

PRESSÕES EXERCIDAS PELOS GRÃOS EM CHAPAS LATERAIS DE SILO METÁLICO

CÉSAR AUGUSTO GAIOSO FILHO¹; WOLMER BROD PERES²

¹Engenharia Agrícola-UFPEL 1 – cesaraugustogfilho@hotmail.com¹

²Engenharia Agrícola-UFPEL – wolmerbp@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma garantia de superávit da balança comercial nacional. A colheita e os locais de armazenagem não são suficientes e não estão distribuídos adequadamente. Há graves problemas logísticos e os meios para escoamento da safra são precários. É necessário que o pequeno agricultor tenha em sua propriedade um sistema de armazenagem, evitando assim a saída do produto em época de safra, onde há um aumento significativo do frete, e, além disso, poderá esperar um preço melhor aumentando seu lucro.

A palavra silo origina do grego que significa lugar escuro, cavernoso (ARAUJO, 1997). Hoje em dia denomina-se como um grande depósito para armazenar e conservar produto sólido, a granel seja ele industrial ou agrícola. Seu projeto pode ter diversas formas, materiais e tamanhos dependendo da sua utilização e do processo que será requerido. No Brasil predominam os silos metálicos em chapa galvanizada, ondulada, calandrada e parafusada formando anéis. Freitas (2001) diz que o silo metálico é utilizado para o armazenamento de qualquer tipo de grão, tendo como vantagem a possibilidade de conseguir armazenar livre de ratos e pragas.

Porém, grandes partes dos silos mundiais não estão em condições adequadas de funcionamento, isso porque os projetos são complexos e incertos devido às diversas variáveis, afetando o comportamento estrutural. Uma boa explicação para essas falhas é o pouco conhecimento das pressões e do comportamento do material a ser armazenado. Contudo isso também explica a grande quantidade de acidentes e colapsos de silos.

Tendo em vista esses problemas por falta de analogia entre a teoria e prática foi elaborado esse exemplo de cálculos que nos permitem identificar como as forças provocadas pelo grão exercem pressões sobre as chapas laterais de silo metálico.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado na disciplina de Engenharia Agroindustrial II do curso de Engenharia Agrícola-UFPEL, levando em consideração: algumas características:

a) Silo comercial, mais utilizado na região, com capacidade de aproximadamente 44.000 sacos com: altura do chapéu: 4,17 m; altura do cilindro (pé direito): 17,37 m; altura total: 21,54 m; altura útil de cada anel: 0,91 m; área: 167,41m²; diâmetro: 14,60 m; número de anéis: 19; número de chapas por anel: 16.

b) Armazenamento de grãos de trigo, por ser segundo Shedd (1953), a pior hipótese para cálculo, devido ao elevado valor de seu peso específico, comparado com outros grãos e possuir as seguintes

características: ângulo de atrito grão-parede (ϕ''): $23,7^{\circ}$; ângulo de atrito interno (ϕ'): 25° ; ângulo de talude natural (α): 26° ; peso específico aparente (γ): 770 kgf/m^3 ; umidade inicial: 13%.

O dimensionamento foi realizado segundo Milman et al. (2014), adaptando a teoria de Reimbert (1979), para cálculo das pressões exercidas pelos grãos, sobre as paredes de um silo esbelto com esvaziamento normal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os parâmetros de cálculo:

a) Pressões horizontais

PRESSÃO HORIZONTAL
MÁXIMA

$$Ph_{\text{máx}} = \frac{\gamma x D}{4 \tan \phi''}$$

Onde: $ph_{\text{máx}}$ = pressão horizontal máxima (kgf/m^2)

ϕ'' = ângulo de atrito grão-parede

γ = peso específico do grão (kgf/m^3)

D = diâmetro do silo (m)

PRESSÃO UNITÁRIA
HORIZONTAL

$$P_z = Ph_{\text{máx}} \left\{ 1 - \left[\frac{Z}{X} + 1 \right]^2 \right\}$$

ÁREA

$$A = \frac{D}{4 \tan \phi'' \times \tan \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)} - \frac{h}{3}$$

Onde: p_z = Pressão horizontal a uma profundidade Z (kgf/m^2)

Z = ordenada de carga (m)

X = abscissa característica (m)

A = área (m^2)

ϕ'' = ângulo de atrito grão-parede.

ϕ' = ângulo de atrito interno

h = altura do cone de carga

<p>PRESSÃO VERTICAL UNITÁRIA</p> $P_{vz} = \gamma \left\{ Z \left[\frac{Z}{X} + 1 \right]^{-1} + \frac{h}{3} \right\}$

Onde: p_{vz} = profundidade vertical a uma profundidade Z (kgf/m²)

γ = peso específico do grão (kgf/m³)

h= altura do cone de carga

Z=ordenada de carga (m)

X=abscissa característica (m)

b) Pressões verticais

<p>PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA</p> $P_{h\text{máx}} = p_{vz\text{máx}}$
<p>FORÇA DE ATRITO MÁXIMA</p> $F_{atz} = \frac{\pi x D^2}{4} \left[(Hx\gamma) + \frac{hx\gamma}{3} - p_{v\text{máx}} \right]$

Onde: $F_{at\text{máx}}$ = força de atrito máxima (kgf)

$p_{v\text{máx}}$ = pressão vertical máxima (kgf/m²)

H=altura da carga nivelada, igual ao pé direto do silo (m)

D=diâmetro do silo (m)

γ =peso específico do grão (kgf/m³)

h=altura do cone de carga (m)

<p>FORÇA DE ATRITO À PROFUNDIDADE Z</p> $F_{atz} = \frac{\pi x D^2}{4} \left[(Zx\gamma) + \frac{hx\gamma}{3} - p_{vz} \right]$

Onde: F_{atz} = força de atrito à profundidade Z (kgf)

D=diâmetro do silo (m)

Z=ordenada de carga (m)

γ =peso específico do grão (kgf/m³)

h=altura do cone de carga (m)

p_{vz} = pressão vertical a uma profundidade Z (kgf/m²)

A partir destes parâmetros foram obtidos os resultados apresentados na planilha a seguir:

<u>Cota do anel</u>	<u>(m)</u>	<u>Pressão horizontal unitária</u>	<u>Kgf/m²</u>	<u>Pressão vertical unitária</u>	<u>Kgf/m²</u>	<u>Força de atrito (kgf)</u>
<u>Z19</u>	0,914	<u>PZ19</u>	6385,72	<u>Pvz19</u>	1739,81	297.000
<u>Z18</u>	1,828	<u>PZ18</u>	6335,39	<u>Pvz18</u>	2347,14	414.820
<u>Z17</u>	2,742	<u>PZ17</u>	6251,50	<u>Pvz17</u>	2900,57	532.640
<u>Z16</u>	3,656	<u>PZ16</u>	6134,06	<u>Pvz16</u>	3406,97	650.460
<u>Z15</u>	4,570	<u>PZ15</u>	5983,06	<u>Pvz15</u>	3872,08	768.280
<u>Z14</u>	5,484	<u>PZ14</u>	5798,51	<u>Pvz14</u>	4300,77	886.100
<u>Z13</u>	6,398	<u>PZ13</u>	5580,40	<u>Pvz13</u>	4697,14	1.003.921
<u>Z12</u>	7,312	<u>PZ12</u>	5328,74	<u>Pvz12</u>	5064,73	1.121.741
<u>Z11</u>	8,226	<u>PZ11</u>	5043,52	<u>Pvz11</u>	5406,55	1.239.561
<u>Z10</u>	9,140	<u>PZ10</u>	4724,74	<u>Pvz10</u>	5725,22	1.357.381
<u>Z9</u>	10,054	<u>PZ9</u>	4372,42	<u>Pvz9</u>	6023,02	1.475.202
<u>Z8</u>	10,968	<u>PZ8</u>	3986,53	<u>Pvz8</u>	6301,94	1.593.022
<u>Z7</u>	11,882	<u>PZ7</u>	3567,09	<u>Pvz7</u>	6563,71	1.710.842
<u>Z6</u>	12,796	<u>PZ6</u>	3114,10	<u>Pvz6</u>	6809,87	1.828.662
<u>Z5</u>	13,710	<u>PZ5</u>	2627,55	<u>Pvz5</u>	7041,77	1.946.482
<u>Z4</u>	14,624	<u>PZ4</u>	2107,45	<u>Pvz4</u>	7260,62	2.064.302
<u>Z3</u>	15,538	<u>PZ3</u>	1553,79	<u>Pvz3</u>	7467,48	2.182.123
<u>Z2</u>	16,452	<u>PZ2</u>	966,58	<u>Pvz2</u>	7663,33	2.299.943
<u>Z1</u>	17,366	<u>PZ1</u>	345,81	<u>Pvz1</u>	7849,01	2.417.763

4. CONCLUSÕES

Este trabalho visa a apresentação de metodologia de cálculo para avaliação das pressões exercidas pelos grãos em chapas laterais de silo metálico.

As pressões exercidas são inversamente proporcionais à altura do silo;

Os anéis inferiores estão sujeitos aos maiores esforços.

O dimensionamento exigirá maior resistência nas chapas laterais a medida que aumentam os esforços.

Mesmo com o aperfeiçoamento no cálculo das ações do grão armazenado em silos, outros parâmetros como: forma de carga e descarga, fatores climáticos, etc, também devem ser analisados para evitar colapsos nas estruturas armazenadoras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. C. (1997). Estudo teórico experimental de tremonhas piramidais para silos metálicos elevados. São Carlos. 318 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

FREITAS E.G. (2001). Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2001.

LUZ, C.A.S.; PERES, W.B.; LUZ, M.L.G.S.; GADOTTI, G.I. Armazenamento de grãos e sementes. Pelotas: Santa Cruz, 2015. 192p.

MILMAN, M.J.; PERES, W.B.; LUZ, C.A.S.; LUZ, M.L.G.S. Equipamentos para pré-processamento de grãos. Pelotas: Santa Cruz, 2014. 244p.

PERES, W.B. Manutenção da qualidade de grãos armazenados. 2. ed. Pelotas: UFPel, 2000. 54p.

PALMA, G. (2005). Pressões e fluxo em silos esbeltos ($h/d \geq 1,5$). São Carlos, 2005. Exame de Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

REIMBERT, M.; REIMBERT, A. Silos: teoria y práctica. Buenos Aires. Américallee. Buenos Aires. 1979. 473p

SHEDD, C.K. Some new data on resistance of grains to airflow. Agricultural Engineering, v.32, p.493-495, 195.

PROF. Dr. CARLITO CALIL JUNIOR- Silos Metálicos de Chapa Corrugada (DEZEMBRO 1989)
<http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1990ME_PauloEstevesJunior.pdf>

SCALABRIN, L.A. Dimensionamento de Silos Metálicos para Armazenagem de Grãos. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2008.