

PRESSÕES MÁXIMAS NA LATERAL E NO FUNDO DOS SILOS VERTICAIS COM RELAÇÃO ÀS OPERAÇÕES DE CARGA-DESCARGA ^{1/}

Fernando da Costa Baêta ^{2/}
Tetuo Hara ^{2/}
Gilberto C. Sedyama ^{2/}
Ricardo M. Della Lucia ^{3/}
Eduardo J. M. del Peloso ^{2/}

1. INTRODUÇÃO

A construção de silos graneleiros tem sido estudada por diversos autores desde 1882. São raras as instalações armazenadoras de produtos granulares e pulverulentos que não tenham tido algum problema de formação de abóbodas, de escoamento ou estrutural, entre outros.

A carência de informações técnicas para a construção dos silos tem sido causa de fissuras e deformações e até mesmo rompimentos em diversas instalações. As pressões laterais e as pressões sobre o fundo são alguns dos fatores que causam esses acidentes. A determinação dessas pressões por fórmulas clássicas, como as de Janssen, não tem sido satisfatória, pois são deduzidas para pressões de massa de grãos estática. Na descarga, em decorrência da movimentação da massa de grãos, podem ocorrer sobrepressões, que, em muitos casos, chegam a ser o dobro das pressões de carga (2, 4, 8), que, por sua vez, normalmente, são maiores que as

^{2/} Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do grau de «Magister Scientiae».

Recebido para publicação em 18-12-80.

^{2/} Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Departamento de Engenharia Florestal da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

pressões exercidas pela massa de grãos estática.

Caughey *et alii*, citados por CATALAN (8), registraram pressões laterais de aproximadamente 300% da pressão estática, em certa fase de seu ensaio, numa maquete de concreto armado, com 152 cm de altura e 45 cm de diâmetro interno, porém não fizeram maiores comentários.

A variação de pressão, em consequência da movimentação da massa de trigo, acentua-se tanto mais quanto maior for a excentricidade da abertura de saída do silo (7). Esses aumentos levam à multiplicação da pressão estática por coeficientes que chegam a alcançar o valor máximo de 2,4.

Kovtom e Platonov, citados por CATALAN (8), estudando silos cilíndricos de descarga central, chegaram a uma relação máxima de 2,32, para as laterais, e de 1,28, para o fundo, quando compararam as pressões obtidas na descarga com as obtidas pelas fórmulas de Janssen. Esses autores observaram que:

1 — As pressões laterais determinadas tinham caráter intermitente e grande amplitude de vibração nas paredes, a qual diminuiu gradualmente até o centro da célula;

2 — Na descarga, apareceram dois tipos de escoamento: escoamento maciço (em que toda a massa se põe em movimento), com significativos aumentos nas pressões laterais, e escoamento tabular (em que somente se põe em movimento a região central da massa ensilada), sem aumentos significativos nas pressões laterais;

3 — As pressões laterais calculadas com as equações de Janssen e Reimbert são válidas para materiais granulares em repouso ou para o escoamento tubular.

Segundo Zakrzewski, citado por CATALAN (8), o coeficiente de atrito grão-parede e a relação pressão lateral/pressão sobre o fundo passam a variar com o rompimento do equilíbrio estático, no início da descarga; combinados, podem produzir aumentos significativos nas pressões laterais.

Em ensaios realizados em Château-London, França, utilizando silos de seção quadrada com descarga central e o mesmo tipo de grão, REIMBERT (9) encontrou coeficientes de sobrepressão máxima de 1,76, no primeiro ensaio, e de 2,33, no segundo, e atribuiu a discrepância dos dados a diferenças no carregamento.

Jenike e Johanson, citados por CATALAN (8), fizeram as seguintes considerações:

1 — Na carga, a massa de grãos contrai-se verticalmente, deslizando ao longo das paredes, desenvolvendo uma força de atrito que depende da pressão naquele ponto e do ângulo de atrito grão-parede;

2 — Na descarga, a massa de grãos contrai-se lateralmente e expande-se verticalmente, deslizando ao longo das paredes, ocorrendo novamente a presença da força de atrito;

3 — As ondas de sobrepressão ocorrem quando a massa passa do primeiro para o segundo estágio;

4 — As sobrepressões, porém, são medidas com dificuldade, porque atuam numa faixa de parede muito estreita;

5 — No escoamento tubular, a onda de sobrepressão atua sobre o material que permanece imóvel em volta da parede. Esse material a amortece de tal modo, que um extensômetro colocado na parede do silo não detectará sobrepressões.

Segundo observação de Lenksner, citado por CATALAN (8), no estudo das características do escoamento de areia em maquete de silos (Figura 1), se for interrompida a descarga na posição *d* e se o silo for carregado novamente, não se formará o conduto de esvaziamento ao iniciar a descarga e toda a massa terá escoamento uniforme (escoamento maciço).

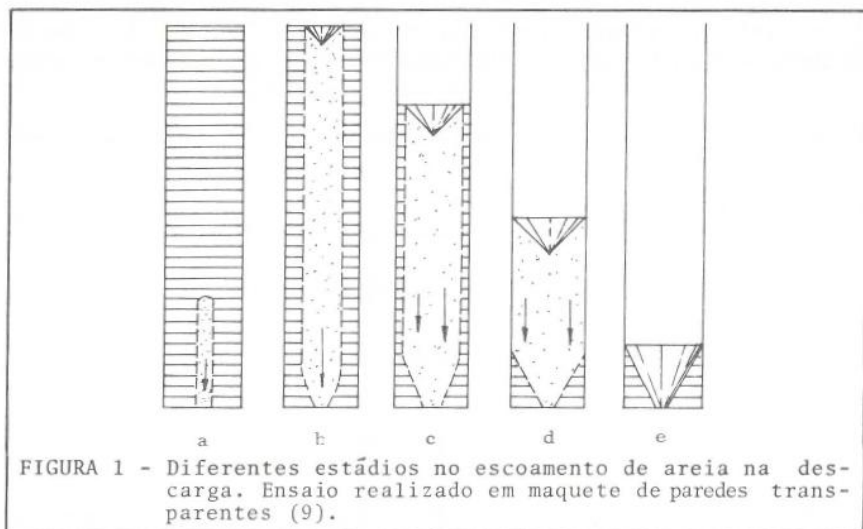


FIGURA 1 - Diferentes estádios no escoamento de areia na descarga. Ensaio realizado em maquete de paredes transparentes (9).

McCABE e SMITH (3) citam que:

1 — A densidade de materiais granulares pode variar, dependendo da compactação: é mínima quando o material granular está solto e tende para máxima quando ele sofre vibração e/ou compressão.

2 — A força de atrito nas paredes tende a sustentar parte da massa granular, reduzindo a pressão exercida sobre o fundo do depósito.

Este trabalho, realizado num protótipo de silo vertical, cilíndrico, com sistema de descarga central, teve os seguintes objetivos:

1 — Avaliar as pressões máximas na lateral e no fundo, durante as operações de carga-descarga;

2 — Determinar a distribuição das pressões máximas na lateral;

3 — Analisar a influência das operações de carga-descarga nos valores máximos de pressão na lateral e no fundo.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O estudo foi realizado no Setor de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Para determinar as pressões exercidas pela massa de grãos armazenada nas paredes e no fundo do silo, construiu-se um protótipo, montou-se um sistema com extensômetros elétricos e utilizou-se milho no teste.

2.1. Protótipo

O protótipo construído teve forma cilíndrica e fundo cônico, com:

1 — Diâmetro interno = 0,60 m;

2 — Altura do cilindro = 2,50 m;

3 — Inclinação do fundo cônico, em relação à horizontal = 60°;

4 — Diâmetro da abertura de saída = 0,125 m.

Seu dimensionamento teve como base:

1 — Raio hidráulico médio (área/perímetro) da seção horizontal inferior a dois metros e relação altura do silo/raio hidráulico superior a 15, segundo Lumbroso, citado por CATALAN (8).

2 — Esbeltez do silo (altura do silo/raio hidráulico) superior a 3,5 (10).

As paredes laterais foram confeccionadas com tábuas de pinho de 2,5 cm de espessura, colocadas no sentido longitudinal do cilindro e fixadas externamente por anéis, espaçados de 50 cm, como se verifica na Figura 2.

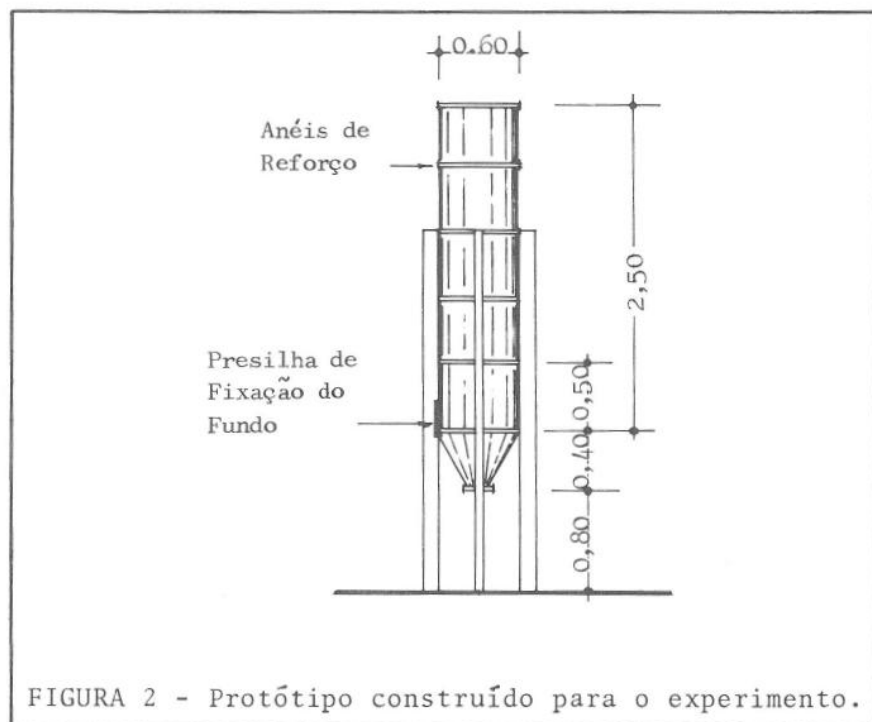


FIGURA 2 - Protótipo construído para o experimento.

O fundo foi feito do mesmo material das laterais. Foi fixado por quatro presilhas, diretamente nos pilotis estruturais, como se observa na Figura 2, a fim de possibilitar a determinação das pressões ali exercidas pelos grãos, sem influência das paredes laterais.

Foram colocadas fitas de aço em cada anel e nas presilhas do fundo, tendo sido determinadas suas características, a seção e o módulo de elasticidade.

Os anéis foram numerados de 1 a 6, a contar de cima para baixo (anel 1 localizado a 1/1 da altura, 2 a 4/5, 3 a 3/5, 4 a 2/5, 5 a 1/5 e 6 a 0), e as presilhas do fundo de 7 a 10.

O módulo de elasticidade foi determinado por meio de ensaios na Máquina Universal de Testes (LOS-MOHR & FEDERHAFF — MANNHEIN, tipo UHP 10, capacidade de teste de 10 Megapond (Mp)*, escala de trabalho de 500 kp), no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Foram registradas as deformações ocorridas a cada 50 kp, com leituras simultâneas num deflectômetro comparador, com escala graduada em 0,001 mm e distância entre cutelos igual a 10 cm.

* 1 Mp = 9.810 N.

2.2. Determinação das Pressões nas Laterais e no Fundo

Determinaram-se as pressões laterais com base no alongamento das fitas de aço dos anéis, convertido em força de tração, e na área correspondente à região de influência dessas fitas, conforme COSTA (1) e NEUBAUER e WALKER (5). A pressão média no fundo foi determinada com base na soma dos alongamentos das quatro fitas de aço das presilhas, que foi convertida em força e, depois, relacionada com a área de seção projetada do fundo do silo.

Os alongamentos foram determinados colocando-se extensômetros elétricos (com fator de medida de $2,20 \pm 1\%$ e resistência de $120,0 \pm 0,3 \Omega$) nas fitas de aço e ligando-os à fonte de WHEATSTONE (6).

Os efeitos da temperatura foram compensados colocando-se um extensômetro elétrico, com as mesmas características anteriores, numa fita de aço do mesmo material, colocada em local com as mesmas condições de ambiência dos outros (6).

Utilizou-se o potenciômetro registrador (SERVOGOR, RE 511, Kompensationsschreiber), com escala graduada em 0,02 mV e amplitude de 0 a 2mV.

A calibração do sistema foi feita no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, utilizando-se a Máquina Universal de Testes. A fita de aço de calibração, que continha extensômetro elétrico com as características anteriores, foi submetida a esforço de tração de até 2.943N, em 4 repetições, tendo sido estabelecida a relação entre alongamentos e milivoltagem registrada.

A partir dos resultados desse ensaio, calculou-se o fator de conversão da milivoltagem de cada fita de aço em newton, com base nas suas características, na seção e no módulo de elasticidade.

2.3. Material Granular Utilizado

Na carga e descarga do silo foi empregado milho com peso específico médio de 705 kg/m³ e umidade média de 13,3%.

2.4. Delineamento Experimental

Pressões máximas nas laterais

O ensaio experimental foi em parcelas subdivididas. Teve 6 fatores (anéis) nas parcelas, dispostos em blocos casualizados, 4 operações de carga-descarga (C.D.) nas subparcelas e 4 repetições.

Os anéis correspondiam às diversas alturas de determinação das pressões na lateral do silo.

As operações de carga-descarga foram as seguintes:

- 1 — Carga total e descarga total;
- 2 — Carga total, descarga de 1/3 da altura, recarregamento e descarga total;
- 3 — Carga total, descarga de 2/3 da altura, recarregamento e descarga total;
- 4 — Carga de 2/3 da altura, descarga de 1/3, recarregamento e descarga total.

Pressões máximas médias no fundo

O ensaio experimental foi em blocos casualizados, com 4 repetições e 4 operações de carga-descarga, mencionadas anteriormente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Pressões Máximas nas Laterais

As pressões máximas nas laterais, na carga e na descarga, em Pascal, para os anéis e operações de carga-descarga, podem ser observadas na Figura 3.

Pressões máximas nas laterais, na carga

A análise de variância das pressões máximas nas laterais, na carga, indicou efeito significativo para os anéis, ao nível de 5% de probabilidade.

Utilizando o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparar as médias (Quadro 1), foi possível verificar o efeito das alturas dos anéis sobre os valores de pressão lateral. O teste indicou que não houve diferença significativa entre os anéis 5 e 4, nem entre os anéis 3, 6, 2 e 1. Mostrou, porém, que os anéis 5 e 4 diferenciaram-se significativamente dos restantes.

Os resultados de sua distribuição ao longo das paredes não se mostraram de acordo com as observações de Kovtun e Platonov, citados por CATALAN (8). Segundo esses autores, os valores são crescentes de cima para baixo. No entanto, como se pode verificar no Quadro 1, os valores foram crescentes do anel 1 ao 5 e decrescentes no anel 6, próximo à junção do cone de descarga. Os maiores valores de pressão lateral na carga, como se pode verificar na Figura 3, foram registrados a 1/5 da altura total do silo.

A análise não mostrou efeito significativo para operações de carga-descarga (C.D.), nem para a interação anéis x C.D., indicando que as operações de carga-descarga não diferiram nas alturas correspondentes a todos os anéis.

Pressões máximas nas laterais, na descarga

A análise de variância dos dados obtidos indicou efeito significativo para os anéis, ao nível de 5% de probabilidade.

Utilizando o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparar as médias, como se observa no Quadro 2, foi possível verificar o efeito das alturas dos anéis sobre os valores de pressão lateral. O teste mostrou diferenças significativas do anel 5 para o 4, e desses dois para os restantes.

A distribuição das pressões ao longo das paredes, na descarga, foi idêntica à da carga. Os valores obtidos foram crescentes de cima para baixo, do anel 1 ao 5, e decrescentes no anel 6. Os maiores valores foram registrados a 1/5 da altura do silo.

A análise de variância mostrou, também, efeito significativo, ao nível de 5% de probabilidade, para as operações de carga-descarga e para a interação anéis x C.D. Esse fato indica que as operações de carga-descarga comportaram-se diferentemente nas alturas correspondentes aos anéis.

Dessa forma, foi necessário desdobrar a análise de variância, a fim de estudar o efeito das operações de carga-descarga na altura correspondente a cada um dos anéis.

A análise indicou efeito significativo, ao nível de 5% de probabilidade, das operações de carga-descarga nos anéis 4 e 6.

Foi possível separar os efeitos das operações de carga-descarga nos anéis 4 e 6 por meio do teste de médias de Tukey, como se vê nos Quadros 3 e 4. No anel 4,

o teste não mostrou diferenças significativas entre as operações de carga-descarga 3 e 2, 2 e 4 e 4 e 1, ficando, porém, bastante evidenciada a diferença significativa entre as operações 3 e 1.

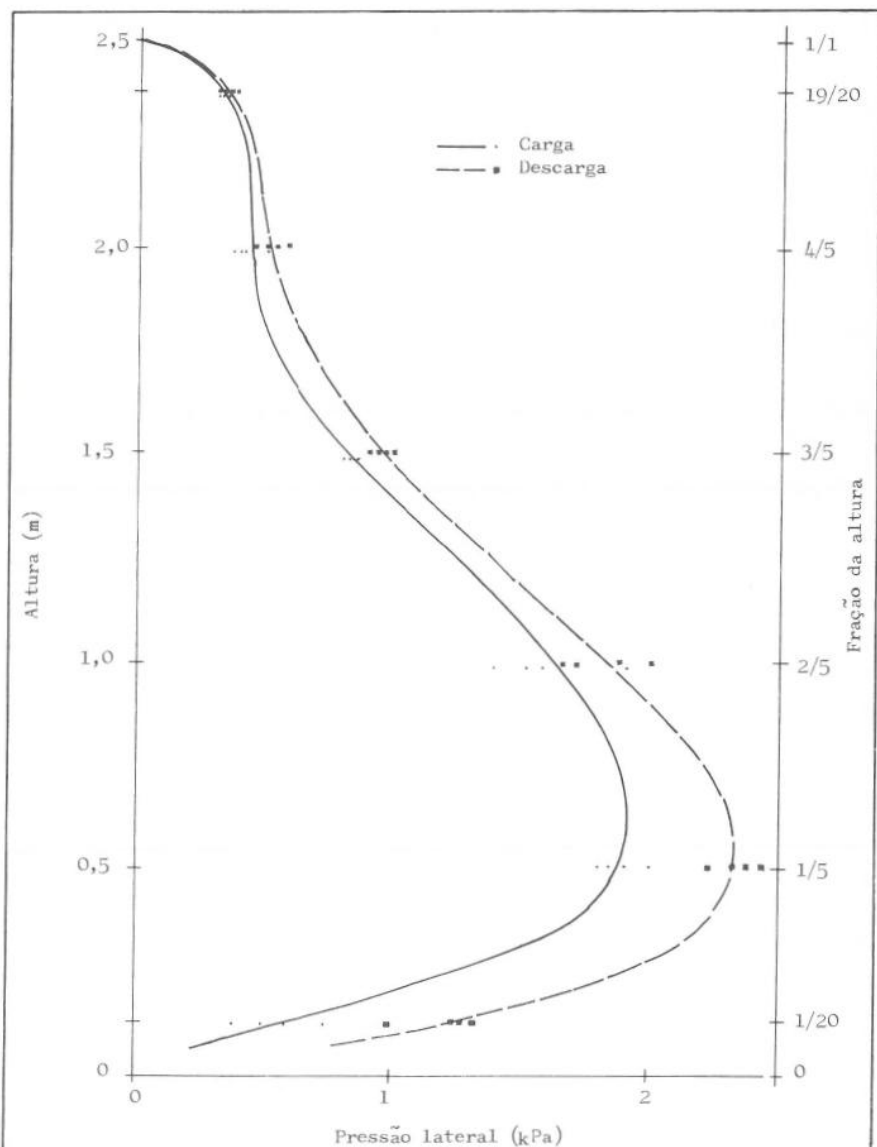


FIGURA 3 - Curvas de distribuição das pressões máximas na lateral, para as operações de carga-descarga, de acordo com a altura.

QUADRO 1 - Teste de médias das pressões máximas correspondentes aos anéis, em Pascal 1/

Anéis	Pressão Máxima Média
5	1.900,06 a
4	1.626,25 a
3	819,94 b
6	546,81 b
2	411,38 b
1	317,63 b

1/ Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

QUADRO 2 - Teste de médias das pressões máximas correspondentes aos anéis, em Pascal, na descarga 1/

Anéis	Pressão Máxima Média
5	2.349,69 a
4	1.818,13 b
6	1.186,13 c
3	947,56 cd
2	495,13 de
1	318,00 e

1/ Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

QUADRO 3 - Teste de médias das pressões máximas obtidas no anel 4, em Pascal, na descarga, correspondentes às operações de carga-descarga 1/

Operações de Carga-Descarga	Pressão Máxima Média
3	2.015,25 a
2	1.893,50 ab
4	1.708,25 bc
1	1.655, 50 c

1/ Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

QUADRO 4 - Testes de médias das pressões máximas obtidas no anel 6, em Pascal, na descarga, correspondentes às operações de carga-descarga

Operações de Carga-Descarga	Pressão Máxima Média
1	1.311,65 a
3	1.224,50 a
2	1.224,25 a
4	984,00 b

1/ Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Essa ocorrência era esperada, uma vez que no desenvolvimento das operações 2 e 3, principalmente, o silo teve carga total, descarga de 1/3 da altura e de 2/3 da altura, respectivamente. Por ocasião dessa descarga, presume-se que tenha ocorrido um arranjo de grãos, o que acarretou aumento de densidade e diminuição do coeficiente de atrito grão-parede. Quando o silo é recarregado, obtêm-se duas camadas, distintas em densidade e em coeficiente de atrito grão-parede. A primeira camada, que já tinha densidade maior que o normal, recebe uma compactação, causada pela segunda, o que aumenta ainda mais esse valor. Como a pressão depende diretamente da densidade e inversamente do coeficiente de atrito, por ocasião da descarga final as operações que apresentam essas etapas são maiores. Sendo assim, a operação carga-descarga que desenvolveu menor pressão lateral foi a 1, que poderia ser chamada de testemunha.

No anel 6, o teste não indicou diferenças significativas entre as operações de carga-descarga 1, 2 e 3. Porém, essas três operações foram significativamente diferentes da 4, ao nível de 5% de probabilidade.

A mudança de comportamento do anel 4 se deve à localização do anel 6 na região próxima à descarga. A pressão na região desse anel foi, em média, a metade da pressão do anel 5. Presume-se, portanto, que a densidade tenha diminuído consideravelmente, modificando o efeito das operações de carga-descarga.

Verificando os Quadros 6 e 7, pode-se observar que a operação de carga-descarga 4 também teve a menor média de pressão no fundo, na carga e na descarga. Essa operação, em consequência da menor altura inicial de carga, fez com que a primeira camada adquirisse menor densidade, quando comparada às operações 1, 2 e 3, o que acarretou redução nos valores finais de pressão.

Comparação entre pressões laterais máximas de carga e descarga

Na carga, observou-se a ocorrência de acamamento da massa de grãos, ocasionando impactos sobre o fundo, com reflexos nas laterais. Diante disso, alguns valores de pressão lateral tornaram-se significativamente maiores. Na descarga, porém, não ocorreram diferenças significativas entre os valores máximos. Pelo que se pode observar, a diferença de comportamento na carga se deve a mudanças do coeficiente de atrito grão-grão e grão-parede.

O escoamento da massa granular dentro do silo, na descarga, foi maciço, ou seja, a uma pequena abertura, toda a massa se punha em movimento. Esse tipo de escoamento ocasionou significativos aumentos das pressões nas laterais e no fundo na ocasião da descarga. Essa ocorrência reforça as observações de Jenike e Johanson, citados por CATALAN (8). As sobrepressões ocorreram por ocasião da mudança de massa de grãos estática para massa em movimento. Com o rompimento do equilíbrio estático e o consequente arranjo dos grãos no sentido da descarga, presume-se que tenha ocorrido um aumento da densidade e uma diminuição do coeficiente de atrito grão-parede, com o desenvolvimento de uma pressão lateral maior na descarga que na carga (Figura 3).

No Quadro 5 vêem-se os valores percentuais dos aumentos das pressões laterais na descarga, em relação à carga.

3.2. Pressões Máximas Médias no Fundo

Pressões máximas médias no fundo, na carga

A análise de variância dos dados obtidos indicou efeito significativo, ao nível de 5% de probabilidade, para as operações de carga-descarga.

Utilizando o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparar as médias, como se observa no Quadro 6, foi possível separar os efeitos das operações de carga-descarga. O teste não mostrou diferenças significativas entre as operações 2 e 3 e 3 e 1, porém mostrou diferença significativa entre as operações 2 e 1 e 1 e 4.

As pressões máximas médias no fundo do silo variam diretamente com a densidade da massa granular e inversamente com o coeficiente de atrito grão-parede. Quanto maior for a densidade e menor a aderência da massa às paredes, menor será o coeficiente de atrito e maior a pressão no fundo. Por isso, o comportamento da operação de carga-descarga 4, que apresentou a menor média, leva a admitir que, em consequência da sua menor altura inicial de carga, por ocasião da descar-

QUADRO 5 - Valores percentuais correspondentes ao aumento das pressões laterais na carga, em relação à carga

Anel	% de Aumento
1	0
2	20
3	16
4	12
5	23
6	117

QUADRO 6 - Teste de médias das operações máximas médias no fundo, na carga, para as operações de carga-descarga ^{1/}

Operações de Carga-Descarga	Médias das Pressões Máximas Médias
2	12.700,00 a
3	12.284,00 ab
1	12.066,25 b
4	11.569,00 c

^{1/} Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

ga parcial, a primeira camada adquira menor densidade que as primeiras camadas das operações 2 e 3 até mesmo que as da operação 1, fato também observado no anel 6, localizado na região de descarga.

Pressões máximas médias no fundo, na descarga

A análise de variância dos dados obtidos indicou efeito significativo, ao nível de 5% de probabilidade, para as operações de carga-descarga.

Utilizando o teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade, para comparar as médias, como se observa no Quadro 7, foi possível separar os efeitos das opera-

QUADRO 7 - Teste de média das pressões máximas médias no fundo, na descarga, para as operações de carga-descarga 1/

Operações de Carga-Descarga	Média das Pressões Máximas Médias
2	13.318,50 a
3	13.124,50 a
1	13.081,25 a
4	12.559,50 b

1/ Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

ções de carga-descarga. O teste não indicou diferenças significativas entre as operações 2, 3 e 1, porém indicou diferenças entre essas três e a 4.

A mudança de comportamento das operações de carga-descarga, não influenciando as pressões no fundo, não era esperada. Verificou-se que a operação 4 teve a menor média de pressão no fundo, fato já discutido para o anel 6 e para a pressão no fundo, na carga.

Comparação entre as pressões máximas médias no fundo, na carga e na descarga

Na descarga, os valores médios de pressão no fundo foram superiores aos ocorridos na carga (Quadro 8).

QUADRO 8 - Valores percentuais correspondentes ao aumento das pressões médias no fundo, na descarga, quando comparada com a carga

Operações de Carga-Descarga	% de Aumento
1	08
2	05
3	07
4	09

Presume-se que essa ocorrência se deva ao coeficiente de atrito dinâmico grão-parede, menor que o estático, aumentando a massa de grãos que se apóia sobre o fundo, em decorrência de menor aderência às paredes.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Num protótipo de silo, de forma cilíndrica, de madeira, fundo cônico e sistema de descarga central, foram analisadas as pressões laterais e as pressões sobre o fundo, durante as operações de carga e de descarga, empregando milho como material granular.

Verificou-se que o escoamento da massa de grãos dentro do silo foi do tipo maciço. Essa ocorrência contribuiu para aumentar 23% os valores das pressões de descarga a 1/5 da altura do silo, quando comparados com os de carga, e para aumentar 117% os valores das pressões a 1/20 da altura do silo. Na carga, os maiores valores de pressão lateral foram registrados a 1/5 da altura do silo, e as operações de carga-descarga não influenciaram significativamente esses valores máximos. Na descarga, os valores mais elevados de pressão lateral ocorreram a 1/5 da altura do silo. As operações de carga-descarga aumentaram esses valores máximos na altura correspondente a 2/5 da altura do silo. As pressões médias no fundo, durante a descarga, foram, em média, quase 7% maiores que as de carga. Os valores de pressões máximas no fundo, na carga e na descarga, foram maiores com as operações de carga total, descarga de 1/3 da altura, recarregamento e descarga total e carga total, descarga de 2/3 da altura, recarregamento e descarga total.

5. SUMMARY

A wooden, prototype silo of cylindrical shape, with a central unloading system, was used to analyze the maximum pressure values over the lateral walls and the bottom of the silo during the loading and unloading operations. Corn seeds were used as the granular material.

The movement of the granular material inside the silo was a mass flow type, leading to an over pressure of 23% at 1/5 of the silo height and 117% at 1/20 of the silo height, when compared to pressures for unloading and pressures for loading processes. In the loading operation, the largest pressure value was observed at about 1/5 of the silo height and the loading and unloading operations did not significantly influence these maximum values. During the unloading operation, the largest values of the lateral pressures were at 1/5 of the silo height. The loading-unloading operations increased the maximum values of the lateral pressures at a height of 2/5 of the silo. The average pressures at the bottom of the silo during the unloading process were about 7% greater than for loading process. The maximum values for the bottom, for loading and unloading, were greater with the operation of total loading, unloading to 1/3 of the silo height, loading again and total unloading; and, total loading, unloading to 2/3 of the silo height, loading again and total unloading.

6. LITERATURA CITADA

1. COSTA, E.V. *Curso de resistência dos materiais, com elementos de grafostática e de energia de deformação*. São Paulo, Editora Nacional, 1964. 252 p.

2. HALL, D.W. *Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales*. Roma, Tipolitografia F. Failli, 1971. 400 p.
3. McCABE, W.L. & SMITH, J.C. *Unit operations of chemical engineering*. New York, Mc Graw-Hill Book Company, 1976. 1028 p.
4. MOHSENIN, N.N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1970. 734 p.
5. NEUBAUER, L.W. & WALKER, H.B. *Farm building design*. New Jersey, Prentice-Hall, 1961. 611 p.
6. PERRY, C.C. & LISSWER, H.R. *The strain gage primer*. New York, Mc Graw-Hill Book Company, 1955. 281 p.
7. PINEDA, J.M.S. *Construcciones agrícolas*. Madrid, Editorial Dossat, 1958. 636 p.
8. CATALAN, J.R. *Silos — teoria, investigación, construcción*. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1977. 381 p.
9. REIMBERT, M.A. *Silos — théorie et pratique*. Paris, Editions Eyrolles, 1971. 330 p.
10. SELISTRE, S.C. *Esforços sobre paredes de compartimentos de armazenagem*. Curitiba, Companhia Paranaense de Silos e Armazéns, 1978. 6 p.