

ANÁLISE ESTRUTURAL DE PAINÉIS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO DE FECHAMENTO DE SILOS HORIZONTAIS

José Roberto Rasi

Engenheiro civil, Mestre em Estruturas e Construção Civil - 2014 (UFSCAR),
Coordenador do curso de engenharia civil – FAP.
E-mail: <jroberto.rasi@gmail.com>.

Jasson R. de Figueiredo Filho

Engenheiro civil, Mestre em Engenharia de Estruturas - 1982 (USP),
Doutor em Engenharia de Estruturas – 1990 (USP) Professor titular da UFSCAR.
E-mail: <jassonf@ufscar.br>.

Jorge Augusto Serafim

Engenheiro civil, Mestre em Estruturas e Construção Civil - 2014 (UFSCAR),
Diretor, Solver Ltda., Curitiba/PR.
E-mail: <jserafim@solver.eng.br>.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar análise de varias alternativas estruturais para paredes em painéis pré-moldados de concreto para silos horizontais, considerando a aplicação de ações causadas pelo empuxo dos produtos armazenados. As pressões horizontais causadas pelo empuxo dos produtos armazenados foram determinadas pelo método proposto por Gomes (2000). Foram determinados os momentos fletores e os deslocamentos através do Método dos Elementos Finitos, os custos de fabricação e apresentam os resultados de cada tipo de painel estudado e comparando os resultados obtidos. Foram estudados seis painéis pré-moldados com o mesmo volume de concreto: Painel liso bi-apoiado, painel com vigas nas bordas bi-apoiado, painel TT bi-apoiado, painel liso bi-apoiado engastado no piso, painel com vigas nas bordas bi-apoiado e engastado no piso e painel TT bi-apoiado e engastado no piso. Estes painéis foram considerados como lajes verticais com carregamento horizontal submetido a duas condições de apoios: simplesmente apoiado em dois pilares pré-moldados em concreto armado e simplesmente apoiados nos dois pilares pré-moldados em concreto armado e com restrição horizontal, através de ferragem de engaste junto ao piso. Os pilares de concreto armado e o piso foram admitidos como indeslocáveis. O painel simplesmente apoiado apresentou o maior deslocamento de todos os painéis. O painel com vigas nas bordas apoiado nos pilares e engastado no piso teve o menor deslocamento máximo e o painel liso simplesmente apoiado e engastado no piso foi a alternativa de menor custo de fabricação. O painel liso bi-apoiado apresentou deslocamento excessivo na zona de maior carregamento.

Palavras-chave: Silo horizontal. Pressões. Painel pré-moldado.

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura de armazenagem de grãos do Brasil não tem acompanhado o ritmo de crescimento da produção agrícola. O déficit de capacidade de armazenagem chegou a 53,7 milhões de toneladas para grãos, na safra 2015 (Conab, 2016). Embora crescentes, nos últimos anos os investimentos em infraestrutura de armazenagem no Brasil não têm acompanhado o dinamismo da agricultura, afetando o sistema logístico para a movimentação das safras de grãos, ocasionando perdas significativas na produção, reduzindo a eficiência no aproveitamento dos recursos econômicos, humanos e naturais aplicados no setor (Mesquita *et al*, 2007)

Segundo Gomes (2000), o armazenamento de grãos no Brasil passou a ser feito em silos horizontais de capacidade estática entre 20.000 a 100.000 toneladas. Pela facilidade de construção, esse tipo de armazém graneleiro passou a ser considerado como um modelo apropriado para a implantação. As paredes laterais e frontais dos silos horizontais são geralmente construídas em painéis pré-moldadas apoiadas verticalmente em pilares de concreto armado, formando uma estrutura articulada ao longo de todo o perímetro do silo horizontal, permitindo acomodações resultantes de possíveis recalques e deslocamentos.

De acordo com Rasi (2009), atualmente o sistema construtivo mais utilizado na construção de silos horizontais é pré-moldado de concreto armado. As paredes laterais e frontais são geralmente construídas com pilares e placas pré-moldadas, formando uma estrutura articulada. Esta solução permite abrir mais frentes de trabalho, sobrepondo às atividades na obra, reduzindo os prazos e os custos das construções.

De acordo com Cheung (2007), a palavra silo tem raiz grega *sirus*, que significa lugar profundo, cavernoso e escuro. Nos dias atuais, o significado da palavra silo é um grande depósito para armazenar cereais, forragens, etc.

As formas mais comuns de armazenagem de grãos são a armazenagem convencional e a armazenagem a granel.

A literatura apresenta escassos trabalhos relacionados sobre silos horizontais e podem não estar atualizados, mesmo os artigos técnicos estrangeiros.

1.1 SILO GRANELEIRO HORIZONTAL

Os armazéns graneleiros horizontais, conhecidos no Brasil como silos horizontais, conceituam-se como qualquer unidade armazenadora capaz de operar com grãos a granel, cuja altura seja menor que a base. Segundo Gomes (2000), além do baixo custo, exceto para os elevados, duas outras vantagens são apresentadas: a primeira refere-se à simplicidade do sistema estrutural e a segunda é que a estocagem é feita por montes, sobre lajes de concreto executadas diretamente sobre o terreno. Os silos horizontais não elevados podem ser classificados quanto ao tipo de fundo adotado: fundo plano, fundo semi-V, fundo em V e fundo duplo V. O armazém graneleiro horizontal estudado neste trabalho é o do tipo não elevado, conforme a Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Silo graneleiro horizontal não elevado



1.2 PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO ARMADO DE FECHAMENTO VERTICAL

De acordo com Castilho (1998), a pré-moldagem é definida como um processo de execução em que a construção, ou parte dela, é moldada fora do seu local de utilização definitivo. O campo de aplicação das técnicas da pré-moldagem é amplo, abrangendo edificações, construções pesadas e diversas outras obras civis, como por exemplo, estádios e muros de arrimo. Paula (2007) afirma que o dimensionamento dos painéis pré-moldados de concreto armado é similar ao dimensionamento usual do concreto moldado no local. A diferença é que os elementos pré-moldados são dimensionados, também, para as fases transitórias compreendidas pela desmoldagem, transporte e montagem desses elementos.

A Figura 2A mostra um corte esquemático de um silo horizontal, mostrando o posicionamento de um painel de fechamento apoiado em um pilar e a Figura 2B mostra a vista interna, em perspectiva de silo horizontal, mostrando o posicionamento de dois painéis.

Figura 2A – Corte esquemático do silo

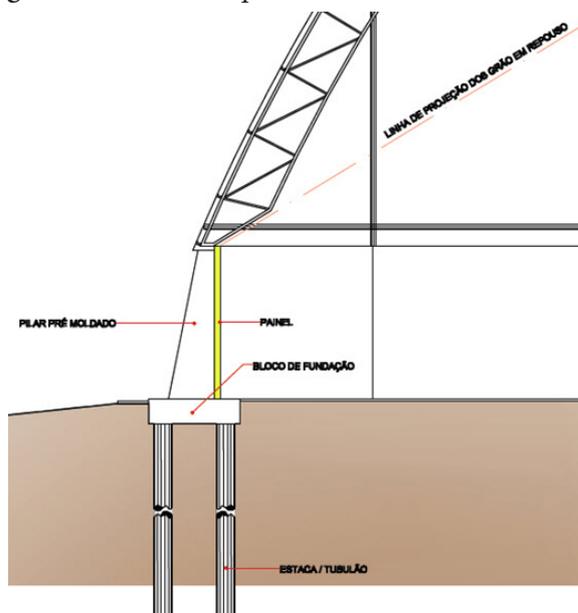
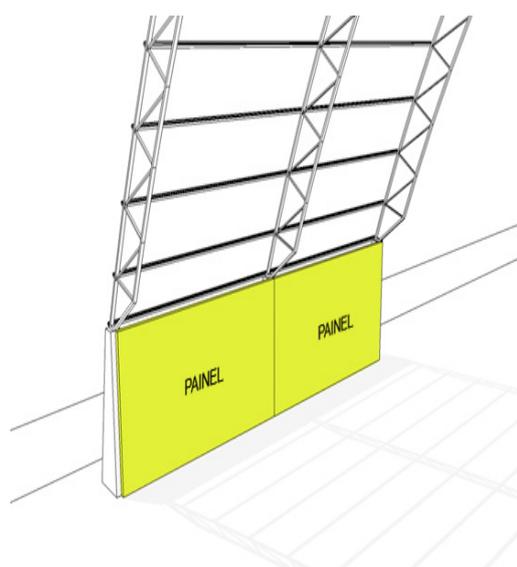


Figura 2B – Vista interna do silo



A Figura 3 mostra silo graneleiro horizontal, não elevado, com painéis pré-moldados de concreto armado no fechamento vertical.

Figura 3 – Silo graneleiro horizontal não elevado com painéis pré-moldados



Fonte: Engebase (2013).

1.3 AÇÕES EXERCIDAS PELO PRODUTO ARMAZENADO NOS PAINÉIS VERTICAIS

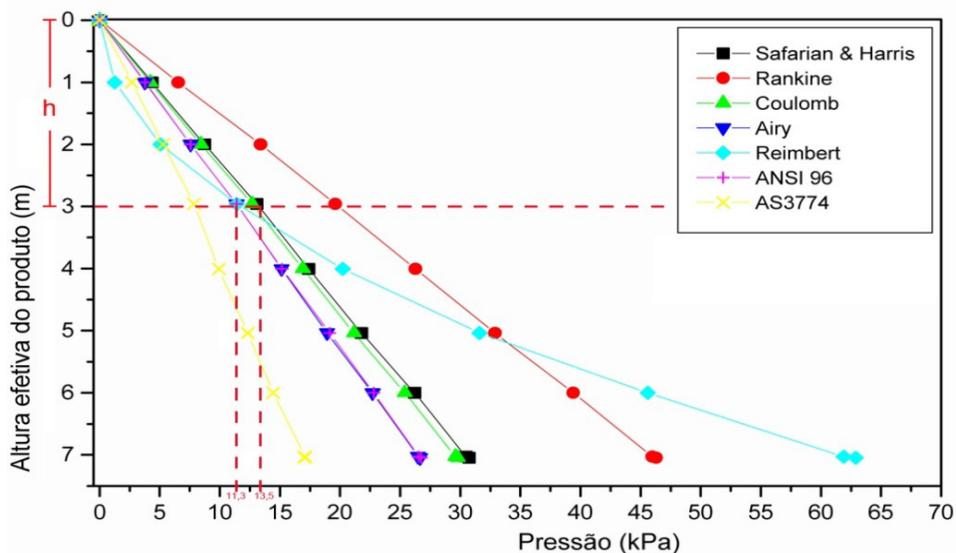
De acordo com Cheung (2007), as pressões nas paredes são geradas devido a processos operacionais no silo, como carregamento, armazenamento e descarregamento. Para cada uma dessas etapas, existe um comportamento diferente para o silo, sendo de vital importância separar cada etapa para se efetuar as análises estruturais. As pressões atuantes nos silos, devido à ação dos grãos nas paredes, podem ser classificadas como pressões estáticas e pressões dinâmicas.

As pressões estáticas dos produtos armazenados são aquelas exercidas pelo produto em repouso no interior do silo atuantes sobre as paredes e o fundo da célula. Após o enchimento do silo, o peso do produto é suportado em parte pelas paredes, devido ao atrito do produto armazenado, e em parte pelo fundo da célula. As pressões perpendiculares às paredes são denominadas de pressões horizontais e as pressões paralelas às paredes são denominadas de pressões verticais.

A determinação das pressões de forma direta vem sendo estudada por diversos pesquisadores nos últimos anos. Embora seja o modelo mais utilizado em todo mundo, a previsão das pressões atuantes nas paredes e fundo, devido ao produto armazenado, é bastante complexa e há divergências entre diversos pesquisadores e as normas estrangeiras. Tal complexidade é decorrente de heterogeneidades dos parâmetros dos produtos. Observam-se diferentes resultados obtidos experimentalmente para as pressões horizontais, verticais e a relação entre elas, parâmetro K (Hezel, 2007).

A relação entre as pressões horizontal e vertical em qualquer ponto de uma massa granular é definida como parâmetro K. Esse é um dos parâmetros necessários para o cálculo das pressões que o produto exerce sobre as paredes e fundo de um silo (CALIL, 1997).

Segundo Gomes (2000), os valores de pressão fornecidos pelas teorias e normas internacionais são bastante divergentes para as pressões ativas nas paredes de silo. Através de experimentos com células de carga, determinou as curvas para pressões nas paredes dos silos horizontais (Figura 4), estimadas pelas modelos teóricos de Rankine, Safarian & Harris, Coulomb, Airy, Reimbert & Reimbert e as normas internacionais: AS 3774 (1996) e ANSI EP 545 (1996).

Figura 4 – Pressões ativas nos painéis verticais de silo horizontal


Fonte: Gomes (2000), adaptado pelos próprios autores.

De acordo com Gomes (2000), as pressões ativas nos painéis verticais devem ser calculadas utilizando-se de alguns parâmetros do produto como: peso específico, ângulo de atrito interno, ângulo de atrito com a parede e o coeficiente K, de acordo com as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Peso específico dos produtos comuns das normas ENV, ISO, AS, BMHM, DIN e NBR

PRODUTO	ENV		ISO		AS		BMHM		DIN		NBR	
	γ_m	γ_u										
	KN/m ³											
Cevada	7,5	8,5	7,5	8,5	7,0	8,5	7,5	8,5	8,0	-	7,0	-
Cimento	14,0	16,0	14,0	16,0	13,0	16,0	13,0	16,0	16,0	-	14,0	-
Clinquer	16,0	18,0	14,0	16,0	15,0	18,0	-	-	18,0	-	15,0	-
Areia seca	14,0	16,0	14,0	16,0	14,0	17,0	15,0	17,0	16,0	-	-	-
Farinha	6,0	7,0	6,5	7,5	6,5	7,5	7,0	7,5	7,0	-	5,0	-
Cinzas	12,0	14,0	11,0	13,0	8,0	11,5	8,0	10,0	12,0	-	-	-
Milho	7,5	8,5	7,5	8,5	7,0	8,5	7,5	8,5	8,0	-	7,5	-
Açúcar	8,0	9,5	9,0	10,0	8,0	10,0	9,0	10,0	9,5	-	7,5	-
Trigo	8,0	9,0	7,5	8,5	7,5	9,0	8,0	9,0	9,0	-	7,8	-
Carvão	9,0	10,0	9,0	10,0	8,5	11,0	-	-	10,0	-	8,5	-

Fonte: Freitas (2001) modificado pelo autor.

Onde:

γ_m = valor médio do peso específico

γ_u = valor do limite superior do peso específico

Tabela 2 – Limites de K em função do ângulo de atrito interno

Coeficiente K - milho		
Φ_i (graus)	Limite Inferior (LI)	Limite Superior (LS)
32	0,307	0,560
35	0,271	0,505

Fonte: Gomes (2000), adaptado pelos próprios autores.

Para a determinação das pressões nas paredes dos silos horizontais, Gomes (2000) recomenda utilizar a expressão matemática: (Equação 1), com os valores definidos acima. Para obtenção das pressões mais desfavoráveis, Calil (1997) propõe, de acordo com a norma australiana AS 3774 (1996), que em termos de projeto, sejam determinados limites inferior e superior para cada parâmetro. A adequada utilização desses limites está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites apropriados para as propriedades físicas

Aplicação da propriedade	Peso específico produto (γ)	Ângulo de atrito com parede (Φ_w)	Ângulo de atrito Interno (Φ_i)	Relação entre p_h / p_v Fator K
Tipo de fluxo massa funil	Inferior Inferior	Superior Inferior	Inferior Superior	- -
Cálculo da máxima pressão Horizontal na parede - p_h	Superior	Inferior	Inferior	Superior
Cálculo da máxima pressão Vertical - p_v	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Força máxima de atrito na parede do silo - p_w	Superior	Superior	Inferior	Superior
Força vertical máxima na tremonha	Superior	Inferior	Superior	Inferior

Fonte: AS 3774 (1997).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, as ações devem ser majoradas pelo coeficiente de ponderações das ações. Calil e Cheung (2007) apresentaram a Tabela 4 como sugestão dos coeficientes de ponderação das ações, que atendem os valores da referida norma.

Tabela 4 – Coeficientes de ponderação das ações

AÇÕES		Estado Limite Ultimo	Estado Limite Utilização
Permanentes		1,4	1,0
Pressões do produto	estática	1,4	1,0
	fluxo	1,4	1,0
	especiais	1,2	1,1
Térmicas		1,2	1,0
Vento		1,4	1,0

Fonte: Calil e Cheung (2007).

Para determinação da pressão horizontal máxima, utilizaremos a Equação 1 (Gomes, 2000):

Valores adotados:

$\gamma = \gamma_u = 8,5 \text{ kN/m}^3$ (da Tabela 1)

$h = 3,0 \text{ m}$ (projeto do armazém – altura do painel)

$K = 0,55$ (limite superior da recomendação de GOMES, 2000).

Com utilização dos valores adotados para o dimensionamento das pressões horizontais, $p_{h,max}$ para $h = 3,00 \text{ m}$; $\gamma = 8,5 \text{ kN/m}^3$; $K = 0,55$ e o coeficiente de ponderação das ações para o Estado Limite de Utilização, $\gamma_f = 1$ (Tabela 4), tem-se:

$p_{h,max} = 14,03 \text{ kN/m}^2$ (Carregamento na borda inferior do painel).

2 METODOLOGIA, CARREGAMENTOS E VINCULAÇÕES

2.1 METODOLOGIA

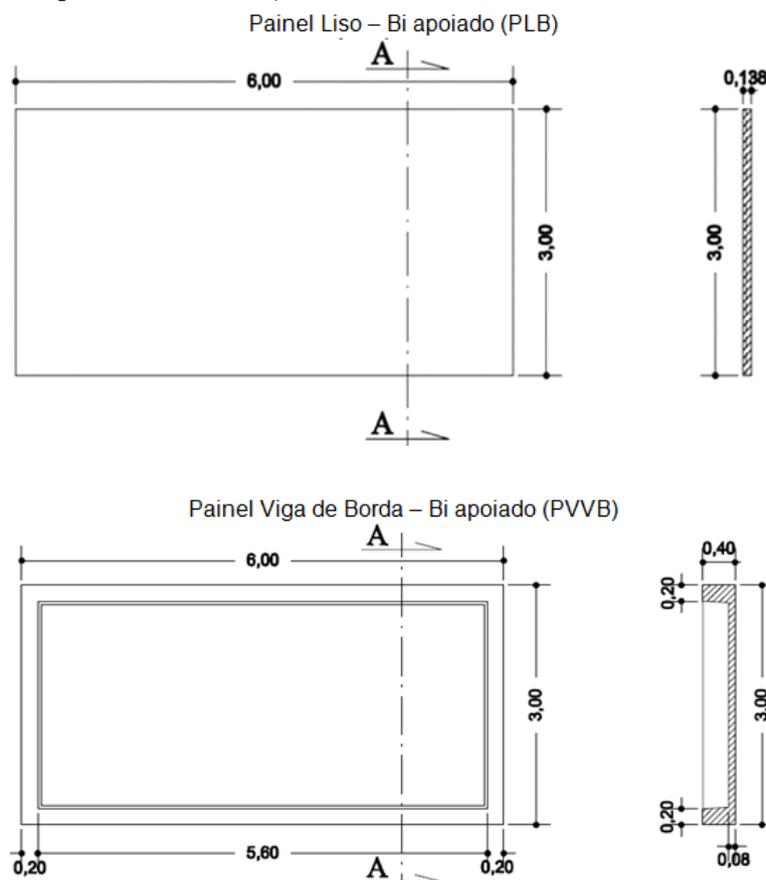
Este trabalho centra-se no estudo comparativo de alternativas estruturais para paredes em painéis pré-moldados de concreto para silos horizontais, realizando primeiramente a determinação das pressões exercidas na parede pelos produtos armazenados, objetivando o dimensionamento estrutural dos painéis pré-moldados. O estudo desenvolvido no presente trabalho é constituído de três etapas principais:

1. Definição e cálculo das ações exercidas pelo produto agrícola armazenado (milho), nos painéis verticais que compõe as paredes do armazém graneleiro horizontal;
2. Determinação dos esforços solicitantes dos painéis verticais, gerados pelas ações definidas na etapa anterior, pelo Método dos Elementos Finitos utilizando o *software* SAP 2000 – V14.
3. Na etapa de dimensionamento, serão calculadas as armaduras de cada tipo de painel, acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014.

Para este trabalho, foi adotado um silo horizontal não elevado, com dimensões 42,0 m x 96,0 m e 3,0 m de altura de paredes verticais (painéis), com modulação de 6,0 m dos pilares, com fundo tipo V (Figura 1).

Os 6 (seis) painéis analisados possuem as seguintes dimensões externas: 6,00 m de comprimento e 3,00 m de altura (Figura 5 – sem restrições ao deslocamento horizontal na borda inferior e Figura 6 – com restrições ao deslocamento horizontal na borda inferior). Definiu-se, neste trabalho, pelas espessuras mais usuais dos painéis para o comprimento de 6,00 m, com volume de concreto de cada painel sendo de 2,48 m³, equivalente a espessura de 13,8 cm (0,138 m) para painel liso.

Figura 5 – Painéis bi apoiado, sem restrição horizontal na borda inferior



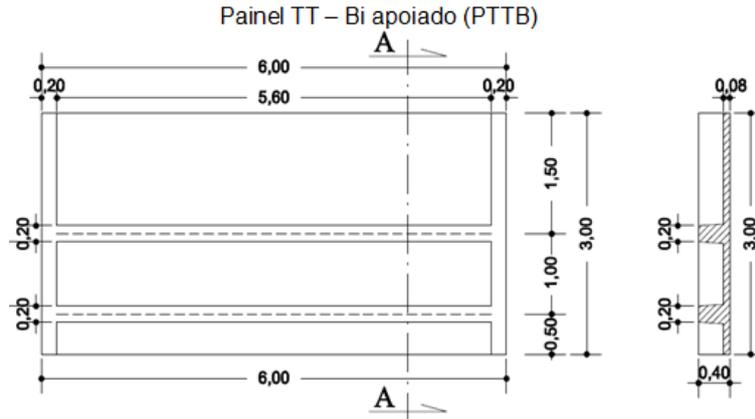
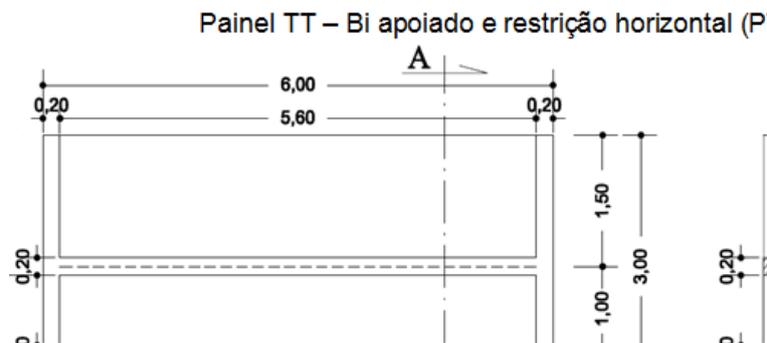
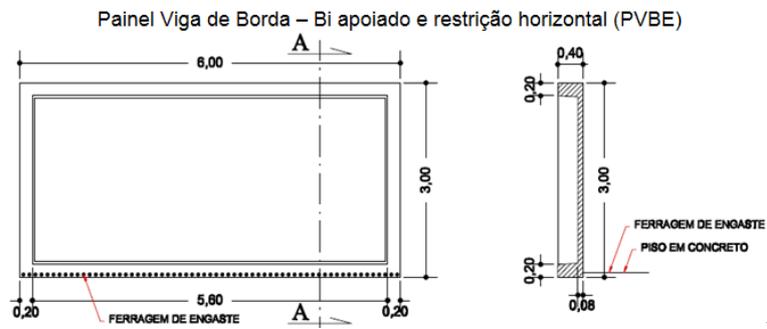
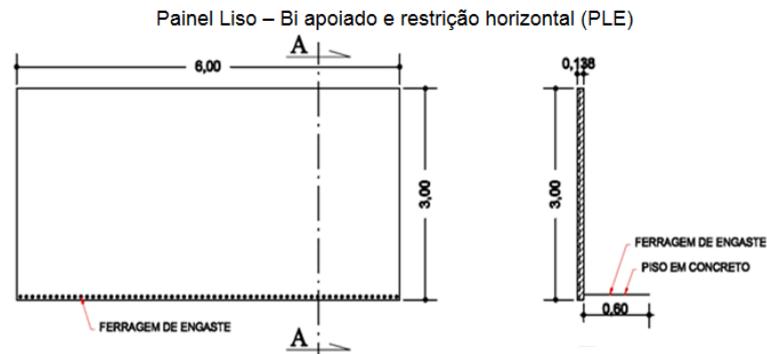


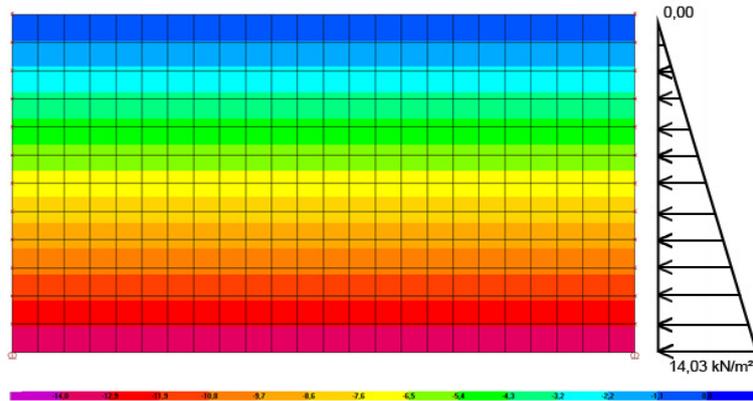
Figura 6 – Painéis bi apoiado, com restrição horizontal na borda inferior



2.2 CARREGAMENTOS E VINCULAÇÕES

Para este trabalho, os modelos em elementos finitos foram definidos e processados no programa SAP2000. Os painéis foram modelados utilizando-se elementos de cascas (*shell*), os quais foram carregados com carga distribuída linear, com formato triangular (Figura 7), variando de 0,00 kN/m² até 14,03 kN/m².

Figura 7 – Carregamento dos painéis verticais



Os painéis foram projetados para transferir o peso próprio e a ação do carregamento de cereais para a estrutura principal. Para que isso ocorra, a escolha dos movimentos liberados e o posicionamento das ligações entre o painel pré-moldado e a estrutura principal são de fundamental importância no comportamento, tanto dos painéis, como da estrutura. Na Figura 8 estão mostradas as vinculações típicas dos painéis PLB, PVBB e PTTB, com os movimentos liberados na estrutura principal e na Figura 9 estão mostradas as vinculações típicas dos painéis PLE, PVBE e PTTE, que possuem restrição total de deslocamento horizontal na borda inferior dos painéis. Os símbolos das vinculações dos painéis e ligações estão demonstrados na Figura 10.

Figura 8 – Vinculações dos painéis apenas nos pilares

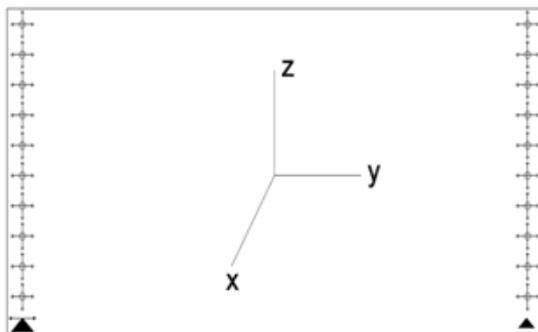


Figura 9 – Vinculações dos painéis apoiados nos pilares e com restrição horizontal na borda inferior

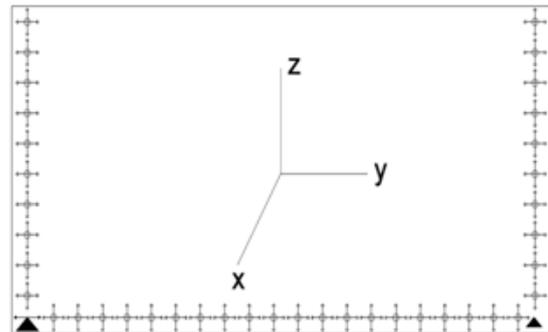


Figura 10 – Simbologia das vinculações dos painéis

Símbolo	Deformações impedidas			Ligação
	Ligação			
	x	y	z	
	•	•	•	Apoio vertical fixo esforços em X,Y e Z
	•		•	Apoio vertical móvel esforços em X e Z
	•			Apoio perpendicular esforços em X

3 RESULTADOS

3.1 RESULTADOS PELO MÉTODOS DOS ELEMENTOS FINITOS – M.E.F

3.1.1 DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

As Figuras 11 a 16 mostram os deslocamentos horizontais nos painéis verticais devido à ação da pressão horizontal exercidas pelo produto.

Figura 11 – Deslocamento do painel liso bi-apoiado sem restrições – Valor máximo= 2,55 cm na borda inferior

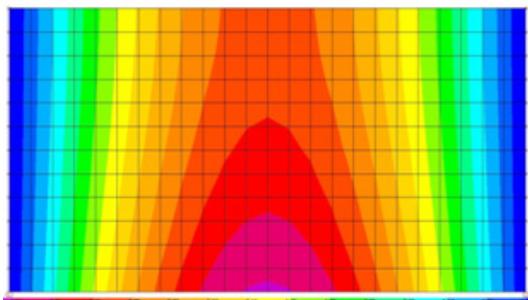


Figura 12 – Deslocamento do painel liso bi-apoiado com restrição horizontal na borda Inferior. Valor máximo=0,70 cm

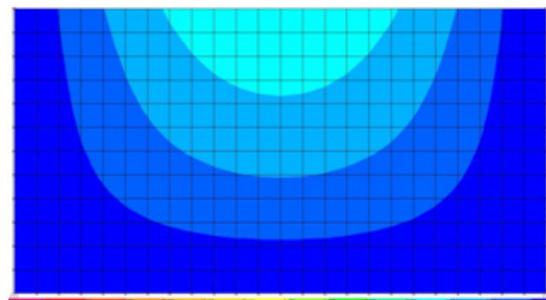


Figura 13 – Deslocamento do painel com vigas nas bordas bi-apoiado sem restrições. Valor máximo= 0,93 cm

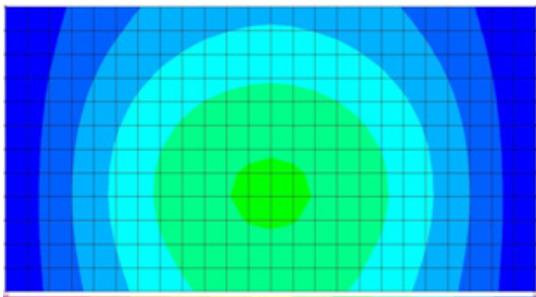


Figura 14 – Deslocamento do painel com vigas nas bordas com restrição horizontal na borda inferior. Valor máximo =0,43 cm

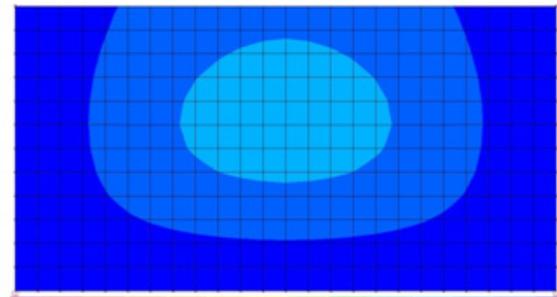


Figura 15 – Deslocamento do painel TT bi-apoiado sem restrições. Valor máximo = 0,76 cm

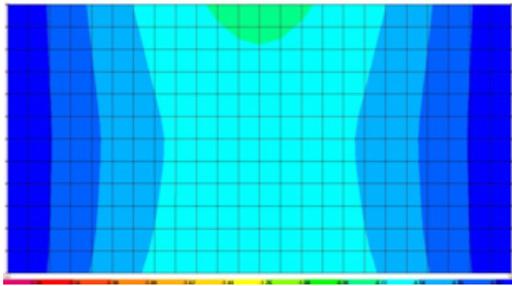
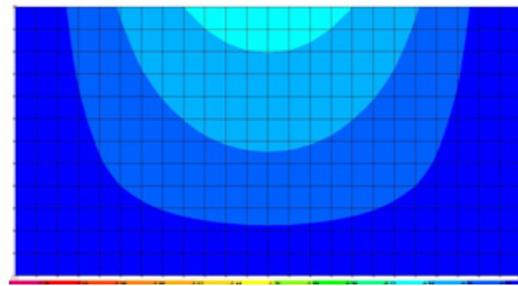


Figura 16 – Deslocamento do painel TT com restrição na borda inferior. Valor. máximo= 0,63 cm



3.1.2 MOMENTOS FLETORES M_y DOS PAINÉIS

As Figuras 17 a 22 mostram os momentos fletores M_y (M_{11}) nos painéis verticais devido a ação da pressão horizontal exercidas pelo produto.

Figura 17 – Momento M_y do painel liso bi apoiado, sem restrições. Valor max = 35,21 kN.m/m

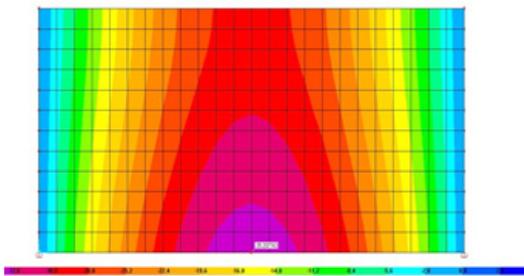


Figura 18 – Momento M_y do painel liso bi apoiado, com restrições horizontal na borda inferior. V. max = 9,56 kN.m/m

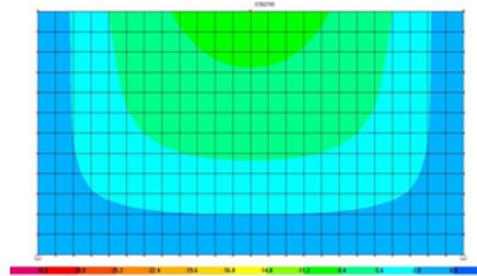


Figura 19 – Momento M_y do painel com vigas nas bordas, bi apoiado. Valor max= 3,17 kN.m/m.

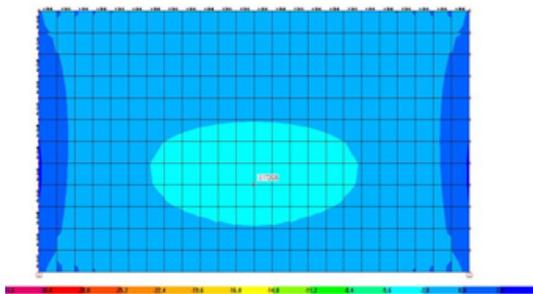


Figura 20 – Momento M_y do painel com vigas nas bordas e restrição na borda inferior. Valor max= 1,73 kN.m/m.

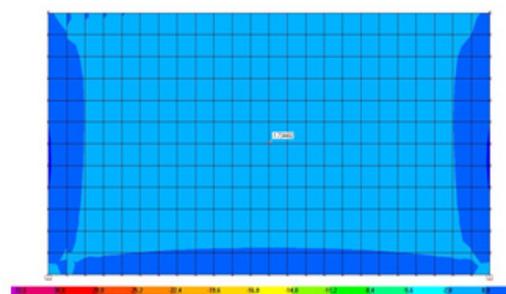


Figura 21 – Momento M_y do painel TT, bi apoiado. Valor max= 2,05 kN.m/m.

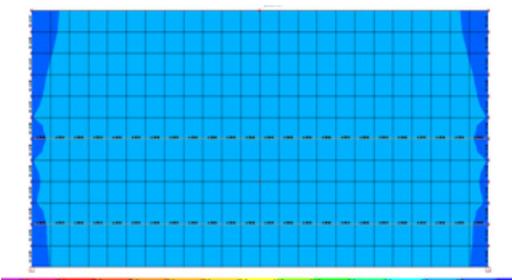
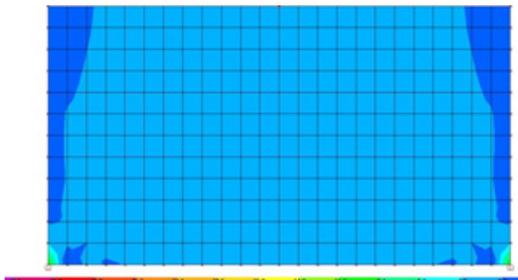


Figura 22 – Momento M_y do painel TT, bi apoiado e restrição na borda inferior. Valor max= 1,77 kN.m/m.



3.1.3 MOMENTOS FLETORES M_x DOS PAINÉIS

As Figuras 23 a 28 mostram os momentos fletores M_x (M_{22}) nos painéis verticais devido à ação da pressão horizontal exercidas pelo produto.

Figura 23 – Momento M_x do painel liso bi apoiado, sem restrições. Valor max. = 2,69 kN .m/m.

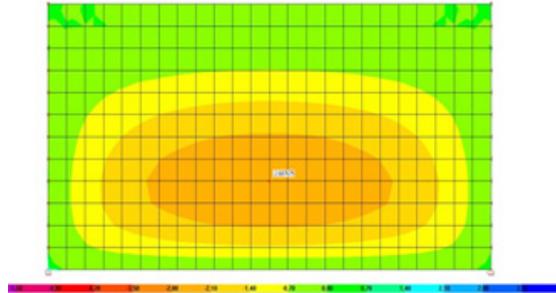


Figura 24 – Momento M_x do painel liso bi apoiado e restrição na borda inferior. Valor max= 6,02 kN .m/m.

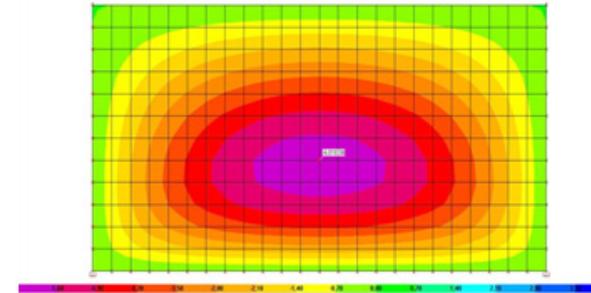


Figura 25 – Momento M_x do painel com vigas nas bordas, bi apoiado. Valor max = 4,16 kN .m/m.

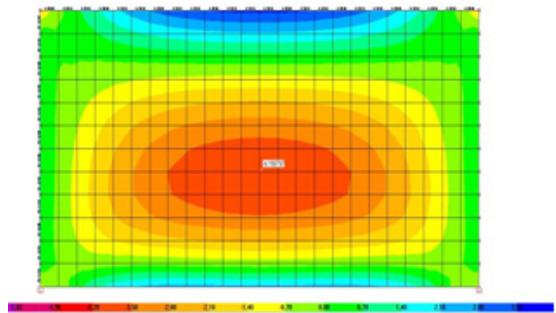


Figura 26 – Momento M_x do painel com vigas nas bordas, e restrição na borda inferior. Valor max = 3,79 kN .m/m.

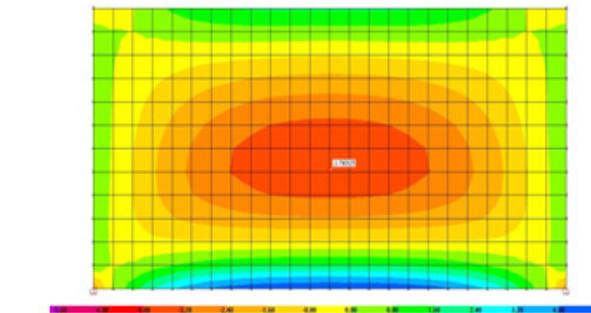


Figura 27 – Momento M_x do painel TT, bi apoiado. Valor max= 1,64 kN .m/m.

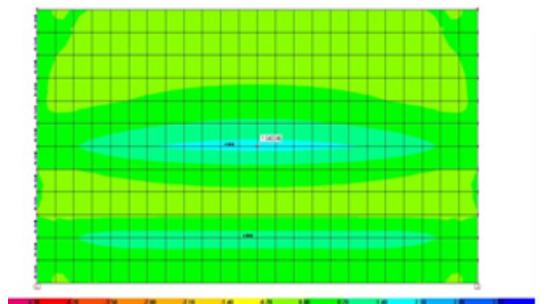
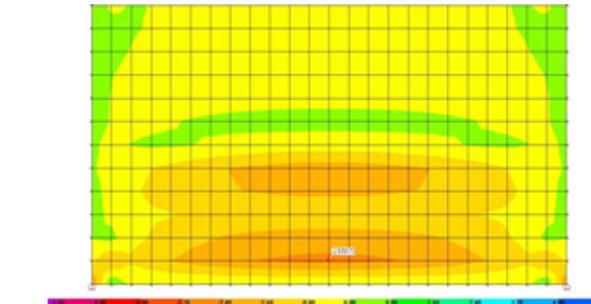


Figura 28 – Momento M_x do painel TT, apoiado e restrição na borda inferior. Valor max= 2,57 kN .m/m.



3.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS

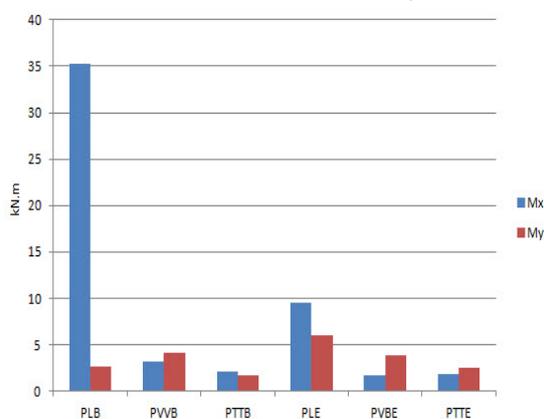
Os painéis foram dimensionados e detalhados considerando-os apoiados nos pilares. Os pilares e fundação não foram detalhados neste trabalho. O dimensionamento foi executado obedecendo às especificações prescritas pela ABNT NBR 6118:2014.

A Tabela 5 a seguir, demonstra o comparativo dos resultados da análise pelo M.E.F. e dimensionamento dos painéis, de acordo com a NBR 6.188 : 2014. A taxa de consumo de aço / ferragem por volume de concreto (Taxa A_s/C, em kg/m³) e os custos de reprodução, baseados na tabela SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos da Caixa Econômica Federal (Tabela PCI 817.01).

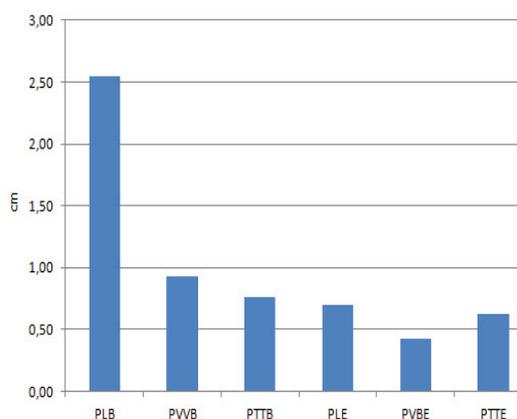
Tabela 5 – Comparativo dos resultados da análise, dimensionamento e custos dos painéis

PAINEL	M_x max kN.m	M_y max kN.m	Deslocamento cm	Taxa A_s/C kg/m ³	Custo R\$
PLB	35,21	2,69	2,55	91,3	2.562,02
PLE	9,56	6,02	0,70	73,8	2304,80
PVBB	3,17	4,16	0,93	87,1	2567,83
PVBE	1,73	3,79	0,43	74,6	2.384,25
PTTB	2,05	1,64	0,76	91,8	2.838,86
PTTE	1,77	2,57	0,63	81,6	2.513,83

Os resultados dos momentos máximos e deslocamentos máximos dos painéis foram sintetizados nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 – Momentos máximos M_y e M_x


Fonte: Próprios autores.

Figura 30 – Deslocamentos máximos


Fonte: Próprios autores.

4 CONCLUSÕES

As principais conclusões a respeito do estudo da análise estruturais em painéis de concreto pré-moldado de silos horizontais, com base nos resultados obtidos, são listados a seguir.

- Os painéis que possuem vinculação ao piso do silo horizontal (PLE, PVBE e PTTE, devido ao deslocamento nulo nessa região, promove estanqueidade do conjunto parede/piso, impedindo danos no produto armazenado. Quanto à estanqueidade de silo horizontal, a utilização desse painéis é adequado. Essa disposição construtiva, com a vinculação do painel liso ao piso do silo horizontal traz a vantagem da redução dos esforços nos blocos de fundação que suportam os pilares verticais, uma vez que parte significativa de carga é absorvida pelo piso do silo.
- Os painéis liso bi-apoiado e com restrição ao deslocamento horizontal - PLE e painel com vigas nas bordas e restrição ao deslocamento horizontal - PVBE apresentaram os menores custos de fabricação. O custo de fabricação do PVBE é somente 3,5 % superior ao PLE, sendo as alternativas estruturais mais viáveis economicamente.
- O painel com vigas nas bordas e restrição ao deslocamento horizontal - PVBE apresentou o menor deslocamento dos painéis analisados, sendo 0,43 cm no centro do painel e de 0,32 cm na borda superior do painel. O deslocamento máximo do PVBE é 16,87% inferior ao deslocamento do painel PLB. Este tipo de painel é a solução técnica mais recomendada.
- O painel TT bi-apoiado e com restrição ao deslocamento horizontal - PTTE apresentou custo de fabricação superior em 9,06 % ao painel PLE e 5,43% ao painel PVBE, ambos com as mesmas

- características de apoio e vinculação junto ao piso.
- e. O painel PLB, liso e bi apoiado apresentou deslocamento máximo de 2,55 cm, superior ao limite de $l/500$ (1,20 cm), não sendo recomendado tecnicamente e nem economicamente para o vão entre pilares de 600 cm.
 - f. Os painéis lisos tipo PLB e PLE são os de mais simples fabricação e montagem em campo, com utilização de formas planas, com custo e tempo de fabricação inferior aos demais tipos de painéis.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI/ASAE. *Loads exerted by free-flowing grain on shallow storage structures. EP 545*. Washington, DC, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos*. NBR 6118-14. Rio de Janeiro, 2014.
- AUSTRALIAN STANDARD. *Loads on bulk containers. AS 3774*. Sydney, 1996.
- CALIL, Jr. C. *Recomendações de fluxo e de cargas para projetos de silos verticais*. Livre Docente. Tese, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 1997.
- CASTILHO, V. C. *Análise estrutural de painéis de concreto pré-moldado considerando a interação com a estrutura principal*. Mestrado, Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 1998.
- CHEUNG, A. B. *Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para estimativa de confiabilidade estrutural em silos esbeltos*. Doutorado. Tese, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2007.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Armazenagem Agrícola no Brasil*. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20/05/2016.
- Computers and Structures, Inc. *SAP 2000, Integrated software for structural analyses and design, v 14.0.0*, Berkeley, CA, 2009.
- ENGEbase – OBRAS RURAIS E URBANAS LTDA. Disponível em: <www.engabase-rs.com.br>. Acesso em: set. 2016.
- FREITAS, E. G. A. *Estudo teórico experimental das pressões em silos cilíndrico de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano*. 2001. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2001.
- GOMES, F. C. *Estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais*. Doutorado. Tese, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2000.
- HEZEL, C. R. *Avaliações das pressões em silos verticais conforme diferentes normas internacionais*. Mestrado, Escola de Engenharia Agrícola da UNIOESTE, PR, 2007.
- MESQUITA, J. L. M. et al. *Avaliação do Sistema Brasileiro de Armazenagem Convencional e a Granel: um estudo apoiado em Análise Envoltória de Dados (DEA)*. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. UEL, Londrina, PR, 2007.
- PAULA, G. F. *Interação entre painéis pré-moldados de concreto e a estrutura principal por meio de modelos numéricos em elementos finitos*. Mestrado, Dissertação, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2007.
- RASI, J. R. *Estudo comparativo de sistemas construtivos de silos horizontais*. Especialização. Monografia, Escola de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2009.

Structural analysis of precast concrete panels of horizontal silos

ABSTRACT

This paper aims to present studies of various structural alternatives for precast concrete walls which can be used for horizontal silos considering the implementation of actions caused by the earth pressure of the stored products. The Horizontal pressure was determined by the Gomes (2000) model. The displacements and the bending moment through the finite element method, manufacturing costs and presents the results of each panel type studied were determined and compared with the results obtained.

Six types of panels with the same concrete volume were assessed: Flat panel bi-supported, panel with exposed edges beans bi-supported, and panel TT bi-supported, flat panel bi-supported and supported by floor, panel with exposed edges beans bi-supported and supported by floor and panel TT bi-supported and supported by floor. These panels were considered initially as vertical slabs with horizontal load subjected to two conditions of support: Simply supported on two pillars precast reinforced concrete and simply supported on two pillars precast reinforced concrete floor and the horizontal silo through embed hardware. The concrete columns and floors were admitted no displacement.

The studies conducted in this work indicate that the panel bi-supported had the highest simply supported had the biggest displacement. The panel with exposed edges beans bi-supported and supported by floor was the alternative structure which had the lowest maximum displacement and the flat panel simply supported and supported by floor was the lower cost alternative manufacturing. The flat panel bi-supported presented excessive displacement in the higher loading.

Keywords: Horizontal silos. Pre-cast panel. Stress.