

**DIMENSIONAMENTO DE CHAPAS METÁLICAS EM SILO METÁLICO**

GÉLSON RODRIGO NEITZKE<sup>1</sup>; CÉSAR AUGUSTO GAIOSO FILHO<sup>2</sup>; WOLMER BROD PERES<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Engenharia Agrícola-UFPEL 1 – gelsoneitzke@hotmail.com 1

<sup>2</sup>Engenharia Agrícola-UFPEL 2 – cesaraugustogfilho@hotmail.com 2

<sup>3</sup>Engenharia Agrícola -UFPEL – wolmerbp@gmail.com

**1. INTRODUÇÃO**

O agronegócio nacional sempre se destacou no cenário mundial. Nos últimos anos, o Brasil se tornou um dos maiores produtores de grãos do mundo, porém, com o aumento dessa produção a logística e o armazenamento não foram satisfatórios para o escoamento dessa produção. Uma alternativa para evitar essas perdas é um maior investimento em estruturas armazenadoras, para que o grão se conserve por mais tempo, evitando assim o escoamento em época de safras, diminuindo o preço final ao produtor.

Uma maneira bastante eficiente para se armazenar tanto grãos como líquidos são estruturas na forma cilíndrica. Por ser de grande eficiência, as chapas metálicas que envolvem o corpo da estrutura, formando o costado estrutural, são finas comparada com o diâmetro (estruturas de paredes delgadas), e o problema que antevemos é qual o equilíbrio da estabilidade dessa estrutura.

Para o estudo dessa estabilidade temos que levar em consideração a relação significativa entre a espessura das chapas e o raio do cilindro, considerando ainda a relação com a altura e também como as forças aplicadas ao sistema estrutural. Eventuais problemas surgem devido a falta de analogia entre a teoria e a prática. O presente trabalho procurou estabelecer um exemplo de cálculos que nos permitem calcular as espessuras das chapas sem que o silo entre em colapso ocasionado pelas pressões exercidas pelos grãos.

**2. METODOLOGIA**

O trabalho foi realizado na disciplina de Engenharia Agroindustrial II do curso de Engenharia Agrícola-UFPEL, com base em cálculo das espessuras das chapas expressas em planilha levando em consideração as pressões que os grãos exercem sobre as chapas metálicas.

<b>Cota do anel</b>	<b>(m)</b>	<b>Pressão horizontal unitária</b>	<b>Kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>Pressão vertical unitária</b>	<b>Kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>Força de atrito (kgf)</b>
<b>Z19</b>	0,914	<b>PZ19</b>	6385,72	<b>Pvz19</b>	1739,81	297.000
<b>Z18</b>	1,828	<b>PZ18</b>	6335,39	<b>Pvz18</b>	2347,14	414.820
<b>Z17</b>	2,742	<b>PZ17</b>	6251,50	<b>Pvz17</b>	2900,57	532.640
<b>Z16</b>	3,656	<b>PZ16</b>	6134,06	<b>Pvz16</b>	3406,97	650.460
<b>Z15</b>	4,570	<b>PZ15</b>	5983,06	<b>Pvz15</b>	3872,08	768.280
<b>Z14</b>	5,484	<b>PZ14</b>	5798,51	<b>Pvz14</b>	4300,77	886.100
<b>Z13</b>	6,398	<b>PZ13</b>	5580,40	<b>Pvz13</b>	4697,14	1.003.921
<b>Z12</b>	7,312	<b>PZ12</b>	5328,74	<b>Pvz12</b>	5064,73	1.121.741
<b>Z11</b>	8,226	<b>PZ11</b>	5043,52	<b>Pvz11</b>	5406,55	1.239.561
<b>Z10</b>	9,140	<b>PZ10</b>	4724,74	<b>Pvz10</b>	5725,22	1.357.381

<b>Z9</b>	10,054	<b>PZ9</b>	4372,42	<b>Pvz9</b>	6023,02	1.475.202
<b>Z8</b>	10,968	<b>PZ8</b>	3986,53	<b>Pvz8</b>	6301,94	1.593.022
<b>Z7</b>	11,882	<b>PZ7</b>	3567,09	<b>Pvz7</b>	6563,71	1.710.842
<b>Z6</b>	12,796	<b>PZ6</b>	3114,10	<b>Pvz6</b>	6809,87	1.828.662
<b>Z5</b>	13,710	<b>PZ5</b>	2627,55	<b>Pvz5</b>	7041,77	1.946.482
<b>Z4</b>	14,624	<b>PZ4</b>	2107,45	<b>Pvz4</b>	7260,62	2.064.302
<b>Z3</b>	15,538	<b>PZ3</b>	1553,79	<b>Pvz3</b>	7467,48	2.182.123
<b>Z2</b>	16,452	<b>PZ2</b>	966,58	<b>Pvz2</b>	7663,33	2.299.943
<b>Z1</b>	17,366	<b>PZ1</b>	345,81	<b>Pvz1</b>	7849,01	2.417.763

Geralmente as chapas dos anéis do corpo do silo são dimensionadas apenas à tração, pois se considera a estrutura das chapas do silo como um vaso cilíndrico sob pressão. Porém no estudo de caso, dimensionamos a espessura das chapas também à força de cisalhamento, provocada pelos esforços dos parafusos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na tabela apresentada foram realizados os cálculos.

ESPESSURA CONTRA A  
TRAÇÃO

$$e_1 = \frac{p_z x D x l_u x \epsilon}{2[l_c - (N_f x D_f)] \sigma_{adm}}$$

Onde:

$e_1$ = espessura da chapa (cm)

$p_z$ =pressão horizontal à profundidade Z (kgf/m<sup>2</sup>)

D=Diâmetro do silo (m)

$l_u$ =largura útil da chapa (m)

$\epsilon$ =coeficiente de sobre pressão segundo Reimbert=2

$l_c$ =largura da chapa (cm)

$N_f$ = número de furos para os parafusos em uma linha

$D_f$ =diâmetro dos furos para os parafusos (cm)

$\sigma_{adm}$ = Tensão admissível à tração da chapa

$\sigma_{adm}$ =1400 kgf/cm<sup>2</sup> chapa galvanizada NBR (CSN)

$\sigma_{adm}$ = 1900 kgf/cm<sup>2</sup> chapa galvanizada ZAR 340(CSN)

Com auxílio de planilha eletrônica específica chegamos aos seguintes resultados:

Espessura da chapa por cota $e_1$	mm
$e_1$ -19	0,21
$e_1$ -18	0,38
$e_1$ -17	0,54
$e_1$ -16	0,67
$e_1$ -15	0,79
$e_1$ -14	0,90
$e_1$ -13	0,99

e <sub>1</sub> -12	1,08
e <sub>1</sub> -11	1,15
e <sub>1</sub> -10	1,22
e <sub>1</sub> -9	1,28
e <sub>1</sub> -8	1,33
e <sub>1</sub> -7	1,39
e <sub>1</sub> -6	1,43
e <sub>1</sub> -5	1,47
e <sub>1</sub> -4	1,51
e <sub>1</sub> -3	1,55
e <sub>1</sub> -2	1,58
e <sub>1</sub> -1	1,61

ESPESSURA CONTRA O  
CISALHALMENTO

$$e_2 = \frac{p_z x D x l_u x \epsilon}{2 x N_p x D_n x t_{adm}}$$

Onde:

e<sub>2</sub>= espessura da chapa (cm)

p<sub>z</sub>=pressão horizontal à profundidade Z (kgf/m<sup>2</sup>)

D=Diâmetro do silo (m)

l<sub>u</sub>=largura útil da chapa (m)

ε=coeficiente de sobre pressão segundo Reimbert=2

N<sub>p</sub>= número de parafusos total da costura vertical

D<sub>n</sub>=diâmetro do núcleo do parafuso (cm)

t<sub>adm</sub>=2800 kgf/cm<sup>2</sup> chapa galvanizada NBR (CSN)

t<sub>adm</sub>= 3450 kgf/cm<sup>2</sup> chapa galvanizada ZAR 340 (CSN)

Espessura da chapa por cota e <sub>2</sub>	mm
e <sub>2</sub> -19	0,67
e <sub>2</sub> -18	1,25
e <sub>2</sub> -17	1,76
e <sub>2</sub> -16	2,20
e <sub>2</sub> -15	2,59
e <sub>2</sub> -14	2,93
e <sub>2</sub> -13	3,24
e <sub>2</sub> -12	3,51
e <sub>2</sub> -11	3,75
e <sub>2</sub> -10	3,97
e <sub>2</sub> -9	4,17
e <sub>2</sub> -8	4,35
e <sub>2</sub> -7	4,52
e <sub>2</sub> -6	4,67
e <sub>2</sub> -5	4,80
e <sub>2</sub> -4	4,93

$e_2-3$	5,04
$e_2-2$	5,15
$e_2-1$	5,25

Na continuidade do dimensionamento optamos por eleger as espessuras das chapas para a pior condição, ou seja, a espessura ( $e_2$ ).

Com os valores obtidos selecionamos as espessuras das chapas levando em conta a disponibilidade das opções dos materiais com a padronização do mercado.

As chapas fabricadas no Brasil possuem espessuras: 0,80; 0,95; 1,25; 1,55; 1,95; 2,30; 2,70 e 3,00 mm.

As grandes dimensões do silo metálico em estudo, exigem espessuras não comerciais, obrigando ao calculista optar na utilização de chapas duplas para aproximar o valor dimensionado.

#### Quadro- Relação da espessura

Anel	Espessura em mm							
	0,80	0,95	1,25	1,55	1,95	2,30	2,70	3,00
1, 2, 3, 4, 5, 6						1		1
7, 8, 9, 10						2		
11, 12, 13					2			
14, 15, 16								1
17					1			
18				1				
19	1							

Para um melhor entendimento a quantidade de chapas a serem utilizadas no presente trabalho são:

16 chapas de 0,80 mm de espessura

16 chapas de 1,55 mm de espessura

112 chapas de 1,95 mm de espessura

224 chapas de 2,30 mm de espessura

144 chapas de 3,00 mm de espessura.

## 4. CONCLUSÕES

Concluimos que chapas mais próximas a base da estrutura, por receber uma maior pressão dos grãos devem ser mais espessas.

No mercado nacional as chapas disponíveis para essas estruturas são padronizadas e como nossos cálculos exigiram valores de espessura superiores as fornecidas, decidimos envolver o cilindro com duas chapas (mais usual) para que a ação dos grãos não interfira no cálculo estrutural.

Mesmo com a otimização no cálculo das espessuras das chapas laterais de um silo metálico, qualquer erro em seu cálculo e na sua construção ocasionarão danos irreparáveis.

Para o dimensionamento de estruturas esbeltas, como no caso em tela, recomendamos que sejam avaliadas outras variáveis como por exemplo, fatores climáticos, 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.

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 & A. (1979). Silos: Teoria e Practica. Editorial Américalee S.R.L. Buenos Aires.

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](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.