

CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO ARMADO, PARA SILOS QUADRADOS VERTICAIS, MODULARES, PARA ARMAZENAMENTO DE GRÃOS

Eduardo Teixeira da Silva¹, Wesley Jorge Freire² e Carlito Calil Júnior³

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fornecer subsídios técnicos para projetos de silos multicelulares em concreto armado, pré-moldados, com forma quadrada, para atender a pequenos e médios produtores, com capacidade de 60t, sendo 15t de milho por célula. Foram realizadas análises teóricas e experimentais em um modelo de elemento construtivo a fim de se avaliar o comportamento estrutural do elemento isolado e do encaixado, em escala natural, que formaram as paredes de silos quadrados modulares. Com base nas análises experimentais realizadas, concluiu-se que o modelo de encaixe utilizado entre dois elementos (tipo macho-fêmea) comportou-se de maneira positiva, conferindo maior rigidez à região entre os elementos. As tensões calculadas pelo método simplificado Ravenet (1992) e teoria de vigas bi-articuladas, subestimam as tensões experimentais. Os deslocamentos medidos apresentam comportamento similar, porém superiores aos deslocamentos calculados pela flecha máxima e flecha no meio do vão.

Palavras-chave: silos, construções rurais, pré-moldados

CONCRETE PRE-CAST ELEMENTS FOR USE IN SQUARE MODULAR SILOS FOR GRAIN STORAGE

ABSTRACT

This research provides technical information for designing multicell reinforced concrete prefabricated silos in square form and capacity for 60 tons of corn (15 per cell), for farmers with small and medium farms. Theoretical and experimental analyses with an element model were conducted to evaluate the structural behavior of separated elements and coupled elements, in full scale, which form the square walls of the modular silo. From the experimental analysis it was concluded that the two-coupled element model presented a satisfactory behavior with the toughest spot. The stress values calculated with the Ravenet method (1992) and with the biarticulable beam theory were lower than the values obtained from the experiment. The measured displacement exhibited a similar behavior, but somewhat better than the values calculated by applying the maximum inflection and the half shaft inflection method.

Key words: silos, rural building, pre-cast

¹ Prof. Dr. do Depto. de Engenharia e Tec. Rurais da Universidade Federal do Paraná - Rua dos Funcionários 1540 Curitiba, PR CEP 80001-97 Email: eduardo@agrarias.ufpr.br

² Prof. Titular do Depto de Construções Rurais da FEAGRI-UNICAMP – Cidade Universitária Zeferino Vaz CP 679 – Campinas, SP CEP 13083-970

³ Prof. Titular do Depto. de Eng. de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – USP - Av. Dr. Carlos Botelho 1465 – São Carlos, SP – E-mail: calil@sc.usp.br

INTRODUÇÃO

Os silos são instalações rurais ou industriais, com a finalidade básica de armazenar, a granel, produto sólido, granular ou pulverulento, possibilitando o mínimo de influência do meio externo com o ambiente de estocagem, com o objetivo de manter inalteradas as características físicas, químicas e biológicas do produto, durante o período de armazenagem.

As estruturas para armazenamento têm conquistado espaço de destaque dentro dos processos de diversos setores da economia mundial, seja industrial ou rural. As estruturas de silos em concreto têm absorvido parcela significativa deste mercado, especialmente para silos de grande porte. No Brasil, apesar de existirem especialistas na área de estruturas de armazenamento, não se dispõe de normas específicas que orientem os projetistas sobre levantamento das ações, dimensionamento dos elementos ou disposições construtivas baseadas em experiências; há de se destacar, então, que, em sua grande maioria, os silos construídos no Brasil são metálicos e de grande porte, o que não condiz com a realidade agrícola brasileira, basicamente formada por pequenos e médios produtores; portanto, atenção especial deve ser dada a essas duas classes de produtores, por pesquisadores e instituições e, principalmente, pelos governos, através de incentivos ou programas de armazenagem nos locais de produção.

Segundo Safarian & Harris (1985) nos Estados Unidos o concreto é o material mais utilizado para construção de silos e bunker; usualmente, são moldados “in loco” mas, ocasionalmente, podem ser pré-moldados, apenas armados ou protendidos e, basicamente, o concreto pode ser utilizado em todas as estruturas (fundação, parede, cobertura, fundo e tremonha). Os silos de concreto pré-moldado têm sido extensamente utilizados no leste europeu, na antiga União Soviética e no Japão. A chave para o sucesso dos silos pré-moldados está na padronização dos seus componentes que são o fundo (tremonha), a cobertura e, principalmente, as paredes da estrutura. Como vantagens desse tipo de silo, os autores destacam as seguintes:

1. melhor qualidade, devido às condições de controle rigoroso durante a fabricação dos elementos, comparados ao concreto moldado no local;

2. menor custo da estrutura, comparado ao concreto moldado no local, devido: a) à utilização de forma no local da obra, ao menor número de pessoas trabalhando no local da obra e ao menor tempo necessário para finalização da obra.

Uma das desvantagens dos silos pré-moldados está no tamanho dos elementos, controlados principalmente pelas restrições de transporte e montagem; assim, para grandes silos ocorre a segmentação desses elementos em elementos pré-moldados “pequenos”. O tamanho dos elementos pré-moldados, de acordo com Ronde & Schiebroek (1986) determina o peso dos elementos, a capacidade de transporte, a capacidade necessária do equipamento de içamento, o número de elementos da estrutura, o número de viagens da “fábrica” até o local de construção e o de manipulações do guindaste.

Os objetivos do presente trabalho são fornecer subsídios técnicos para o projeto de silos multicelulares em concreto armado, pré-moldados, modulares, com forma poligonal quadrada com capacidades para armazenagem de 15 a 60t por célula, como uma alternativa para atender a pequenos e médios produtores. Além disso pretende contribuir para o desenvolvimento da futura norma brasileira para silos.

MATERIAL E MÉTODOS

Elementos de concreto

Foi proposto um modelo de silo composto de quatro células, capacidade de armazenagem de 15t de milho em cada célula, perfazendo o total de 60t de produto armazenado, (Silva, 1998). A célula possui altura de 8,5m e vão de 1,5m, com 17 elementos sobrepostos. A Figura 1 mostra o modelo de silo proposto e utilizado.

Os elementos foram dimensionados seguindo-se os procedimentos de cálculo e as recomendações práticas estabelecidas pela Norma Americana ACI-313 (1983) para o projeto de paredes, a qual estabelece que a espessura mínima para paredes de silos pré-moldados de concreto armado não deve ser inferior a 2” (50mm). Neste trabalho, adotou-se a espessura de 80mm. Os elementos foram armados com malha dupla de aço CA-60, diâmetro nominal de 6,3mm, espaçamento horizontal de 117,5mm entre barras e vertical de 144,0mm, mantendo-se um recobrimento de 20mm em cada face.

Utilizou-se, em todos os elementos, um tipo de encaixe adotado por Ravent (1992) cujos elementos apresentavam, nas extremidades superior e inferior, um ressalto na forma de semicírculo em toda a extensão do comprimento e, de maneira inversa, na extremidade inferior, a fim de servir de encaixe tipo macho-fêmea, com um raio médio de 10mm, conforme pode ser visto na Figura 1b.

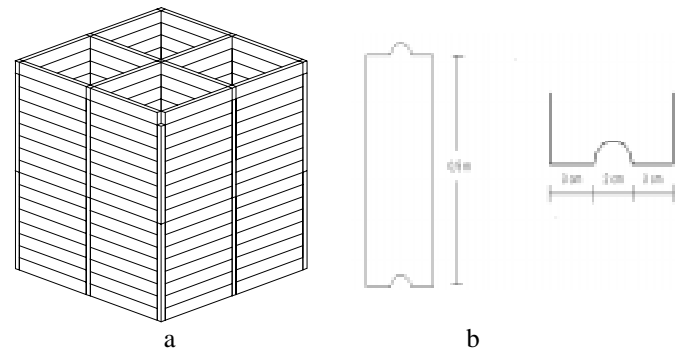


Figura 1. Modelo de silo utilizado: (a) vista geral e (b) corte transversal e dimensões do encaixe utilizado.

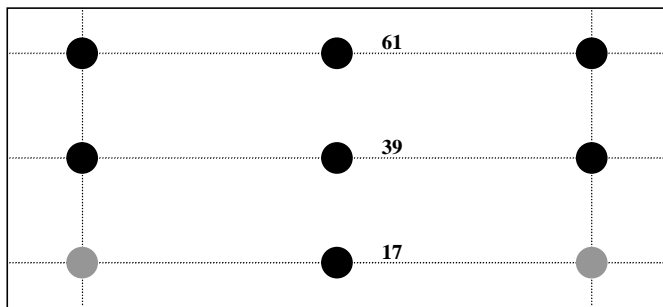
Procedimento experimental

Foi demarcada uma malha sobre a superfície dos elementos, procurando-se estabelecer os pontos onde seriam instalados os extensômetros elétricos de resistência e os transdutores diferenciais. Esta malha foi composta de linhas preestabelecidas, conforme mostrados nas Figuras 2 e 3, da seguinte forma:

- ensaio com um único elemento: três linhas horizontais, duas instaladas a 50mm das extremidades inferior e superior e uma no centro de cada elemento, independentemente do seu comprimento; três linhas verticais, duas instaladas a 1/3 de cada extremidade e uma no centro do elemento;
- ensaio com dois elementos encaixados: duas linhas horizontais, sendo uma no centro e outra a 50mm da extremidade próximo à região de encaixe; três linhas verticais, sendo duas instaladas a 1/3 de cada extremidade e uma no centro.

Como o sistema de aquisição de dados apresenta um limite de 16 canais para leitura, é necessário o mesmo número de pontos de medição nos elementos; para satisfazer a esta condição, adotou-se o seguinte critério:

- 9 pontos para extensômetros elétricos e 7 pontos para transdutores diferenciais de deslocamento para elementos isolados;
- 8 pontos para extensômetros elétricos e 8 pontos para transdutores diferenciais de deslocamento para elementos encaixados.



● ponto de colagem dos extensômetros elétricos e dos transdutores diferenciais de deslocamento (LVDT's);
● ponto de instalação.

Figura 2. Malha de pontos para colagem dos strain gauges e instalação dos transdutores em um elemento

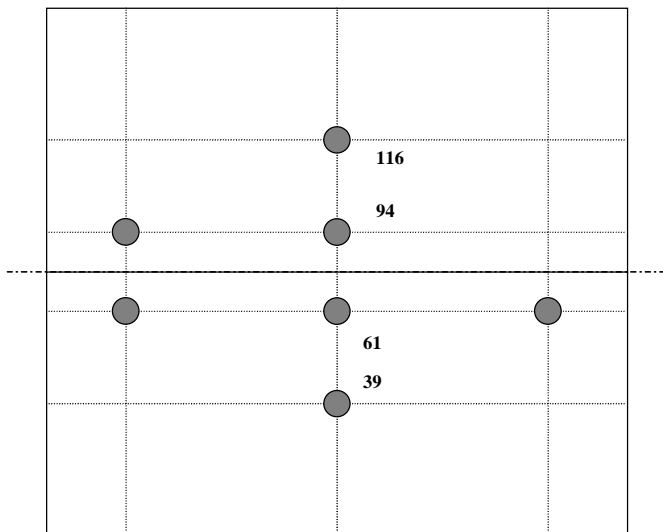


Figura 3. Malha de pontos para colagem dos extensômetros elétricos e instalação dos transdutores diferenciais de deslocamento em dois elementos encaixados

Os ensaios com os elementos pré-moldados de concreto foram realizados de duas maneiras distintas; inicialmente, foi ensaiado apenas um elemento de maneira isolada e, em seguida, outros dois elementos encaixados, conforme a Figura 4.



Figura 4. Detalhe dos encaixes entre elementos, sendo preparados para ensaio

Os elementos foram carregados com intervalos distintos de cargas durante a realização das leituras da seguinte maneira:

- um elemento de 1,5m de vão: cargas de aproximadamente 1,08kPa, até a carga correspondente a 8,92kPa, instante em que se constatou o aparecimento de fissura no elemento, por meio de observação visual;
- dois elementos de 1,5m de vão encaixados: cargas de aproximadamente 4,9kPa, até a carga correspondente a 27,06 kPa, instante em que se constatou o aparecimento de fissura no elemento, por meio de observação visual.

Carregamento utilizado

Para melhor simulação de carregamento uniformemente distribuído sobre os elementos, foi utilizada uma camada de 5mm de papelão, aplicada sobre a superfície do concreto, procurando-se minimizar qualquer efeito de irregularidade; logo acima da camada de papelão foram colocados uma chapa de compensado com 8mm de espessura e, em seguida, caibros de madeira, estes com espaçamento de 50mm; sob estes caibros foram colocadas vigas de madeira em direção transversal, finalizando-se com perfis metálicos. Sempre que se passava de um nível para outro, eram colocados pequenos roletes de aço para permitir melhor distribuição e acomodação da carga, que era aplicada por meio de um cilindro hidráulico, sendo a carga medida com um anel dinamométrico.

Extensômetros elétricos de resistência

Os extensômetros elétricos instalados nos elementos foram do tipo KFC-30-120-C1-11, com comprimento de 30mm, resistência de $119,8 \pm 0,2\Omega$, fator gauge $2,10 \pm 1,0\%$ da marca Kyowa. Foi instalado um extensômetro em cada ponto de medição dos elementos, apenas na superfície inferior, que representa a face externa do silo. Para se determinar as tensões no estado simples de tensão, os extensômetros foram instalados no sentido horizontal dos elementos.

Transdutores diferenciais

Os transdutores diferenciais de deslocamento utilizados foram do tipo DT-50 A e DT-100 A, com comprimento de medição de 50 e 100mm, respectivamente, todos da marca Kyowa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tensões

As tensões foram analisadas no sentido longitudinal dos elementos, ou seja, no sentido do vão, pois é que ocorrem as maiores tensões neste tipo de silo, se calculam as tensões pelo método simplificado e teoria de vigas bi-articuladas. Desta forma, pode-se confrontar os resultados teóricos e experimentais. Na Figura 5 são apresentadas as curvas das tensões obtidas pelo método simplificado proposto por Ravenet (1992), teoria de

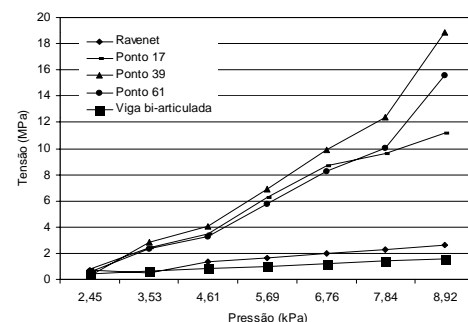


Figura 5. Tensões experimentais e calculadas para um elemento

vigas bi-articuladas e as tensões experimentais obtidas. A pressão de 8,92kPa representa o instante em que se observou o aparecimento de fissura no elemento de 1,5m de vão.

Os pontos de medição apresentaram valores similares para tensões durante o carregamento do elemento até a carga de 7,84kPa, a partir da qual os pontos passaram a ter comportamento diferente; por outro lado, os valores teóricos de tensões (Ravenet 1992, e teoria de vigas) apresentaram comportamento similar ao longo do carregamento, porém, quando comparados com os dados experimentais, apresentaram valores inferiores, significando que as teorias subestimam as tensões no elemento. A pressão de 27,06kPa (Figura 6) representa o instante em que se observou o aparecimento de fissura no elemento encaixado de 1,5m de vão. Este valor foi superior ao do elemento ensaiado isoladamente, que foi de 8,92kPa, representando aumento de 3,03 vezes na carga aplicada, para um aumento de apenas 2 vezes na área de contato.

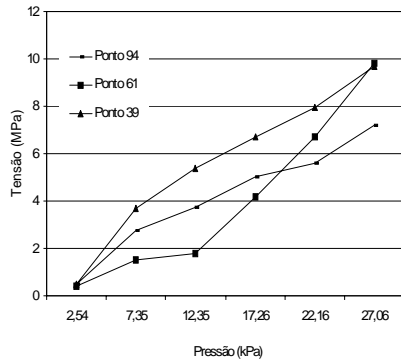


Figura 6. Tensões experimentais determinadas em dois elementos

Deslocamentos

A Figura 7 mostra os deslocamentos do elemento de 1,5m de vão, para os pontos experimentais, calculados no meio do vão e da flecha máxima. Verifica-se que o ponto 17 se comportou de maneira distinta aos demais pontos experimentais e deslocamentos calculados, apresentando valores inferiores aos demais para todos os valores de pressão aplicada. Os pontos 39 e 61 apresentaram comportamento similar, próximo aos valores dos deslocamentos calculados (f. máx. e f. calc. meio do vão); já o ponto 61 apresentou os maiores valores, principalmente a partir da pressão aplicada correspondente a 6,76kPa, em relação aos demais. Como a verificação do aparecimento de fissura era feita visualmente, acredita-se que tenha ocorrido o fissuramento do elemento no instante de aplicação correspondente à pressão de 6,76kPa.

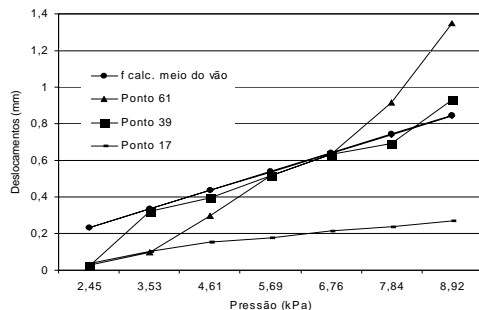


Figura 7. Deslocamentos experimentais e calculados em um elemento

Para o caso dos elementos encaixados de 1,5m de vão (Figura 8) verificou-se que os pontos localizados no centro de cada elemento (pontos 39 e 116) apresentaram os maiores

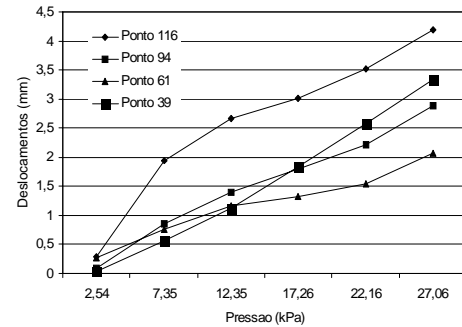


Figura 8. Deslocamentos experimentais em dois elementos encaixados

deslocamentos; o ponto 116 apresentou o maior deslocamento entre todos os pontos, seguido dos pontos 39 e 94, e o ponto 61 apresentando o menor deslocamento. Os pontos localizados perto da região de encaixe entre os dois elementos apresentaram comportamento idêntico, mesmo com o ponto 61, apresentando deslocamento inferior, razão pela qual se acredita que o encaixe utilizado tenha causado efeito positivo, reduzindo o deslocamento nesta região.

CONCLUSÕES

1. O uso destes elementos paredes em silos de concreto armado, com forma poligonal quadrada, apresenta vantagens estruturais, construtivas e funcionais. Os elementos analisados apresentaram resultados bastante satisfatórios, em termos de resistência, mostrando-se adequados a esta finalidade para os dois modelos estudados.

2. Com base nas análises teóricas e experimentais realizadas, conclui-se que as tensões calculadas pelo método simplificado (Ravenet 1992) e teoria de vigas bi-articuladas, subestimam as tensões experimentais do elemento de 1,5m de vão; a tensão medida no ponto 39 foi cerca de 16,25 e 17,27 MPa superior às calculadas, pelo método simplificado e teoria de vigas bi-articuladas, respectivamente, para a pressão em que se observou o aparecimento de fissura no elemento.

3. Com base nas análises teóricas e experimentais conclui-se que os deslocamentos medidos apresentam comportamento similar aos deslocamentos calculados pela flecha máxima e flecha no meio do vão; os deslocamentos calculados foram superiores aos deslocamentos medidos.

4. Com base nas análises experimentais realizadas, conclui-se que o modelo de encaixe utilizado (tipo macho-fêmea) comportou-se de maneira positiva, pois os pontos de medição de tensões e deslocamentos próximos à região de encaixe entre os elementos, apresentaram valores próximos aos medidos nos pontos centrais dos elementos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI-313-AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Recommended practice for design and construction of concrete bins, silos and bunkers for storing granular materials.** New York; 1983. 11p.
- RAVENET, J. **Silos.** Barcelona: Editores Tecnicos Associados, 1992. 508p.
- RONDE, M.H.M.G.; SCHIEBROECK, C.J.M.. A new approach in silodesign. **Bulk Solids Handling...** London, v.3, n.3, p.63-68, 1986.
- SAFARIAN, S.S.; HARRIS, E.C. **Desing and construction of silos and bunkers.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. 486p.
- SILVA, E.T. da. **Elementos pré-moldados para silos quadrados de concreto armado.** Campinas: UNICAMP. Faculdade de Engenharia Agrícola, 1998. 166p. Tese Doutorado