



**ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA
CONSIDERANDO PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS**

**ANALYSIS OF HORIZONTAL PRESSURES IN A SMOOTH-WALL VERTICAL SILO
CONSIDERING FOREIGN NORMATIVE PARAMETERS**

Ariadne Soares Meira¹, Diego José Araújo Bandeira², Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima³, Keviane Pereira Aragão⁴, Patrício Gomes Leite⁵, Anúbes Pereira de Castro⁶, Karoline Carvalho Dornelas⁷, Eduardo Sérgio Soares Sousa⁸

e2111024

<https://doi.org/10.47820/recima21.v2i11.1024>

RESUMO

A elevada produção agrícola brasileira não dispõe de espaço de armazenamento suficiente, desta forma os silos verticais surgem como uma solução para este problema, a determinação da intensidade e distribuição das pressões durante carga e descarga em silos verticais apresenta dificuldades consideráveis, uma vez que se trata de um fenômeno complexo em que as pressões dependem. Sendo assim, o presente trabalho possui o objetivo de analisar as pressões horizontais em silo vertical e comparar os resultados com as normas estrangeiras. O experimento foi conduzido no Laboratório de Beneficiamento de Sementes, anexo ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas e no Laboratório de Construções Rurais e Ambientais na Universidade Federal de Campina Grande, empregando as equações apresentadas na norma BS EN 1991/4 (2006) para determinar a assíntota representativa da distribuição das pressões ao longo do corpo de um silo protótipo em aço inox com 1 mm de espessura de parede, apresentando por dimensões de 2,50 m de altura e 0,64 m de diâmetro, para armazenamento de grãos de milho. As propriedades de fluxo foram determinadas utilizando o Jenike Shear Cell. Obteve-se resultado de pressões horizontais experimentais inferiores aos valores normalizados, evidenciando assim uma majoração dos valores normalizados devido aos coeficientes de segurança impostos.

PALAVRAS-CHAVE: Curva de pressão. Carregamento. Descarregamento

ABSTRACT

The high agricultural production in Brazil does not have enough storage space, so the vertical silos appear as a solution to this problem, the determination of the intensity and distribution of pressures during loading and unloading in vertical silos, presents considerable difficulties, since it is a complex phenomenon on which pressures depend. Thus, this work aims to analyze the horizontal pressures in a vertical silo and compare the results with foreign standards. The experiment was conducted at the Seed Processing Laboratory, attached to the Agricultural Products Storage and Processing Laboratory and at the Rural Constructions and Environment Laboratory at the Federal University of Campina Grande, using the equations presented in the BS EN 1991/4 (2006) standard to determine the representative asymptote of the pressure distribution along the body of a prototype stainless steel silo with 1 mm wall thickness, with dimensions of 2.50 m in height and 0.64 m in diameter, for grain storage of corn. Flow properties were determined using the Jenike Shear Cell. Results of experimental horizontal pressures lower than the normalized values were obtained, thus showing an increase in the normalized values due to the imposed safety coefficients.

KEYWORDS: Pressure curve. Loading. Discharge

¹ Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande.

² Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande.

³ Doutoranda em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande.

⁴ Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande.

⁵ Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande.

⁶ Doutora em Saúde Pública pela Escola Nacional de Saúde Pública - ENSP/FIOCRUZ.

⁷ Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande.

⁸ Doutor em Ciências Sociais pela Universidade Federal da Paraíba.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS

Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

INTRODUÇÃO

A capacidade de armazenamento brasileira é limitada, os silos verticais surgem como alternativa para solução desse problema (MEIRA et al., 2019; BANDEIRA et al., 2020; BANDEIRA et al., 2021b).

Com relação as pressões que o produto armazenado exerce sobre a parede do silo, Janssen (1895) considerou a distribuição uniforme desta ao redor de toda a circunferência, sendo tal afirmativa amplamente adotada pelas normas de silo vigentes, sendo possível a simetria nas pressões em torno de todo o perímetro durante o carregamento e descarregamento do silo (GOODEY, 2017).

Os silos verticais são estruturas comumente utilizadas pelas indústrias, setor agrícola e mineral para armazenar e conservar a granel, produtos sólidos granulares ou pulverulento (LIU et al., 2014; CARRÍON, 2015; BANDEIRA et al., 2021a; DORNELAS et al., 2021). Os silos verticais são amplamente utilizados e possibilitam recursos de movimentação de carga e descarga mecanizada, como elevadores e correias transportadoras, máquinas de limpeza e secadores, sistemas de aeração e termometria (BARONI et al., 2017).

As normas estrangeiras tais como AS 3774 (1990) e BS EN 1991/4 (2006) fornecem equações para cálculo das pressões normais em um silo, durante carregamento e descarregamento sejam eles concêntrico ou excêntrico.

O objetivo principal de um projeto de silos é garantir que o produto armazenado descarregue em fluxo contínuo, assegurando ainda a estabilidade estrutural do silo que depende diretamente das pressões laterais que são exercidas pelo produto armazenado.

Wright (2017) alerta para o fato de que o tipo de carregamento afeta diretamente nas pressões exercidas por produtos granulares sobre as paredes do silo, havendo alterações nas pressões durante a transição do fluxo mássico podendo haver intermitências para o fluxo misto em algumas ocasiões.

Couto et al. (2013), estudando o comportamento das pressões exercidas pelo milho em um silo vertical, afirma que o tempo de consolidação não apresenta influência significativa entre as pressões no descarregamento, sendo o principal fator da alteração das pressões a variação no peso específico consolidado durante o tempo de consolidação.

O problema mais significativo em projeto de silos é a exata predição da distribuição de cargas no corpo do silo, com especial atenção para as pressões exercidas nas paredes em virtude do empuxo do produto armazenado (MADRONA, 2009; LOPES NETO et al., 2017; MEIRA et al. 2020; BANDEIRA et al., 2021c).

As pressões nas paredes do silo durante o carregamento e o armazenamento podem ser bem representadas por equações de pressão idealizadas por Janssen (1895), no entanto, segundo Yin (2015) e Fank (2015), não há consenso quanto à pressão no descarregamento devido ao tempo e as variações espaciais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS

Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

De acordo com estudos Ding (2014) e Fank et al. (2018), as pressões que ocorrem durante a descarga não são perfeitamente entendidas, levando-se em conta que a pressão no início da descarga é muito próxima da pressão no final da descarga. Também pode ser notada uma discrepância existente entre a pressão calculada e a medida experimentalmente na extremidade superior da tremonha.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo a determinação experimental das pressões ao longo do corpo do silo vertical esbelto comparadas aos resultados teóricos das normas AS 3774 (1990) e BS EN 1991/4 (2006).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Beneficiamento de Sementes, anexo ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas e no Laboratório de Construções Rurais e Ambientais na Universidade Federal de Campina Grande, Campus I – Campina Grande/PB. Os ensaios foram realizados entre os meses de outubro de 2018 e fevereiro de 2019.

O presente trabalho utilizou grãos de milho adquiridos na Conab regional, com teor de umidade médio de 12,5%, e peso específico esteve entre 6,9 e 7,9 kN.m^{-3} , apresentando uniformidade granulométrica, classificado como granular grosso, que apresenta fluxo livre, segundo classificação estipulada na norma AS 3774(1990).

O corpo do silo protótipo foi confeccionado em aço inox com 1 mm de espessura de parede, apresentando por dimensões de 2,50 m de altura e 0,64 m de diâmetro e volume de 0,8042 m^3 . A tremonha, também confeccionada em aço inox com 1 mm de espessura de parede, tem inclinação com a horizontal de aproximadamente 60°, com um volume aproximado de 0,0594 m^3 e orifício de descarga com diâmetro igual a 0,10 m, concêntrico. Assim, o conjunto corpo e tremonha do silo totalizam um volume armazenável de 0,8636 m^3 , onde, para o milho com um peso específico médio é de 7,5 kN.m^{-3} tem-se aproximadamente 700 kg de grãos de milho armazenado.

No corpo do silo foram realizados sete cortes em seções quadradas com dimensões de 0,098 x 0,098 m. Nestas seções foram instalados dispositivos compostos por pares de células de carga, espaçados conforme Figura 1, de maneira que possam seguir a assíntota de distribuição das pressões, existindo uma relação inversamente proporcional entre a altura do silo e as pressões.

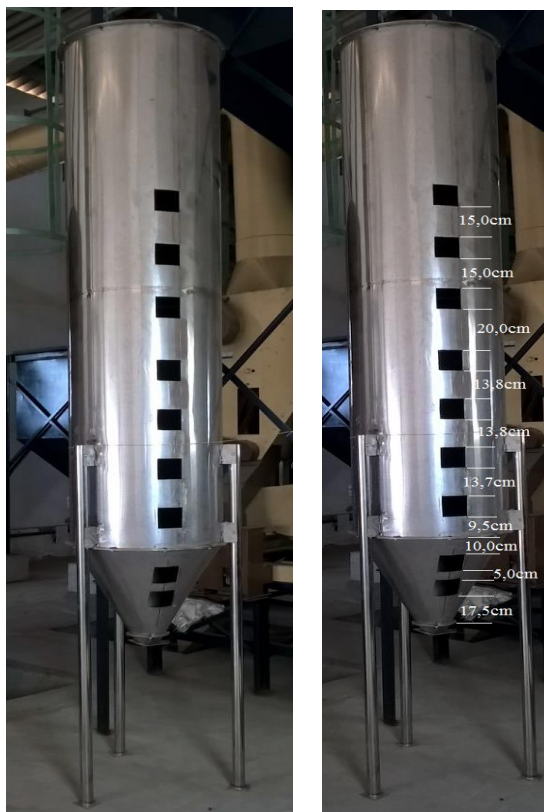


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS

Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

Figura 1. Vista dos cortes para inserção das células de carga no corpo do silo protótipo.



Fonte: Autores.

Foram utilizados dispositivos compostos por pares de células de carga modelo TAL223 em liga de alumínio, do fabricante HXASTLP *Hi Sensor*, com alimentação entre 5 e 12 Vdc, e sinal de saída de 1.0mV/V, conectadas ao sistema de aquisição de dados *Spider 8*, do fabricante HBM, configurados para operar em uma frequência de 5Hz coletando e armazenando cinco dados por segundo durante toda a execução dos ensaios. O *software* utilizado para análise dos dados foi o *Catman*, versão 4.5.

A disposição das células de carga para obtenção das forças exercidas pelo produto armazenado sobre as paredes do silo, seguiram a metodologia sugerida por Couto et al. (2012); Couto et al. (2013) e aprimorada por Wojcik et al. (2017).

As células foram fixadas na seção quadrada retirada do silo, por meio de um parafuso de bitola 4mm, arruela e porca, como disposto na Figura 2. Esta mesma célula foi fixada na outra extremidade a um suporte horizontal com furo passante soldado a uma haste vertical principal.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

Figura 2. Células de carga



Fonte: Autores.

Foram determinadas as propriedades de fluxo: peso específico consolidado (γ), ângulo de atrito interno (ϕ), efetivo ângulo de atrito interno (δ) e ângulo de atrito do produto com a parede (ϕ_w). Adotando a metodologia recomendada pela OPERATING INTRODUCTION FOR THE TRANSLATIONAL SHEAR TESTER (TSG – 70/140) utilizando o aparelho “Jenike Shear Cell” (Figura 3).

Figura 3. Jenike utilizado para determinação das propriedades de fluxo.



Fonte: Autores.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão, Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

Foram feitos dois ensaios: cisalhamento do produto e cisalhamento do produto com o material da parede (madeira, aço liso, aço rugoso, acrílico e alumínio), a fim de determinar o ângulo de atrito interno, efetivo ângulo de atrito interno, o ângulo de atrito com a parede e a coesão do produto.

Para realização do ensaio de cisalhamento, todas as cargas utilizadas no experimento estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Níveis de carga utilizados nos ensaios de cisalhamento.

Carga para Pré <i>Shear</i> (N)	Cargas <i>Shear</i> (N)	Carga para Atrito com a Parede (N)
70	50 – 35 - 20	
50	35 – 20 - 10	50; 40; 30; 20; 10; 4,389
35	20 – 10 – 07	

Fonte: Adaptado de Lopes Neto et al., (2009)

Utilizando um programa de computação gráfica (Auto CAD) com os resultados, foram traçados os gráficos de tensão normal e versus tensão de cisalhamento, para as cargas utilizadas, traçando círculos de Mohr.

As equações utilizadas para obtenção dos pontos que originaram a reta de coesão, para construção dos círculos de Mohr onde foram mensuradas as tensões normais de consolidação e inconfineda, estão representadas abaixo:

$$\gamma = \frac{W_r - (W_b + W_r + W_L)}{V_t} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\tau_s = \tau \frac{\bar{\tau}_p}{\tau_p} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\tau_p = \frac{S_p}{A} g \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\tau = \frac{S_s}{A} g \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\sigma_p = \left(\frac{H + W_p + W_r + W_L + \gamma W_r}{A} \right) g \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_1^n \tau_p}{n} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\sigma_s = \left(\frac{H + W_s + W_r + W_L + \rho_b V_r}{A} \right) g \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\bar{\sigma}_p = \frac{\sum_1^n \sigma_p}{n} \quad (\text{Eq. 8})$$



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

Sendo,

W_t	Peso total da célula com o produto	(Kg)
W_b	Peso da base do anel	(Kg)
W_r	Peso do anel de cisalhamento	(Kg)
W_L	Peso da tampa	(Kg)
V_t	Volume total da célula de cisalhamento	(cm ³)
V_r	Volume correspondente ao anel de cisalhamento	(cm ³)
A	Área da seção transversal do anel de cisalhamento	(m ²)
G	Aceleração da gravidade, 9,81 m/s ²	(m/s ²)
H	Peso do Pêndulo	(Kg)
S_p	Força de cisalhamento no pré-cisalhamento/estado de consolidação	(Kg)
S_s	Força de cisalhamento/início de consolidação	(Kg)
W_p	Peso no pendural durante o pré-cisalhamento	(Kg)
W_s	Peso no pendural durante o cisalhamento	(Kg)

Para a determinação do ângulo de atrito com a parede foram utilizadas as seguintes equações:

$$\sigma_w = \left(\frac{W_{wt} + W_w - W_m + H}{A} \right) g \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\tau_w = \frac{S_w}{A} g \quad (\text{Eq. 10}) \quad \varphi_w = \arctan \frac{\tau_w}{\sigma_w} \quad (\text{Eq. 11})$$

Sendo,

\varnothing_w	Ângulo de atrito com a parede	(°)
W_{wt}	Peso total da célula, inclusive anel, tampa e o produto	(Kg)
W_m	Peso da chapa do material da parede	(Kg)
W_w	Peso no pendural para o teste de atrito na parede	(Kg)
S_w	Força de cisalhamento	

As equações seguintes (1-6) foram utilizadas para a determinação das pressões no carregamento dos produtos armazenados.

$$Phc = Pho Yj \quad (\text{Eq.12})$$

$$Pwc = \mu Pho Yj \quad (\text{Eq. 13})$$



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

$$P_{vc} = \frac{P_{ho}}{K} Y_j \quad (\text{Eq. 14})$$

$$P_{ho} = \gamma K Z_o \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde:

$$Z_o = \frac{1}{K \mu} \frac{A}{U} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$Y_j = 1 - e^{\frac{-Z}{Z_o}} \quad (\text{Eq. 17})$$

Para a determinação das pressões no descarregamento foram utilizadas as seguintes equações:

$$P_{hd} = C_h P_{hc} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$P_{wd} = C_w P_{wc} \quad (\text{Eq. 19})$$

Para silos de paredes finas com uma relação $D_c/t > 200$ e classificados segundo a norma Eurocode 1 como de classes 2 e/ou 3 tem-se os coeficientes de sobrepressão impostos numericamente sobre os valores de:

$$C_h = 1,15 \quad (\text{Eq. 20})$$

$$C_w = 1,10 \quad (\text{Eq. 21})$$

Com D_c sendo o diâmetro interno ao silo e t a espessura da chapa que compõe a parede do silo.

Posteriormente, as pressões obtidas experimentalmente foram comparadas aos valores das pressões determinadas empiricamente através de equações contidas nas normas estrangeiras AS 3774 (1990) e BS EN 1991/4 (2006) e plotadas em gráficos para a comparação simultânea.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios realizados no “*Jenike Shear Cell*” as propriedades de fluxo (Tabela 2) foram determinadas com o intuito de serem utilizadas na determinação das pressões teóricas propostas pelas normas AS e BS.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão, Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

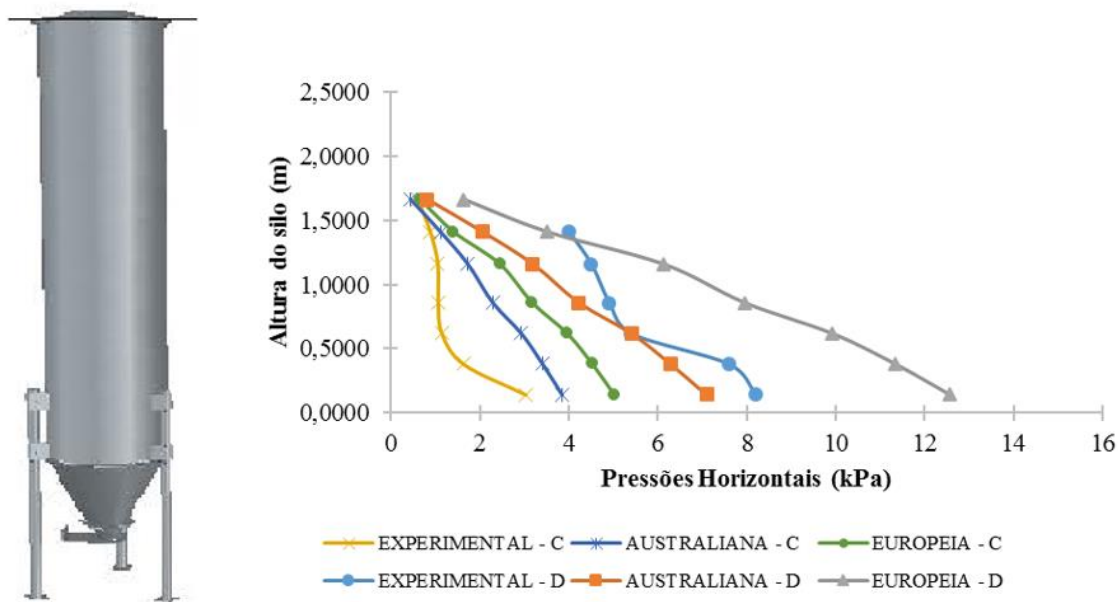
Tabela 2. Propriedades de fluxo de grão de milho.

Produto	γ		ϕ_i		ϕ_e		ϕ_w		C
	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	
Milho	6,50	7,2	11,8	20,0	18,0	22,2	7,6	8,0	362,44

Ao comparar individualmente as pressões de carregamento e descarregamento experimentais com as pressões teóricas desenvolvidas a partir da resolução das equações normalizadas podemos observar que, para a situação de carregamento, os valores calculados pelas normas AS 3774 e BS 1991/4 foram superiores aos experimentais.

Observa-se na Figura 4 o perfil das pressões para carregamento e descarregamento instantâneo, comparando os valores experimentais com resultados obtidos por resultados a partir das equações normalizadas.

Figura 4. Comparação de pressão experimentais versus normas estrangeiras com tempo de consolidação instantâneo.



C – Carregamento, D – Descarregamento.

Fonte: Autores.

Couto et al. (2013) encontraram variações similares com relação ao aumento dos valores obtidos através da norma BS EN 1991/4 quando comparados aos valores experimentais, sendo os valores normalizados até 150% superiores aos experimentais durante o descarregamento. No presente trabalho, esta diferença também foi de aproximadamente 150% entre os valores normalizados e experimentais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS

Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

A norma AS 3773 também majora seus valores de pressões no descarregamento, porém, apresentando aumento de até 80% entre os valores experimentais e normatizados, sendo possível assim, afirmar que, no uso de normas estrangeiras para determinação das pressões horizontais em um silo com características de parede lisa.

CONCLUSÃO

Conclui-se que, experimentalmente, os valores de pressões horizontais são inferiores aos valores normatizados, evidenciando assim uma majoração dos valores normatizados devido aos coeficientes de segurança impostos.

A norma europeia apresentou valores de pressões superiores aos da norma australiana, no carregamento e descarregamento, evidenciando a diferença de valores de coeficiente de segurança utilizados.

Sugere-se que as pressões exercidas pelo produto sobre o silo armazenador sejam analisadas em diferentes tempos de consolidação do material.

REFERÊNCIAS

- AS 3774. **Australian Standard**: loads on bulk containers. Sydney: Australian Standard, 1990. 62 p.
- BANDEIRA, D. J. A.; LEITE, P. G.; ARAGÃO, K. P.; OLIVEIRA, A. N. de; LIMA, M. J. N. da C.; MELO, D. F.; MEIRA, A. S.; CASTRO, A. P. “**Vertical silo pressure analysis with unusual building materials**”. *International Journal of Development Research*, v. 11, n. 10, p. 50875-50878, 2021c.
- BANDEIRA, D. J. A.; LIMA, M. J. N. da C.; OLIVEIRA, A. N. de; BRANCO, R. R. C.; NASCIMENTO, K. L. do; COSTA, R. F.; NASCIMENTO, J. J. da S. Physical and flow properties of common bean cultivars for the design of vertical silos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e208101220347, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20347>.
- BANDEIRA, D. J. A.; MEIRA, A. S.; LEITE, P. G.; OLIVEIRA, A. N. de; LIMA, M. J. N. da C.; ARAGÃO, K. P.; BRANCO, R. R. C.; CASTRO, A. P. “Analysis of pressures in a storage silo of bean cultivars with different types of steel”. **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 09, p. 51278-51281, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.37118/ijdr.23004.10.2021>.
- BANDEIRA, D. J. A.; NASCIMENTO, J. J. da S.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Flow analysis of poultry feed in slender vertical silos with inverted cone insert. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e63091110369, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10369>.
- BS EN 1991-4. **Eurocode 1**: actions on structures – part 4: silos and tanks. [S. l.]: The European Union, 2006. 112 p.
- CARRIÓN, A. A. **Grandes silos de almacenamiento de clínker**: análisis y priorización. 2015. 732f. Tese (Doutorado) - Universitat Politècnica de València. Valencia, 2015.
- COUTO, A.; RUIZ, 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 I: Description. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 85, p.164-173, 2012.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS PRESSÕES HORIZONTAIS EM SILO VERTICAL DE PAREDE LISA CONSIDERANDO
PARÂMETROS NORMATIVOS ESTRANGEIROS

Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, Karoline Carvalho Dornelas, Eduardo Sérgio Soares Sousa

COUTO, A.; RUIZ, A.; HERRÁEZ, L.; MORAN, J.; AGUADO, P. J. Measuring pressures in a slender cylindrical silo for storing maize. Filling, static state and discharge with different material flow rates and comparison with Eurocode 1 part 4. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 96, p. 40-56, 2013.

DING, S.; JI, Y.; SENBIN, Y.; ROTTER, J. M.; LI, Q. Measurements of pressure and frictional tractions along walls of a large-scale conical shallow hopper and comparison with Eurocode1991-4:2006. **Thin-Walled Structures**, v. 80, p. 231-238, 2014.

FANK, M. Z.; CHRIST, M. Z. D.; CARDOSO, D. L.; WILLRICH, F. L.; LORENZI, V. Coeficiente de transferência de carga nas fundações de silos verticais cilíndricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 9, p. 887-891, 2015.

FANK, M. Z.; NASCIMENTO, J. W. B.; CARDOSO, D. L.; MEIRA, A. S.; WILLRICH, F. L. Vertical pressures and compressive friction force in a large silo. Scientific Paper. **Agricultural Building and Environment Eng. agric.**, v. 38, n. 4, jul./ago. 2018.

GOODEY, R. J.; BROWN, C. J.; ROTTER, J. M. Rectangular steel silos: Finite element predictions of filling wall pressures. **Engineering Structures**, v. 132, p. 61-69, 2017.

JANSSEN, H. A. Versuche uber Getreidedruck in Silozellen. **Z. Ver. Dtsch. Ing.**, p. 1045–1049, 1895.

LIU, S. D.; ZHOU, Z. Y.; ZOU, R. P.; YU, D.; PINSON, A. B. Flow characteristics and discharge rate of ellipsoidal particles in a flat bottom hopper. **Powder technology**, v. 253, p. 70-79, 2014.

LOPES NETO, J. P.; MEIRA, A. S.; NASCIMENTO, J. W. B. Flow properties and pattern flow prediction of food industrial powders. Scientific Paper. **Agricultural Building and Environment. Eng. agric.**, v. 37, n. 04, 2017.

MADRONA, F. S.; CALIL JUNIOR, 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.

MEIRA, A. S.; MOTA, E. L.; BANDEIRA, D. J. A.; SILVA, V. R.; SILVA, L. A. Propriedades de fluxo e pressões para projeto de silo vertical armazenador de açúcares. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 104-110.

MEIRA, A. S.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOARES, H. R. Análise comparativa de pressões horizontais durante o carregamento em silos verticais metálicos. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 4, e1539, 2020.

WOJCIK, M.; SONDEJ, M.; REJOWSKI, K.; TEJCHMAN, J. Full-scale experiments on wheat flow in steel silo composed of corrugated walls and columns. **Powder Technology**, v. 311, p. 537-555, 2017.

WRIGHT, C. The Effect of Grain Shape on Side-Wall Pressure in Model Grain Silos. *In.*: **Proceedings of The National Conference: On Undergraduate Research (NCUR)**. University of Memphis – TN, 2017.

YIN, Wang; LU, Yong; OOI, Jin Y. A numerical study of wall pressure and granular flow in a flat-bottomed silo. **Powder Technology**, v. 282, p. 43-54, 2015.