

AÇÕES DEVIDAS A CABOS DE TERMOMETRIA EM ESTRUTURAS DE COBERTURAS DE SILOS

Gisele Cristina Antunes Martins¹ & Carlito Calil Junior²

Resumo

Um dos acidentes comuns em estruturas de armazenamento é o colapso da estrutura de cobertura do silo. Na prática, observa-se que as ruínas estruturais nesse sistema são na maior parte devido ao desconhecimento das ações nestas estruturas. A presente pesquisa tem como finalidade o estudo teórico e experimental das ações devidas aos cabos de termometria em coberturas. Por meio das equações propostas em estudos anteriores, foi realizada uma análise destas ações, onde os valores obtidos experimentalmente foram utilizados para fins de validação das equações para o cálculo do esforço de tração. Este esforço foi determinado no cabo avaliando a influência do nível de preenchimento dos grãos e de descarregamento do silo, onde os valores obtidos mostram que o comprimento do cabo imerso em grãos influenciou significativamente e que no descarregamento aparecem os maiores esforços de tração, sendo as equações propostas pela norma IRAM 8015:1977 as mais adequadas para avaliação desses esforços.

Palavras - chave: Silo. Estrutura de Cobertura. Cabos de Termometria

LOADS DUE TEMPERATURE CABLES ON SILO'S ROOF STRUCTURES

Abstract

One of the common accidents in storage structures is the collapse of the silo's roof. In practice, it is observed that the structural problems in this system are mostly due to the lack of knowledge about the actions in these structures. This research aims the theoretical and experimental study of the actions due to temperature cables on roof structures. By using the equations proposed in previous studies, we carried out an analysis of these efforts, where the experimental values were used for validation of the equations for calculating the vertical loads. This effort was given out in evaluating the influence of filling level of the grains and discharged of the silo, , where the values show that the initial height of the grains significantly influence, and which appear in discharged the greatest efforts, and the equations proposed by Standard IRAM 8015:1977 more suitable for evaluation of these efforts.

Keywords: Silo. Roof Structure. Temperature Cables

1 INTRODUÇÃO

Os silos são estruturas muito usadas ao longo da história de armazenamento de todo tipo de produtos agrícolas e industriais. A partir do século XIX houve um aumento no número de silos existentes e um aumento em suas dimensões e, como consequência cresceu o número de acidentes resultando no aprofundamento dos estudos sobre o comportamento estrutural para reduzir perdas econômicas e humanas. (MARTINS, 2012)

Para projetar um silo com segurança, economia e eficiência, é necessário que o projetista conheça as máximas pressões exercidas pelo produto armazenado durante sua vida operacional tanto na parede, como em outras partes do silo, tremonha e cobertura. O atrito da massa granular com os

¹ Mestre em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, giselemartins@usp.br

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, calil@sc.usp.br

cabos de termometria suspensos em coberturas de silos provoca um esforço de tração, que segundo WICKSTROM (1980) causam falhas localizadas em alguns componentes da estrutura de cobertura.

Durante a estocagem a qualidade dos materiais granulares pode ser afetada por diferentes fatores como roedores, insetos e fungos, além do aumento da temperatura local dos grãos que é um indicativo de um problema de deterioração. Segundo SCHWAB et al.(1991) a inspeção diária da temperatura dos grãos estocados pode detectar a presença de um “hot spot”, ou seja, um local quente antes de qualquer grão ser seriamente deteriorado. O operador pode escolher arejar os grãos para esfriar o “hot spot” ou remover o grão do silo. Um dos métodos para controlar a qualidade da massa de grãos estocados no interior de um silo é o constante monitoramento da temperatura da massa de grãos com a utilização de cabos de termometria suspensos na cobertura.

Devido à localização dos cabos dentro da massa de grãos, uma força vertical é transmitida para a estrutura de cobertura nos pontos de fixação dos cabos, de acordo com THOMPSON (1987) essas forças podem não causar a ruína total na estrutura, no entanto, pode ocorrer um esforço localizado nos pontos de fixação dos cabos. A maioria dos silos horizontais e verticais tem vários cabos distribuídos ao longo da seção transversal do silo para a avaliação da temperatura dos grãos e posterior acionamento do sistema de aeração da unidade, até o presente momento as forças que esses cabos transmitem para a estrutura de cobertura não são muito bem compreendidas.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida com determinação teórica e experimental dos esforços devidos aos cabos de termometria suspensos no silo – piloto construído no LaMEM – SET – EESC –USP (Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo).

2.1 Análise teórica

Nesta parte do trabalho foi realizada a avaliação dos esforços devidos aos cabos de termometria por meio de equações propostas em trabalhos anteriores.

REIMBERT e REIMBERT (1971) propuseram que a força vertical total agindo em um cabo suspenso dentro de uma massa de produto granular pode ser determinada pela integração da força vertical tangencial sobre a superfície do cabo. A força vertical tangencial é função da pressão lateral existente dentro do silo e do coeficiente de atrito do cabo com o produto granular.

$$T = \gamma \cdot R \cdot d \cdot \frac{\tan \phi_{w,c}}{\tan \phi_w} \cdot \frac{z^2}{z + A} \quad (1)$$

Sendo o comprimento característico de um silo cilíndrico, dado por:

$$A = \frac{D}{4 \cdot \tan \phi_w \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right)} - \frac{D}{6} \cdot \tan \phi_i \quad (2)$$

ATKINSON et al. (1983) realizaram estudos sobre as forças em obstáculos suspensos em produto granular, baseado no modelo de Janssen e de Walker. As medições foram realizadas em silos esbeltos com diâmetros de 105 e 220 mm. Ambos com paredes de vidro e como base uma placa horizontal com um orifício de diâmetros de 10, 15 e 20 mm. A força de tração T no centro do cabo é obtida por:

$$T = \pi \cdot d \cdot \mu_{w,c} \cdot K \cdot \gamma \cdot A^2 \cdot \left(\frac{z}{A} + \exp^{\frac{-z}{A}} - 1 \right) \quad (3)$$

sendo,

$$A = \frac{D^2 - d^2}{4(d \cdot \mu_{w,c} \cdot K + D \cdot \mu_w \cdot K)} \quad (4)$$

A norma IRAM 8 015:1977, que deixou de vigorar em 1997, propõe para o cálculo do esforço de tração devido aos cabos de termometria duas equações que devem ser utilizadas de acordo com o valor obtido para o parâmetro L_1 .

$$L_1 = \frac{D}{2 \cdot \tan \phi_w \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right)} \quad (5)$$

Para $z \leq L_1$

$$T = 1,4 \cdot d \cdot \gamma \cdot \tan \phi_{w,c} \cdot \left[0,84 \cdot z^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) + 0,27 \cdot \frac{D \cdot z}{\tan \phi_w} \right] \quad (6)$$

Para $z \geq L_1$

$$T = \frac{1,4 \cdot 0,35 \cdot d \cdot \gamma \cdot \tan \phi_{w,c} \cdot D^2}{\tan^2 \phi_w \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right)} \cdot \left[\pi \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) \tan \phi_w \cdot \frac{z}{D} - 0,57 \right] \quad (7)$$

Uma estimativa da magnitude da força de atrito vertical do cabo de temperatura, proposta por SCHWAB et al. (1991) foi determinada pela integração do produto da pressão lateral dos grãos, área da superfície do cabo e o coeficiente de atrito dos grãos com o cabo sobre o comprimento imerso nos grãos. Portanto, a equação para força vertical de atrito do cabo de temperatura é:

$$T = F_{tc} \cdot \frac{\pi \cdot \mu_{w,c} \cdot D_{tc} \cdot R \cdot \gamma}{\mu_w} \left\{ z + \frac{R}{\mu_w \cdot K} \left[\exp \left(-\frac{K \cdot \mu_w \cdot z}{R} \right) - 1 \right] \right\} \quad (8)$$

$$D_{tc} = \sqrt{4 \cdot \frac{a}{\pi}} \quad (9)$$

Adotado o valor de 1,4 para o fator de multiplicação, F_{tc} , considerando o efeito dinâmico produzido durante a descarga.

Onde,

a: área do cabo

A: comprimento característico

d: diâmetro do cabo de termometria

D: diâmetro do silo

D_{tc} : diâmetro equivalente do cabo de termometria

F_{tc} : fator de multiplicação

H: altura do corpo do silo

R: raio hidráulico

T: esforço de tração

z: comprimento submerso do cabo em grãos

γ : peso específico

ϕ_w : ângulo de atrito do produto armazenado com a parede

$\phi_{w,c}$: ângulo de atrito entre o produto armazenado e o cabo de termometria

ϕ_r : ângulo de repouso do produto

ϕ_i : ângulo de atrito interno

ϕ_e : ângulo de atrito efetivo

K: relação entre a pressão horizontal e vertical

μ_w : coeficiente de atrito entre o produto e a parede do corpo do silo

$\mu_{w,c}$: coeficiente de atrito entre o produto e o cabo de termometria

2.2 Análise experimental

A parte experimental consistia em duas partes: estudo em laboratório para determinar as propriedades físicas dos grãos armazenados e ensaios no silo-piloto no LaMEM – SET – EESC –USP para determinação dos esforços de tração em cabos de termometria suspensos na cobertura.

Foi instalada uma célula de carga no cabo de termometria suspenso na cobertura do silo, Figura 1, para verificação da força resultante na parte superior do cabo, a aquisição de dados foi realizada com um medidor de deformação KYOWA, em intervalos de tempo pré-determinados.



Figura 1 – Célula de carga fixada ao cabo de termometria.

2.2.1 Propriedades físicas dos produtos armazenados

Para a realização dos ensaios foram escolhidos dois produtos: milho e soja. A escolha foi feita a partir da grande produção nacional e no interesse do comportamento destes produtos granulares. A soja é um produto granular que apresenta forma geométrica esférica e de fluxo livre e o milho

apresenta forma irregular e, apesar de ter um peso específico próximo ao da soja, possui propriedades físicas distintas das obtidas nos ensaios com a soja.

Os produtos são oriundos de campos de produção localizados nos estados de São Paulo e Goiás e foram cedidos pela empresa Di Solo Sementes, na cidade de São Carlos – SP. Foram retiradas de forma aleatória amostras das embalagens originais para determinação das propriedades físicas dos produtos.

Foi utilizado o aparelho de cisalhamento de translação, modelo TSG 70 -140, conhecido internacionalmente por “*Jenike Shear Cell*”, para determinação dos seguintes parâmetros.

- Peso específico (γ);
- Coesão (c);
- Ângulo de atrito interno (ϕ_i);
- Ângulo de atrito interno efetivo (ϕ_e);
- Ângulo de atrito entre o produto armazenado e o material da parede (ϕ_w);
- Ângulo de atrito entre o produto armazenado e o cabo ($\phi_{w,c}$);

2.2.2 Silo-piloto

O silo-piloto utilizado nesta pesquisa foi projetado com base no modelo confeccionado por PIEPER e SCHÜTZ (1980). A estação experimental consiste em um silo auxiliar de armazenamento, um elevador de canecas e um silo-piloto e está instalado na parte interna de um edifício de madeira, construído no LaMEM, Figura 2. O silo-piloto formado por 12 anéis independentes suspensos de modo estaticamente determinado, cada um com 50 cm de altura, com um diâmetro interno de 70,6 cm de parede interna lisa, com uma altura total de 600 cm, capacidade de armazenamento de 2,55 m³ para produto granular utilizando a tremonha assimétrica com $\alpha = 15^\circ$. Para o ensaio proposto o cabo de termometria foi suspenso no centro da cobertura do silo, Figura 3. Os cabos são fabricados especialmente para sistemas de termometria, são compostos de duas cordoalhas de aço especial, com alma de aço, sendo uma cordoalha de aço de torção para direita e outra para esquerda. Os cabos têm uma resistência à tração de ruptura de 15 ou 30 kN e permitem suportar a sollicitação de esforço lateral exercido pelos grãos quando ocorre o escoamento de grandes volumes de cereais (EMPRESA WIDITEC³, 2010) e os cabos são suspensos na cobertura do silo com o auxílio de um elemento de fixação. O cabo de termometria usado nessa pesquisa foi cedido pela empresa NBR Tec de Panambi, Rio Grande do Sul. O controle de nível do produto foi feito manualmente para avaliação de várias alturas de preenchimento, Figura 4.

Foram realizadas quatro operações de carregamento e descarregamento dos produtos granulares. Os ensaios foram conduzidos com as seguintes configurações:

- Relações de altura/diâmetro (H/D): 2,17 (3 anéis); 4,34 (6 anéis) e 7,08 (10 anéis);
- Dois tipos de produtos: soja e milho;
- Inclinação da tremonha: 15°;
- Taxa de fluxo na operação de carregamento: 14,4 m³/h;
- Taxa de fluxo na operação de descarga: 4,5 m³/h
- Tipo de parede: lisa.

³ Empresa Widitec. Comunicação por correio eletrônico. (2010).



Figura 2 – Visão geral do silo de armazenamento e do silo-piloto.

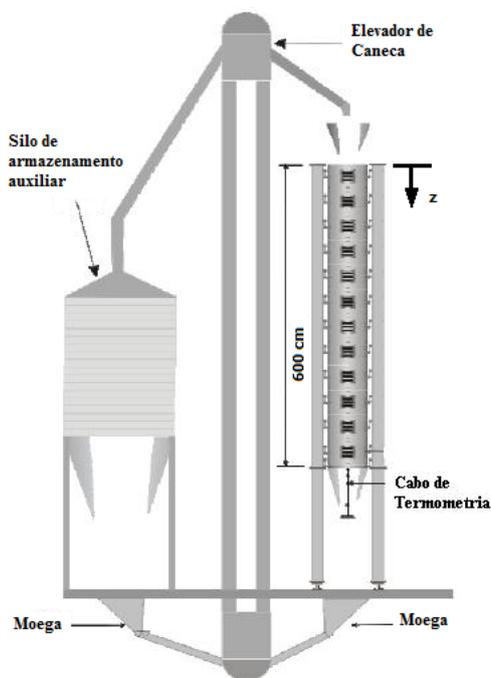


Figura 3 – Sistema de ensaios.

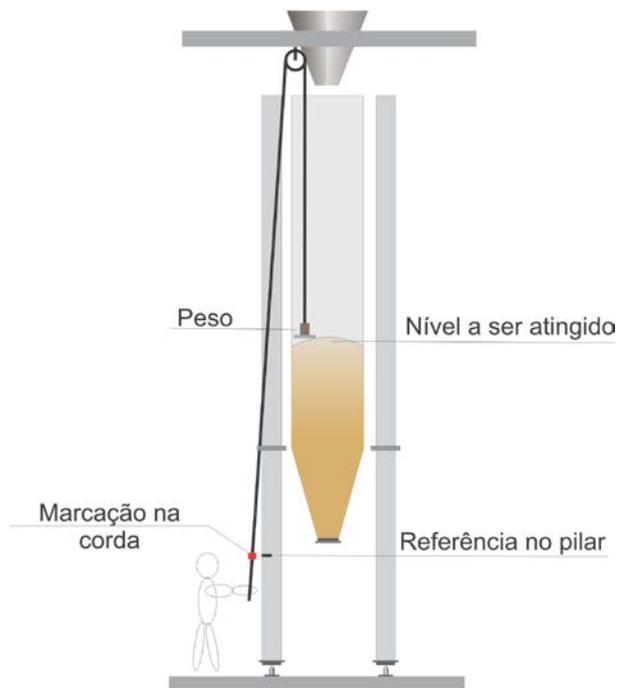


Figura 4 – Controle do nível utilizado nos ensaios.
Fonte: CHEUNG, 2007.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise experimental

3.1.1 Resultados dos esforços de tração no cabo de termometria suspenso no silo-piloto

A seguir são apresentados os resultados dos esforços obtidos para a soja e o milho, Figura 5 a Figura 10, são analisados os resultados dos esforços de tração obtidos experimentalmente em quatro ensaios de carregamento e descarregamento do silo-piloto variando a relação altura/diâmetro e com uma taxa de descarga média de 4,4 m³/h.

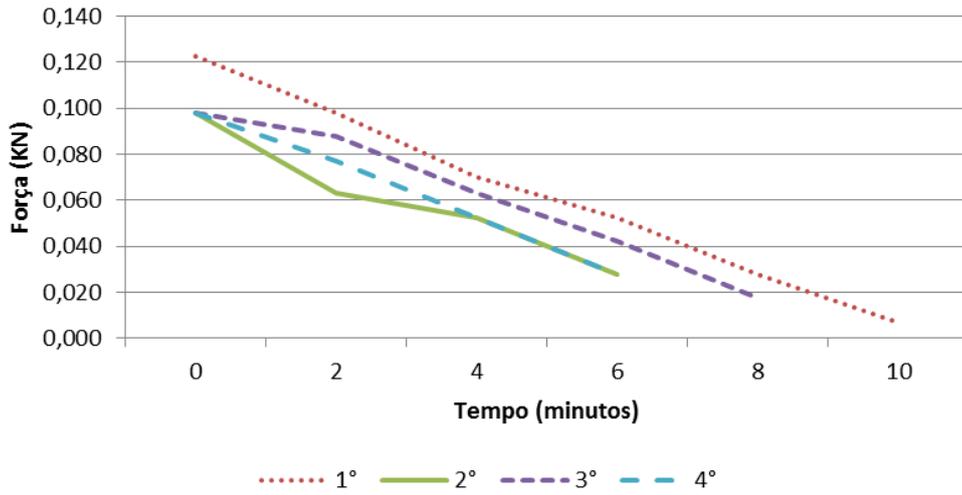


Figura 5 – Esforços de tração durante o descarregamento da soja para H/D de 3 anéis.

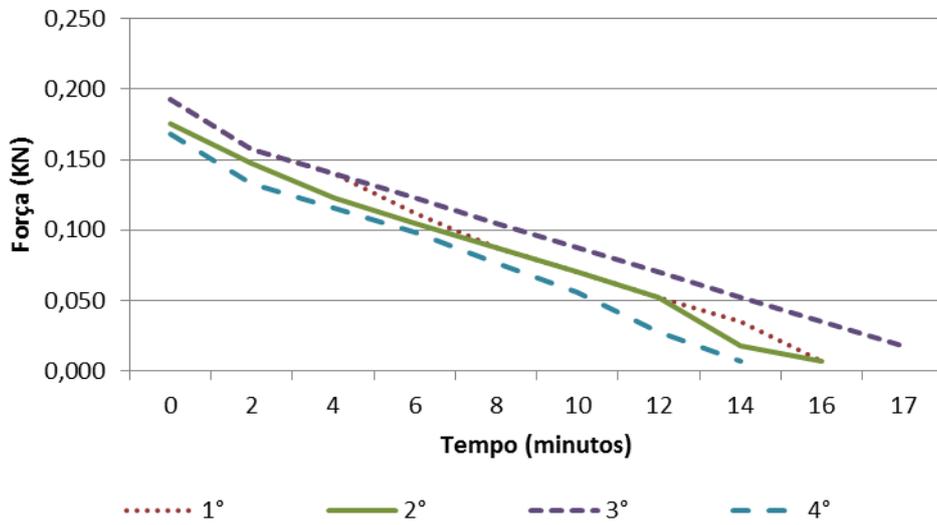


Figura 6 – Esforços de tração durante o descarregamento da soja para H/D de 6 anéis.

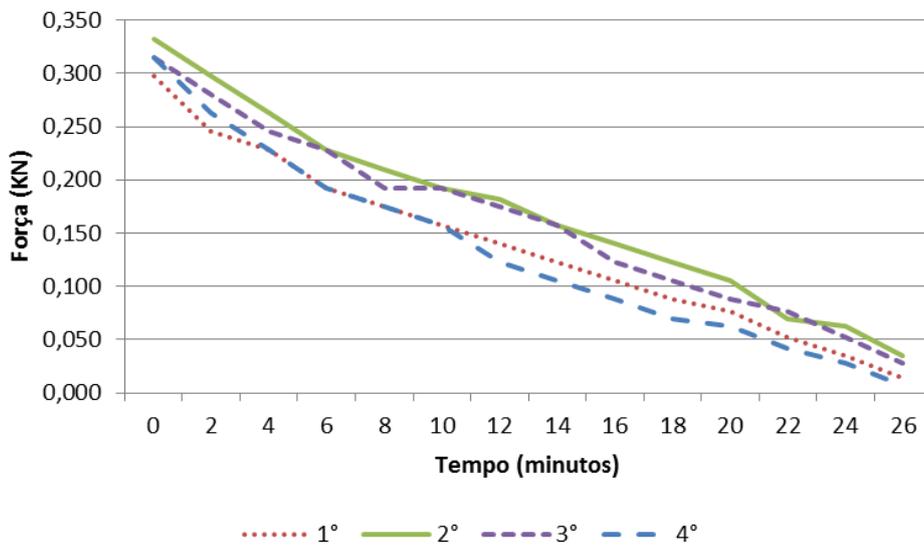


Figura 7 – Esforços de tração durante o descarregamento da soja para H/D de 10 anéis.

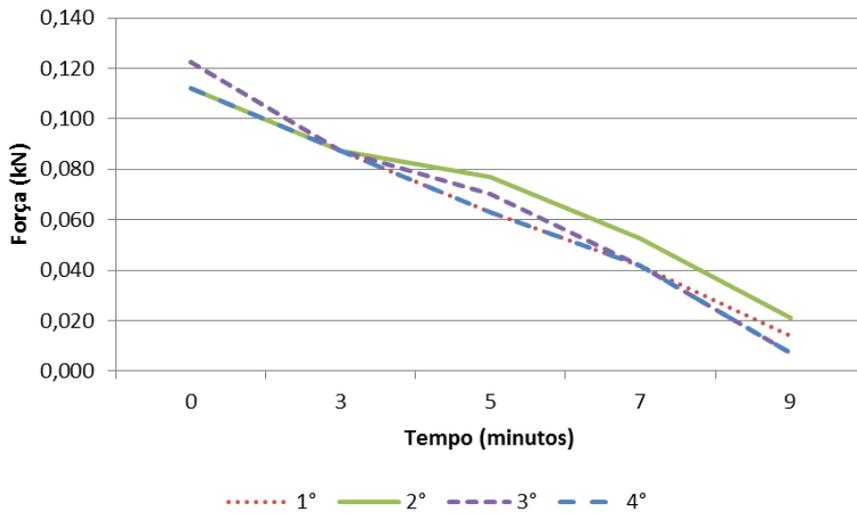


Figura 8 – Esforços de tração durante o descarregamento do milho para H/D de 3 anéis.

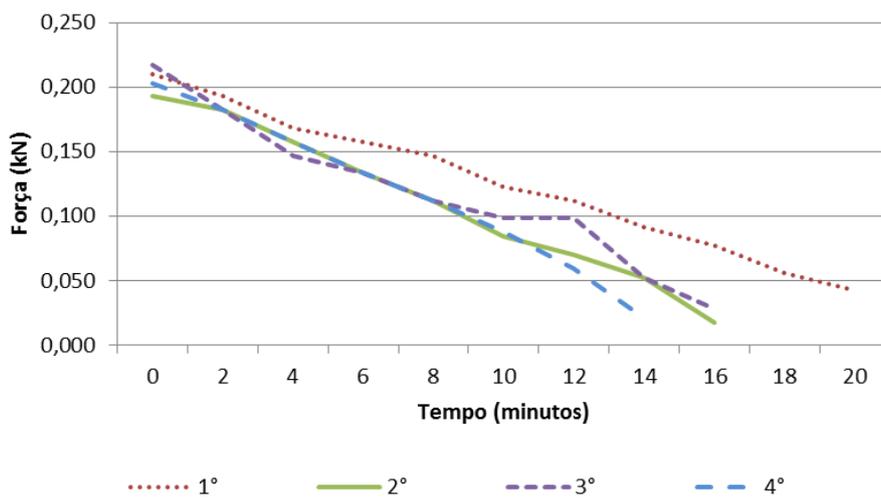


Figura 9 – Esforços de tração durante o descarregamento do milho para H/D de 6 anéis.

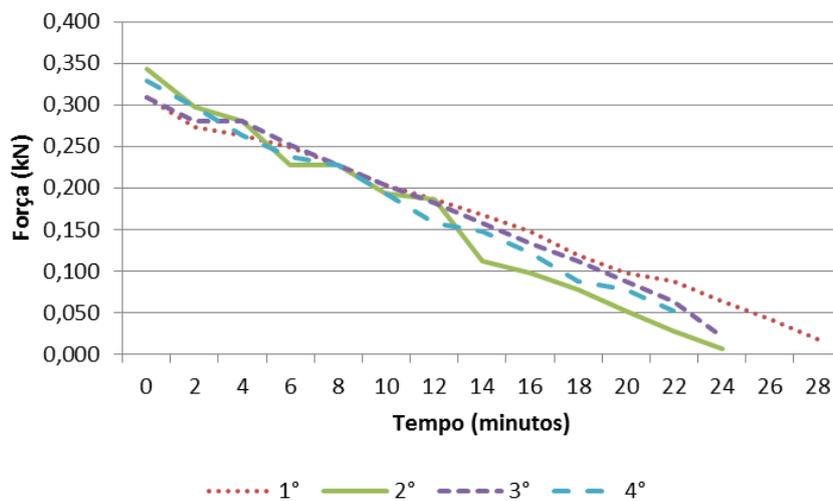


Figura 10 – Esforços de tração durante o descarregamento do milho para H/D de 10 anéis.

Durante a operação de carregamento o esforço máximo registrado foi 0,084 e 0,088 kN para o armazenamento de soja e milho, respectivamente. Após o carregamento, os grãos foram deixados em repouso para permitir que as condições de pressão dentro da massa de grãos estabilizassem, entretanto, para o silo-piloto não foi observado um aumento considerável da carga durante esse período. O esforço máximo obtido durante a operação de descarregamento para 3, 6, 10 anéis foram 0,123; 0,193 e 0,333 kN, respectivamente, para o silo-piloto carregado com soja e 0,123; 0,217 e 0,343 kN para o silo carregado com milho. A carga máxima foi observada no início do descarregamento e o comprimento do cabo imerso nos grãos influenciou significativamente nos esforços de tração nos cabos de termometria, como pode ser observado na Figura 11.

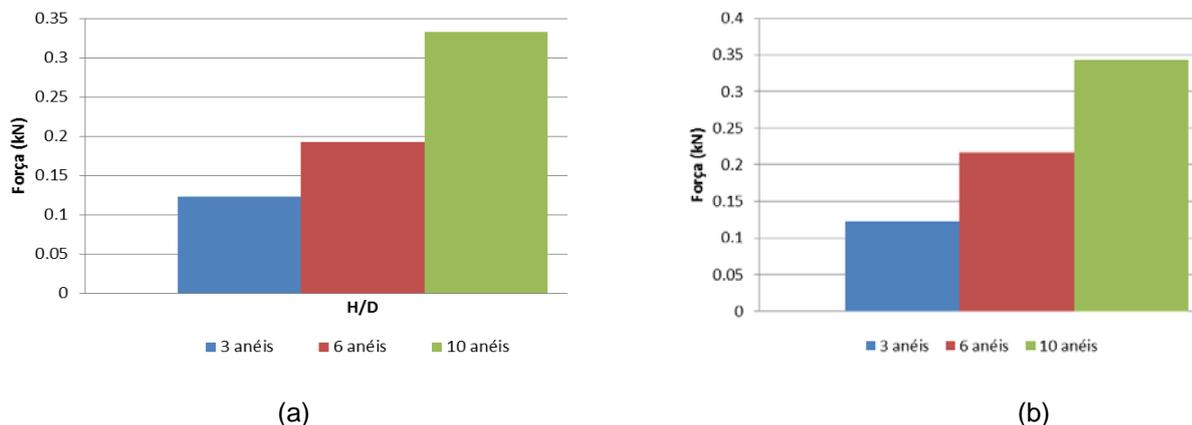


Figura 11 – Influência da relação H/D para o silo-piloto (a) soja e (b) milho.

3.1.2 Resultados das propriedades físicas

Os valores obtidos por meio dos ensaios de cisalhamento direto de Jenike das amostras de soja e milho são apresentados na Tabela 1 e foram utilizados para a análise teórica dos esforços no cabo de termometria.

Tabela 1 – Valores de propriedades físicas utilizados em análise teórica

		Inferior	Médio	Superior
Peso Específico γ (kg/m ³)	Soja	637,17	645,70	654,22
	Milho	705,37	715,32	730,95
Âng. de atrito interno ϕ_i (°)	Soja	29,50	39,85	44,20
	Milho	19,70	31,55	40,40
Âng. de atrito interno efetivo - ϕ_e (°)	Soja	38,30	42,00	44,20
	Milho	26,50	32,35	40,40
Âng. de atrito com a parede lisa - ϕ_w (°)	Soja	18,32	18,63	18,82
	Milho	8,91	10,06	11,44
Âng. de atrito c/ o cabo $\phi_{w,c}$ (°)	Soja	9,23	9,77	10,48
	Milho	7,21	8,15	9,13
Coesão - c (KN/m ²)	Soja	0,00	0,42	1,65
	Milho	0,00	0,22	1,14

3.2 Análise teórica

Foi realizada a avaliação dos esforços devidos aos cabos de termometria durante a operação de descarregamento por meio de equações propostas em trabalhos anteriores. Apresenta-se na Tabela 2 até a Tabela 4 os dados de propriedades geométricas referentes ao silo-piloto e ao cabo de termometria.

Tabela 2 – Dimensões do silo-piloto com tremonha

D (m)	Altura do corpo (m)	Altura da tremonha (m)	Inclinação da tremonha (°)
0,706	6	1	15

Tabela 3 – Relação altura/ diâmetro do silo-piloto

	H/D	z (m)
3 anéis	2,17	2,5
6 anéis	4,34	4
10 anéis	7,08	6

Tabela 4 – Dimensões do cabo de termometria

	Diâmetro (m)	Diâmetro equivalente (m)	Comprimento (m)	Perímetro (m)
Formato Oval	0,02	0,0134	8	0,0974
	0,009			

De acordo com PALMA (2005) o silo-piloto é classificado como silo esbelto, pois possui relação entre altura e o diâmetro, H/D, maior do que 1,5. Multiplicando os valores obtidos nas expressões pelo valor da aceleração da gravidade, obtém-se, T, expresso em newton (N), adota-se como valor da aceleração da gravidade $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ para conversão das unidades no SI (Sistema Internacional de Unidades).

- REIMBERT e REIMBERT (1971)

A Tabela 5 apresenta os valores dos esforços de tração no cabo de termometria por meio da equação proposta por REIMBERT e REIMBERT (1971).

Tabela 5 – Esforços de tração nos cabos de termometria segundo REIMBERT e REIMBERT (1971)

	A	SOJA		
		3 anéis	6 anéis	10 anéis
Inferior	1,501	0,058	0,108	0,179
Médio	2,293	0,051	0,099	0,170
Superior	2,788	0,049	0,097	0,169
MILHO				
Inferior	2,228	0,089	0,174	0,296
Médio	3,107	0,076	0,153	0,268
Superior	3,986	0,064	0,134	0,241

Nota: Valores em kN

- ATKINSON et al. (1983)

A Tabela 6 apresenta os valores dos esforços de tração no cabo de termometria por meio da equação proposta por ATKINSON et al. (1983)

Tabela 6 – Esforços de tração nos cabos de termometria segundo ATKINSON et al. (1983)

	SOJA			
	A	3 anéis	6 anéis	10 anéis
Inferior	1,347	0,093	0,186	0,319
Médio	1,488	0,100	0,202	0,351
Superior	1,650	0,106	0,219	0,385
MILHO				
Inferior	1,833	0,117	0,244	0,436
Médio	1,924	0,122	0,257	0,461
Superior	2,271	0,133	0,286	0,526

Nota: Valores em kN

- Norma Argentina IRAM 8 015:1977

A Tabela 7 apresenta os valores dos esforços de tração no cabo de termometria por meio da equação proposta pela norma Argentina IRAM 8 015: 1997.

Tabela 7 – Esforços de tração nos cabos de termometria segundo a norma IRAM 8 015:1977

	SOJA			
	L₁	3 anéis	6 anéis	10 anéis
Inferior	3,135	0,086	0,193	0,402
Médio	4,782	0,080	0,163	0,334
Superior	5,805	0,080	0,151	0,307
MILHO				
Inferior	4,541	0,111	0,235	0,470
Médio	6,359	0,106	0,194	0,384
Superior	8,173	0,103	0,164	0,322

Nota: Valores em kN

- SCHWAB et al. (1991)

A Tabela 8 apresenta os valores dos esforços de tração no cabo de termometria por meio da equação proposta por SCHWAB et al. (1991).

Tabela 8 – Esforços de tração nos cabos de termometria segundo SCHWAB et al. (1991)

	SOJA		
	3 anéis	6 anéis	10 anéis
Inferior	0,046	0,087	0,144
Médio	0,045	0,086	0,143
Superior	0,043	0,084	0,141
MILHO			
Inferior	0,087	0,174	0,298
Médio	0,077	0,154	0,265
Superior	0,064	0,132	0,232

Nota: Valores em kN

3.3 Análise Experimental x Análise Teórica

A Tabela 9 e a Tabela 10 apresentam os valores dos esforços de tração experimental e teórico para uma análise comparativa.

Tabela 9 – Comparação dos esforços de tração experimental e teórico no silo-piloto em kN para a Soja

		Experimental	Teórico			
			REIMBERT	NORMA	SCHWAB	ATKINSON
3 anéis	Inferior	0,098	0,051	0,080	0,043	0,093
	Médio	0,102	0,049	0,083	0,045	0,100
	Superior	0,123	0,058	0,086	0,046	0,106
6 anéis	Inferior	0,168	0,097	0,151	0,084	0,256
	Médio	0,184	0,099	0,163	0,086	0,267
	Superior	0,193	0,108	0,193	0,087	0,278
10 anéis	Inferior	0,298	0,169	0,307	0,141	0,476
	Médio	0,306	0,170	0,334	0,143	0,499
	Superior	0,333	0,179	0,402	0,144	0,523

Tabela 10 – Comparação dos esforços de tração experimental e teórico no silo-piloto em kN para o Milho

		Experimental	Teórico			
			REIMBERT	NORMA	SCHWAB	ATKINSON
3 anéis	Inferior	0,112	0,064	0,103	0,064	0,117
	Médio	0,116	0,076	0,106	0,077	0,122
	Superior	0,123	0,090	0,111	0,087	0,133
6 anéis	Inferior	0,193	0,134	0,164	0,132	0,244
	Médio	0,207	0,153	0,194	0,154	0,257
	Superior	0,217	0,174	0,235	0,174	0,286
10 anéis	Inferior	0,308	0,241	0,322	0,232	0,436
	Médio	0,319	0,268	0,384	0,265	0,461
	Superior	0,343	0,296	0,470	0,298	0,526

Com base nos resultados observa-se que a equação proposta por ATKINSON et al. (1983) fornece uma estimativa mais adequada para a determinação da magnitude da força vertical no cabo de termometria comparada com os valores obtidos pelas demais expressões propostas para o silo carregado até o terceiro anel, porém para os outros níveis de preenchimento a equação proposta pela norma IRAM 8 015: 1977 fornece valores mais próximos dos valores obtidos experimentalmente. Nas figuras seguintes, Figura 12 e Figura 13, é possível visualizar a representação da análise comparativa dos resultados para os valores médios dos esforços de tração.

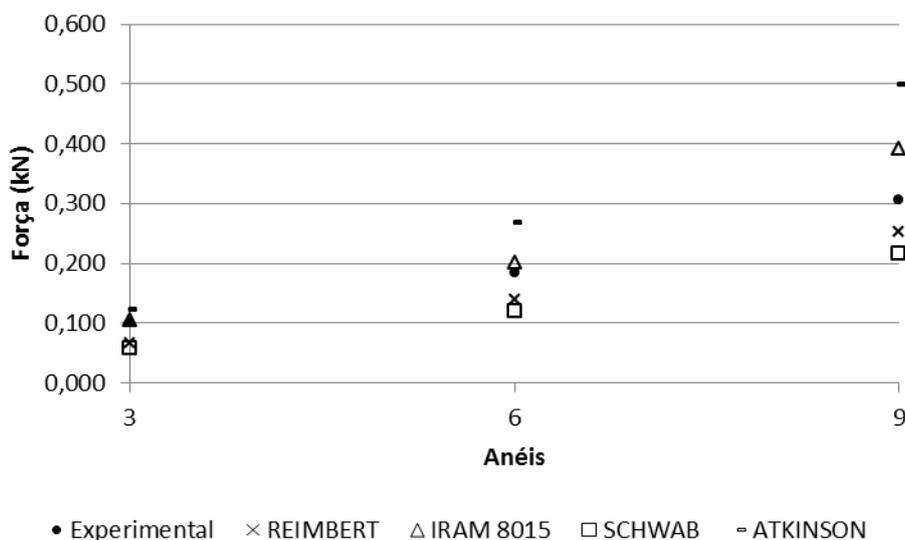


Figura 12 – Valor médio do esforço de tração obtido experimentalmente e por meio de equações para a soja.

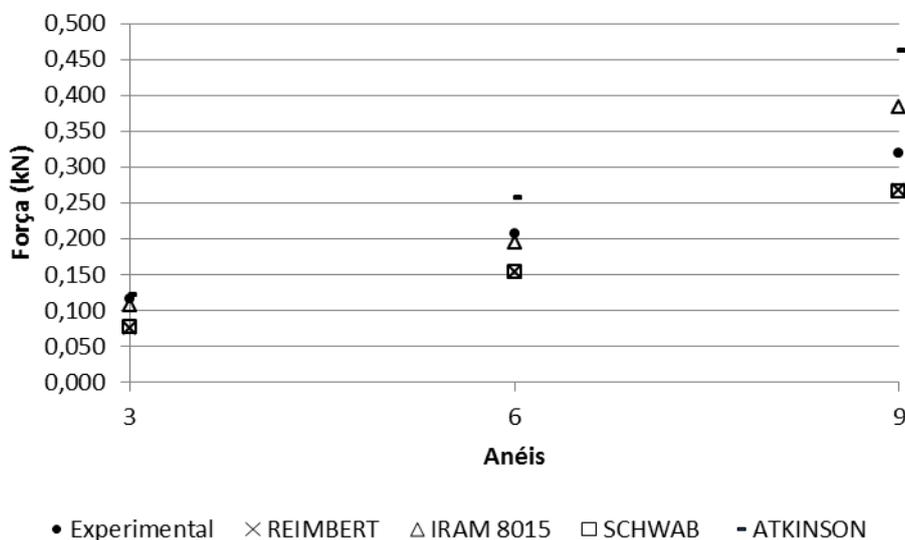


Figura 13 – Valor médio do esforço de tração obtido experimentalmente e por meio de equações para o milho.

4 CONCLUSÕES

O estudo teórico e experimental dos esforços de tração no cabo de termometria suspenso no centro de um silo-piloto foi analisado com a influência do comprimento do cabo imerso nos grãos, para esta finalidade realizou-se os carregamentos em três alturas de preenchimento. Observou-se o esforço máximo registrado no início da operação de descarregamento e a influência significativa do comprimento do cabo imerso nos grãos.

Com base no estudo realizado recomenda-se o cálculo do esforço de tração exercido pelos cabos a estrutura de cobertura por meio das equações propostas pela norma IRAM 8 015:1977.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa de estudo e as empresas Kepler Weber, DiSolo sementes e NBRTec.

6 REFERÊNCIAS

ATKINSON, T.D; BUTCHER, J.C; IZARD, M.J.; NEDDERMAN, R.M. **The forces on obstacles suspended in flowing granular materials**. Chem. Eng. Sci. 1983.

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES. **IRAM 8 015: Silos aéreos metálicos para almacenamiento de granos: cilindros y desarmables**. Argentina, 1997.

MARTINS, G.C.A. **Estudo teórico e experimental de esforços devidos a cabos de termometria fixados em estruturas de coberturas de silos cilíndricos para armazenamento de grãos**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Carlos, 2012. 84 p. Orientador Prof. Titular Carlito Calil Junior.

PALMA, G. **Pressões e fluxo em silos esbeltos ($H/D \geq 1.5$)**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Carlos, 2005. 109 p. Orientador Prof. Titular Carlito Calil Junior.

PIEPER, K.; SCHÜTZ, M. **Bericht Über das Forschungsvorhaben – Norm-Mess-Silo für Schüttguteigenschaften. Technische Universität Braunschweig** – Lehrstuhl für Hochbaustatik. Deutschland. 1980. 109p.

REIMBERT, M; REIMBERT, A. **Silos: Théorie et Pratique**. 5.ed. Paris: Éditions Eyrolles, 1971.

SCHWAB, C.V.; CURTIS, R. A.; THOMPSON, S.A.; ROSS, I.J. **Vertical loading of temperature cables**. Transactions of the ASAE 34(1), 1991. 269-274p.

THOMPSON, S. A. **Vertical loads on cables in a model grain bin**. Transactions of the ASAE 30 (2), 1987. 485-491p.

TRAHAIR, N.S. **Criteria of Failure. In: Design of steel bins for the storage of bulk solids**. University of Sydney. School of civil and mining Engineering. ISBN 0-86758-174-3. Edited by J. M. Rotter. Sydney: 1985.

WICKSTROM, L. **Loads applied to grain bin roofs**. ASAE Paper No. 80-4505. St Joseph. MI: ASAE, 1980.