na

Figura 3. A influência da geometria da parede do corpo do silo foi primordial na obtenção dos esforços máximos. Durante o carregamento, as pressões máximas na região de transição, no lado oposto à excentricidade, foram superiores com a parede lisa. Na mesma condição, porém no lado oposto (próximo à excentricidade), o silo com paredes lisas apresentou menores pressões normais na tremonha do que com a parede ondulada. As pressões dinâmicas no lado vertical da tremonha, fora da região de transição, praticamente não são distintas quando se avalia a rugosidade da parede, pois as curvas se sobrepõem quando se afastam da transição. Por sua vez, na região diametralmente oposta, as pressões máximas foram obtidas com o silo de parede lisa. Guaita, Couto e Ayuga (2003) avaliaram, via método dos elementos finitos, a influência da excentricidade da boca de descarga de um silo através de suas pressões normais nas paredes verticais e tremonha. Concluíram que, à medida que a excentricidade da boca de descarga aumenta, a área plastificada na região de transição (causada pelas pressões normais nessa região) se concentra gradualmente no lado oposto ao de seu deslocamento, diminuindo no mesmo lado do deslocamento, tal como descrito nos resultados dos ensaios apresentados neste trabalho com grãos de milho. No entanto, para as tremonhas com 80% e 100% de excentricidade, a área plastificada que estava próxima à transição, no lado próximo ao deslocamento da tremonha, desaparece. Isso ocorre devido à ausência de transição entre a parede reta do silo e a parede da tremonha, que é reta para uma excentricidade de 100%. Diferentemente do que se observaram nos resultados experimentais com o silo piloto (Figuras 2 e 3), no trabalho dos supracitados autores não há pressão de pico nessa área da tremonha.

CONCLUSÕES: O experimento com o silo piloto demonstrou a influência da geometria da tremonha na quantificação das pressões normais nessa parte da estrutura de armazenamento. A rugosidade das paredes do corpo de silo também exerce considerável influência nos valores máximos das pressões normais, os quais ocorrem na região de transição.

REFERÊNCIAS:

- AUSTRALIAN STANDARD. AS 3774. Loads on bulk containers.** Sydney. AS 3774 Supplement 1 (1997). Loads on bulk containers – Commentary. Sydney, 1996.
- CALIL JR., C.; CHEUNG, A. B. **Silos: pressões, fluxo, recomendações para projeto e exemplos de cálculo.** São Carlos: EESC, 2007, 232 p.
- COUTO, A.; RUIZ, A.; AGUADO, P. J. Experimental study of the pressures exerted by wheat stored in slender cylindrical silos, varying the flow rate of material during discharge. Comparison with Eurocode 1 part 4. **Powder Technology**, v. 237, p. 450–467, 2013.
- EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARTIZATION. **Eurocode 1. EN 1991-4 Part 4: Actions on silos and tanks.** Brussels, 2006.
- GUAITA, M.; COUTO, A.; AYUGA, F. Numerical simulation of wall pressure during discharge of granular material from cylindrical silos with eccentric hoppers. **Biosystems Engineering**, London, v. 85, n. 1, p. 101-109, May 2003.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDART. **ISO 11697. Bases for design of structures: Loads due to bulk materials.** London, 2012.
- MADRONA, F. S., CALIL JÚNIOR, C. **Análise das pressões em silos esbeltos com descarga excêntrica.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 11, n. 49, p. 37-56, 2009.
- PALMA, G. (2005) **Pressões e fluxo em silos esbeltos ($H/D \geq 1,5$).** São Carlos. 109 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. USP. Orientador Prof. Titular Carlito Calil Júnior.
- PIEPER, K.; SCHÜTZ, M. **Bericht Über das Forschungsvorhaben - Norm-Mess-Silo für Schüttguteigenschaften.** Technische Universität Braunschweig - Lehrstuhl für Hochbaustatik, Deutschland. 1980.