

AValiação DAS PRESSões NORMAIS EM TREMONHA COM INCLINAÇÃO DE 30° INSTALADA EM UM SILO ESBELTO

WISNER COIMBRA DE PAULA¹, RÔMULO MARÇAL GANDIA², SIMONE MANCINI³, ESTÁCIO ANTUNES DE OLIVEIRA JÚNIOR⁴, LUIZ GUSTAVO DE CARVALHO CHERFÊN⁵, FRANCISCO CARLOS GOMES⁶

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

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

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

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

⁵Agricultural Engineer, UFLA, Agricultural engineering Department, luiz.cherfen@estudante.ufla.br

⁶PhD, UFLA, Agricultural engineering Department, fcgomes@ufla.br

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 com 30° de inclinação com a vertical, em silos esbeltos (relação entre o diâmetro e a altura igual a 7,8 e 8,5). Para tal, propôs-se a análise do comportamento estrutural da tremonha citada, instalada em um silo piloto, cujo projeto baseia-se no princípio teórico do modelo de Pieper e Schütz (1980). Os estudos nessa tremonha foram concebidos quando submetida a cargas estáticas e dinâmicas (carregamento, armazenamento e descarregamento), em um silo com o corpo revestido por chapas metálicas lisas e onduladas. Os resultados de pressões foram comparados com algumas normas estrangeiras de cálculo para silos esbeltos (EN 1991-4:2006 e AS 3774:1996). Observam-se valores máximos das pressões experimentais normais superiores aos calculados pelas normas para o descarregamento e inferiores para o carregamento. A conformação das paredes do silo também influenciou os valores máximos de pressão normal na tremonha.

PALAVRAS-CHAVE: Silo piloto, cargas estáticas e dinâmicas, normas estrangeiras de cálculo.

EVALUATION OF NORMAL PRESSURES IN HOPPER WITH 30° SLOPE INSTALLED IN A SLENDER SILO

ABSTRACT: Slender vertical silos are storage structures that still need studies to fully understand the efforts on hoppers, since there is great variability in the pressures caused by the stored product and the geometry of the discharge nozzle. The objective of this work is to evaluate the normal pressures exerted by the storage of grain corn on hopper walls with a 30° inclination to the vertical, in slender silos (ratio between diameter and height equal to 7,8 and 8,5). For this, it is proposed the analysis of the structural behavior of the hopper installed in a pilot silo, which project is based on the theoretical principle of the model by Pieper and Schütz (1980). The studies in this hopper 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 pressure results were compared with some foreign calculation standards for slender silos (EN 1991-4: 2006 and AS 3774:1996). Maximum

values of normal experimental pressures are observed above those calculated by the standards for the unloading and below for the loading. The conformation of the walls also influenced the maximum values of normal pressure.

KEYWORDS: pilot silo, static and dynamic loads, foreign standards of calculation.

INTRODUÇÃO: Palma (2005) afirma que a maioria dos silos existentes no mundo não apresentam condições ideais de operação, pois seus projetos são complexos e rodeados de incertezas, além de possuírem diversas variáveis que afetam seus comportamentos estruturais. O precário conhecimento das pressões e do comportamento de fluxo dos produtos armazenados explica, também, o grande número de acidentes envolvendo silos, como ruínas, afundamentos, explosões, combustões, etc. Diversos autores (CALIL (2007); PALMA (2005); SCARAMAL (2009) e DECKERS (2010)), citam que há divergências entre as normas estrangeiras destinadas a projeto de silos, enquanto no Brasil tal norma própria ainda é necessária. Tanaka (2009) relata em seu trabalho que as estruturas de armazenamento devem ser robustas e confiáveis e, por isso, o cálculo deve priorizar segurança a economia. Portanto, devido à infinidade de possibilidades de geometrias estruturais de tremonha 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. Por sua vez, as pressões atuantes são diretamente dependentes de propriedades físicas do produto armazenado, do corpo do silo e da tremonha, além de sua forma geométrica, padrão de fluxo, entre outros fatores.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo das pressões na tremonha foi realizado em um silo piloto com paredes lisas de diâmetro interno de 70,6 cm e com paredes onduladas de diâmetro interno 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. Para verificar as pressões de enchimento e descarga na tremonha com paredes de 30° de inclinação com a vertical foram utilizadas três células de pressão do tipo diafragma, com capacidade nominal de 70 kPa e diâmetro de 53 mm, conforme Figuras 1-A e 2-B.

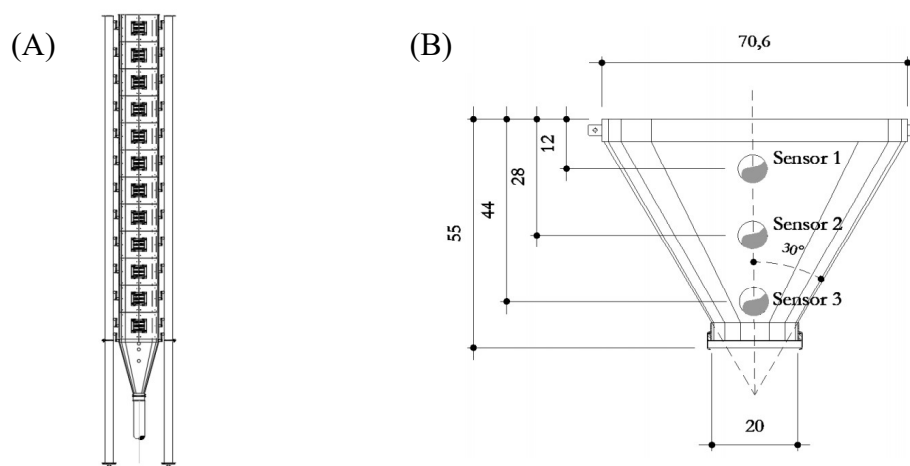


Figura 1- Vista esquemática geral do silo piloto (A) e vista frontal da tremonha (B).

A altura de carregamento foi de 5,5m para todos os ensaios executados. Como dados de entrada para o cálculo das pressões normais às tremonhas preconizadas em normas, foram

adotadas as propriedades físicas do milho ensaiado em uma máquina de cisalhamento de Jenike, sendo apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Propriedades físicas experimentais adotadas para o grão de milho.

Peso específico γ (kN.m ⁻³)		Ângulo de atrito interno ϕ_i (°)		Ângulo de atrito com a parede ϕ_w (°)		Efetivo ângulo de atrito interno ϕ_e (°)	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
7,6082	7,9782	23,0	38,0	10,63	18,18	35,0	48,0

RESULTADOS E DISCUSSÃO: De acordo com a Figura 2, a qual apresenta a variação das pressões normais às paredes da tremonha, observa-se, durante o carregamento, uma significativa discrepância entre os valores experimentais e os calculados conforme as normas para cargas estáticas, enquanto que, durante o descarregamento, os valores experimentais foram mais próximos dos normativos.

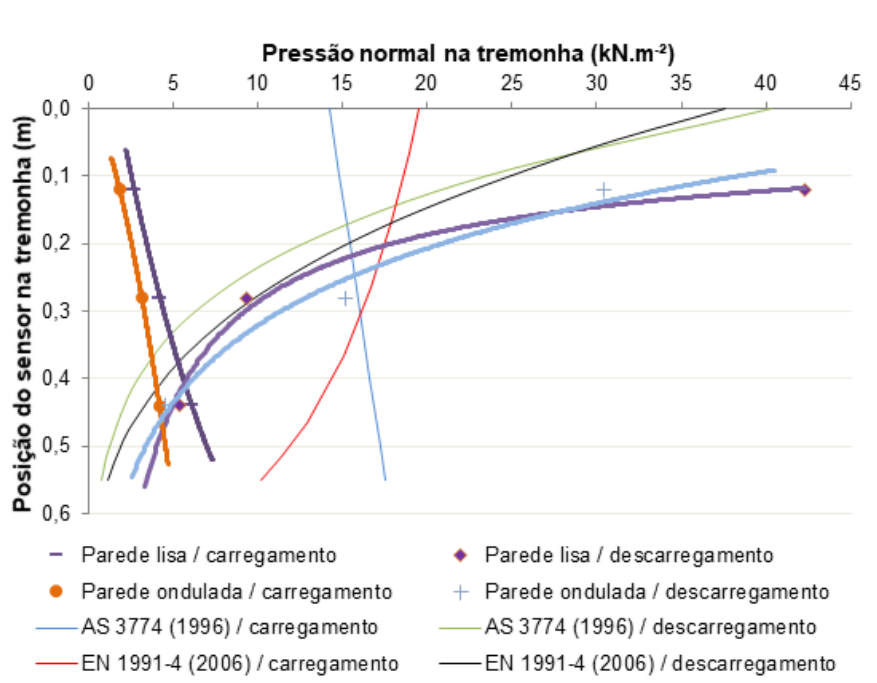


Figura 2 - Variação das pressões normais à tremonha (inclinação de 30° com a vertical).
Fonte: Autor (2021).

Esta diferença é notada nas pressões durante o carregamento (com valores experimentais inferiores aos das normas) e no descarregamento (com valores experimentais superiores às normas). Ao analisar a Figura 2, nota-se que no descarregamento a distribuição de pressões experimentais tendeu ao padrão daquelas definidas pelas normas, enquanto que para o carregamento as curvas de pressões experimentais se aproximam do comportamento preconizado pela norma AS3774:1996, embora com valores consideravelmente menores. Na situação de descarregamento, ocorrem consideráveis sobrepressões na tremonha, principalmente na região de transição entre a mesma e o corpo do silo. Tal constatação é consenso no estudo de silos com fluxo de massa e se mostrou coerente na análise com o silo piloto. Ressalta-se, além disso, a influência da rugosidade da parede ondulada do corpo do silo nas pressões normais atuantes na tremonha, uma vez que tal parede oferece maior resistência ao deslizamento de partículas de milho do que a parede lisa. Cheung (2007), também observou em seu trabalho, esse comportamento estrutural em um silo piloto quando

se avaliava a influência da geometria das chapas do corpo do silo. Conjuntamente com os resultados aqui apresentados e o trabalho de Nascimento (2008), pode-se concluir que a rugosidade da parede do silo exerce influência em função da relação altura/diâmetro na determinação do parâmetro K.

CONCLUSÕES: Os valores máximos das pressões experimentais normais à tremonha de 30° de inclinação foram superiores aos calculados pelas normas EN1991-4 e AS3774:1996 para o descarregamento, e inferiores para o carregamento do silo. O experimento com o silo piloto demonstrou, então, que pode haver situações em que o dimensionamento dado pelas normas subestima ou superestima as pressões normais atuantes em tremonhas. A conformação das paredes do corpo de silo também exerce influência nos valores máximos das pressões, 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.
- CHEUNG, A. B. (2007) **Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos.** Tese de doutorado. EESC/USP – São Carlos – SP. 305p.
- 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.
- 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.
- NASCIMENTO, F. C. (2008) **A relação entre as pressões horizontais e verticais em silos elevados: o parametro K.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Carlito Calil Junior.
- PALMA, G. (2005) **Pressões e fluxo em silos esbeltos (H/D >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.