



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

COMPARAÇÃO ENTRE CARGA HIDROSTÁTICA E CARGA DE GRÃOS NO DIMENSIONAMENTO DE UM RESERVATÓRIO DE FERTILIZANTE GRANULADO DE UMA ADUBADORA

Fábio Massahide Santos Tanaka, fabiomstanaka@gmail.com¹
Prof. Dr. Edson Antonio Capello Souza, capello@feb.unesp.br²

¹Universidade Estadual Paulista - Bauru, Rua Dr. Sebastião Mônico, 49 CEP.:17507-600 - Jd. Riviera - Marília/SP

²Universidade Estadual Paulista - Bauru, Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 CEP.:17033-360 Vargem Limpa - Bauru/SP

Resumo: Reservatórios são estruturas utilizadas no armazenamento e transporte de materiais de natureza líquida ou granulada. Exemplos de aplicações para transporte de líquidos são caminhões tanque, pulverizadores agrícolas, para transporte de grãos pode-se citar caçamba de caminhões basculantes e caçamba de adubadoras agrícolas. No projeto de reservatórios, é comum considerar o comportamento de produtos granulados e em forma de pó, igual ao comportamento dos produtos líquidos, seja pelo desconhecimento por parte do projetista, seja por escassez de informação das propriedades dos produtos em forma de grãos, assim muitas vezes se torna mais prático optar por utilizar o carregamento hidrostático para o cálculo de reservatórios de grãos. Nesse contexto o foco do presente trabalho está em apresentar um estudo comparativo entre carga hidrostática e carga de produtos em forma de grãos (segundo a teoria desenvolvida por Janssen para silos), aplicadas em um reservatório do tipo prismático utilizado comumente para o transporte e aplicação de fertilizantes granulados, estabelecendo-se condições em que se pode utilizar a carga hidrostática e condições em que a sua utilização se torna proibitiva e a aplicação da teoria de Janssen se faz necessária. O objetivo do presente trabalho é apresentar um estudo comparativo teórico para dimensionamento estático de reservatórios prismático, empregados em máquinas agrícolas utilizadas para transporte de fertilizante granulado. As teorias foram aplicadas em um reservatório, e verificou-se o resultado de tensões e deformações através do método de elementos finitos, para isso utilizou-se um fertilizante granulado, comumente empregado na operação de adubação. Dessa forma observou-se que a teoria para grãos desenvolvida por Janssen em comparação com a teoria de cargas hidrostáticas é uma boa alternativa para o dimensionamento de reservatório de grãos, podendo-se reduzir o peso de um reservatório prismático.

Palavras-chave: Reservatórios, Produto Granulado, Elementos finitos, Dimensionamento, Adubação.

1. INTRODUÇÃO

Reservatórios são estruturas utilizadas para o armazenamento ou transporte de produtos de natureza líquida ou sólida (em forma de grãos ou pó), podendo ser construída de materiais plásticos, metálicos, orgânicos (madeira) entre outros. O termo reservatório é comum ser utilizado para equipamentos agrícolas. Reservatório é também sinônimo de silo, e segundo Cheung (2007), silo é uma unidade de armazenagem e engloba também máquina para processamento, conservação, mistura e transporte. A diferença entre o silo propriamente dito, utilizado comumente para armazenagem de produtos granulados e o reservatório está no tamanho, sendo os silos proporcionalmente maiores e também pelo fato do reservatório ser utilizado montado em um veículo, o que remete à condição dinâmica a qual o veículo e o reservatório estão sujeitos, diferentemente do silo que trabalha na condição estática.

Equipamentos agrícolas são produtos que devem apresentar robustez, confiabilidade aliados a uma baixa manutenção, é por isso que muitas vezes o paradoxo entre segurança e economia comumente presente em projetos de engenharia se desequilibra tendendo para o lado da segurança no caso dos equipamentos agrícolas, por isso em muitas das vezes o projetista ou engenheiro opta por privilegiar a segurança. A busca do conhecimento dos fenômenos envolvidos e uma melhor compreensão das teorias a serem empregadas são dois fatores que auxiliam na quebra do paradigma que projetos de máquinas agrícolas não possuem evolução. Nesse ensejo, entra o projeto de reservatórios para produtos granulados utilizados para o transporte e aplicação de insumos agrícolas tais como fertilizante e calcário. Conforme Horabik et al. (1998), existe uma boa oportunidade do projetista de reservatório trabalhar no alívio do peso ao se utilizar reservatórios do tipo cônicos e em conjunto com a teoria de Janssen (1895). Historicamente têm-se registros de utilização de carregamentos hidrostáticos para dimensionamentos de silos. Porém, existem outras teorias mais apropriadas que podem ser aplicadas para determinar o carregamento ou pressões em silo, ou reservatórios, resultantes dos produtos armazenados. Independente de qual teoria será utilizada, deve ficar claro em qual caso pode-se optar por uma ou outra abordagem.

Um dos primeiros registros que se tem informação a respeito da construção de estruturas para armazenamento de produtos granulados data de 1870 a 1880, sendo que os projetistas acreditavam que o material em grão gerava o mesmo tipo de carregamento que os líquidos, em outras palavras eles acreditavam que o produto com características de grão produzia pressões hidrostáticas. Após alguns anos surgiu o primeiro indício de que os grãos diferenciavam no comportamento em relação aos líquidos quando Roberts (1884), após ter feitos ensaios descobriu que as pressões nas paredes dos silos, pressões verticais, aumentavam linearmente com a altura até um determinado ponto a partir do qual o comportamento mudava e não era mais proporcional a altura. A partir daí ele concluiu que uma parcela do peso do produto era transferida por meio do atrito entre as partículas de grão para a parte lateral do reservatório, ou seja, as paredes do reservatório sofriam uma pressão lateral, também chamada de pressão vertical. Como resultado da característica do grão de descarregar parcela do carregamento de produto por atrito para as laterais das paredes do silo, as pressões verticais a partir de determinado ponto eram menores se comparadas às pressões dos líquidos.

A primeira teoria para cálculo de pressões em silos foi proposta por Janssen (1895) para silos de formato cilíndricos, que consistia em analisar uma fatia infinitesimal do produto armazenado através do equilíbrio de forças. Originalmente a teoria foi desenvolvida para se encontrar as pressões na estrutura do reservatório, mas também pode ser utilizada para o cálculo das pressões médias no produto. Mais tarde esse mesmo método foi generalizado para cálculo de pressões em silos convergentes, ou também chamado de tremonha. Além da teoria proposta por Janssen, outros pesquisadores elaboraram outras abordagens para calcular as pressões, Jenike (1968) foi um deles, porém a sua proposta se fundamentava através da teoria de Janssen. Após alguns anos empregando-se a teoria de Janssen para o dimensionamento de estruturas de armazenagem de grãos, em 1930 ocorreram diversas falhas em tais estruturas, motivando assim outros cientistas a investigar mais a fundo o assunto. Através dos estudos motivados pelas falhas Prante et. al apud Jenike descobriram que na proposição de Janssen considerava-se a condição de carregamento estático, e que as condições de carga e descarga do reservatório ocasionavam as maiores pressões. Dessa maneira eles elaboraram teorias para as condições onde caracterizavam um fluxo de material no silo. E a teoria de Janssen ficou definida para ser utilizada nas condições de estáticas apenas, ou seja, quando não houvesse fluxo de material na estrutura. Atualmente existem três vertentes segundo Ayuga (1995) no que diz respeito ao estudo de silos. Pode-se citar o estudo através de modelos em tamanhos reais ou em escala como feito por Pinheiro et al (2008), uma outra vertente seria o estudo do fluxo das partículas através por meio de elementos finitos como feitos por Balevicius e Markauskas (2007). A última linha de pesquisa está dedicada a estudar o comportamento dos materiais.

Este trabalho se propõe a realizar um estudo comparativo entre as teorias de cargas hidrostáticas e a teoria de pressões determinadas por grãos para a condição estática para reservatórios, pois diferentemente dos silos os reservatórios de adubadora apresentam um fluxo muito pequeno de material, quase desprezível, e que neste trabalho a fim de simplificarmos consideraremos nulo. Sendo assim a teoria de Janssen apresenta uma boa opção para este trabalho. Outro ponto a ser observado é que serão aplicadas as teorias e as nomenclaturas utilizadas para os cálculos de silos em reservatórios de máquinas agrícolas por entender que os silos englobam também os sistemas destinados a transporte de produtos granulados conforme definido por Cheung (2008)

Sendo assim, o foco principal do trabalho é apresentar um estudo comparativo teórico para o dimensionamento estático de reservatórios do tipo prismático, empregados em máquinas agrícolas utilizadas para transporte de fertilizante granulado, através da aplicação das teorias em um reservatório, verificando o resultado de tensões e deformações com o auxílio do método de elementos finitos. Utilizando-se para isso um fertilizante comumente empregado na operação de adubação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Teoria de Janssen e Walker

A teoria proposta por Janssen (1895) inicialmente destinava-se para o emprego em reservatórios de seção transversal constante, prevendo que a distribuição de pressões era exponencial, até que Walker (1966) entendeu a teoria para formatos convergentes. Esta abordagem será utilizada no presente trabalho, que estuda reservatórios prismático e este por sua vez apresenta uma região convergente também conhecida como tremonha. A teoria proposta por Walker mais tarde fora melhorada por vários outros e compiladas por Drescher (1991). Esta teoria, originalmente utiliza uma fatia infinitesimal do reservatório prismático, para se fazer o equilíbrio estático. A fatia infinitesimal do reservatório está representada na Fig. (1) a seguir:

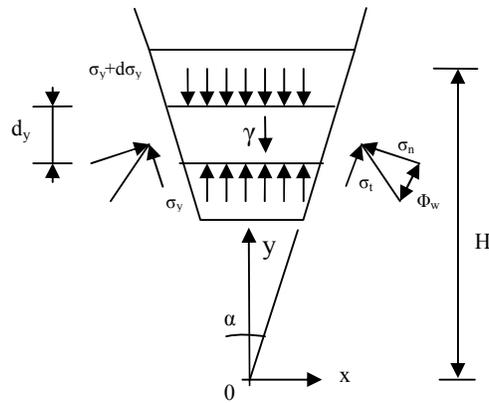


Figura 1. Fatia infinitesimal de um reservatório convergente, Janssen (1895) e Walker (1966)

Onde:

- σ_y – pressão ou tensão vertical;
- σ_n – pressão ou tensão normal às paredes;
- σ_t – pressão ou tensão tangencial às paredes;
- γ – peso específico do produto analisado.

A variação da largura do reservatório é tida como $b = y \cdot \tan(\alpha)$

Equilíbrio da fatia infinitesimal na direção y:

$$2 \cdot y \cdot \tan \alpha \cdot \sigma_y - 2 \cdot \tan \alpha (y + dy) \cdot (\sigma_y + d\sigma_y) + 2 \cdot dy \cdot (\sigma_n \cdot \tan \alpha + \sigma_t) - 2 \cdot \gamma \cdot y \cdot dy \cdot \tan \alpha = 0$$

Dividindo-se toda a equação por $2 \cdot y \cdot \tan(\alpha) \cdot dy$ e desprezando-se o termo $2 \tan(\alpha) \cdot d\sigma_y \cdot dy$ por ser um valor muito pequeno temos:

$$\frac{d\sigma_y}{dy} + \frac{1}{y} \cdot \left(\sigma_y - \sigma_n - \frac{\sigma_t}{\tan \alpha} \right) + \gamma = 0$$

Esta equação é aplicável para reservatórios de seção trapezoidal, para seção prismática alguma uma pequena alteração deverá ser adicionada; desta forma a equação ficará:

$$\frac{d\sigma_y}{dy} + \frac{m}{y} \cdot \left(\sigma_y - \sigma_n - \frac{\sigma_t}{\tan \alpha} \right) + \gamma = 0$$

O coeficiente m aparece justamente para diferenciarmos quando se utiliza reservatórios de seção trapezoidal ou prismática. Assim m assume o valor de 1 para reservatórios planos ou de seção trapezoidal e 2 para formas tridimensionais ou prismáticas.

Através de exaustivos testes, Janssen relacionou as pressões tangenciais com as pressões normais, a relação entre a pressão normal e a tangencial é dada pelo ângulo de atrito do produto com a superfície da parede do reservatório. Que será discutido com mais detalhes posteriormente com as propriedades do material. Assim tem-se:

$$\sigma_n = \sigma_t \cdot \cot \phi_w$$

Janssen também propôs um coeficiente K para relacionar as pressões verticais com as pressões normais, sendo assim tem-se:

$$\sigma_n = K \cdot \sigma_y \cdot \cot \phi_w$$

Dessa forma a equação diferencial reduz para:

$$\frac{d\sigma_y}{dy} + \frac{m.N.\sigma_y}{y} + \gamma = 0$$

Onde:

$$N = 1 - K.(\cot \alpha + \cot \phi_w)$$

Realizando-se a integração obtêm-se:

$$\sigma_y = \frac{-\gamma.y}{1+m.N} + C.y^{-m.N}$$

Sendo que C é a constante de integração.

O valor da constante pode ser obtido através das condições de contorno.

Se o reservatório estiver vazio ela é zero, se estive cheio acha-se o valor da pressão vertical no início da parte convexa do reservatório.

Para o caso de silo vazio a equação obtém a seguinte forma:

$$\sigma_y = \frac{-\gamma.y}{1+m.N} \left(-\frac{H^{-m.N}}{y} \right)$$

2.2. Propriedades do material

Um fator importante que influencia diretamente nos cálculos é a propriedade do material utilizado no reservatório, conforme discutido anteriormente, os materiais granulados diferem dos líquidos por apresentar atrito entre as partículas, e nos líquidos o atrito pode ser considerado nulo. Por isso é imprescindível definir as propriedades do material antes de posterior discussão.

Diversas propriedades podem ser citadas para caracterização de uma determinada substância granulada, como por exemplo:

- Granulometria;
- Densidade específica

Porém para o cálculo baseado na teoria de Janssen as seguintes propriedades são bastante relevantes;

- Ângulo de atrito interno (Φ_i);
- Ângulo de atrito com a parede do reservatório (Φ_w).

O ângulo de atrito interno é definido como o ângulo formado pelo lugar geométrico formado pela tensão de cisalhamento e a tensão normal aplicados ao produto em forma de grão. Em outros termos, mede-se qual a força de cisalhamento necessária para provocar um deslizamento entre as partículas quando as mesmas estão sujeitas a uma força normal. O equipamento para medir tais tensões pode ser visualizado na Fig. (2) e foi proposto inicialmente por Jenike.

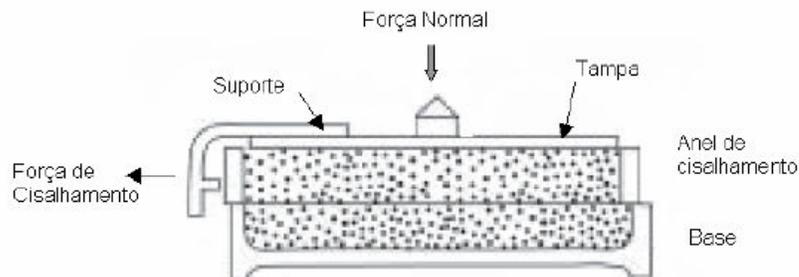


Figura 2. Aparelho proposto por Jenike (1964) para determinar as propriedades do produto granulado

O ângulo de atrito com a parede do reservatório pode ser medido também com o equipamento proposto por Jenike, fazendo-se para isso uma modificação, trocando-se a base do equipamento preenchida por material conforme se pode ver na por uma base maciça, cujo material seja o da parede a qual se objetiva medir.

Segundo Carson e Jenkin (1993) as propriedades do produto granulado podem variar se alguma das condições abaixo também variar;

- Umidade;
- Tempo de estocagem;
- Grau de segregação;
- Temperatura;
- Interação química entre as partículas.

2.3. Teoria de carregamento hidrostático

A teoria da pressão hidrostática é empregada para líquidos, e revela que ao considerar-se um tanque preenchido com um determinado líquido, a pressão que este líquido exerce nas paredes deste tanque aumenta com o aumento da coluna de líquido.

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Onde:

- P é a pressão hidrostática
- ρ é a massa específica do líquido a ser analisado
- g é a aceleração da gravidade
- h é a altura do líquido por cima do ponto (em metros).

Conforme exposto anteriormente, muitos projetistas acreditavam que os produtos granulados se comportavam como materiais líquidos e, portanto as pressões que eles exerciam nos reservatórios eram pressões hidrostáticas. Assim as pressões para o produto granulado eram obtidas através da equação acima se utilizando o valor da massa específica do produto granulado.

3. METODOLOGIA

O estudo comparativo foi feito utilizando o software de simulação Pro-Engineer, módulo PRO-Mechanica da PTC. O reservatório utilizado para o estudo comparativo de cargas tem uma capacidade volumétrica de 2000litros, constituído de chapas de aço carbono de 5 mm de espessura, as dimensões utilizadas estão conforme pode-se verificar na Fig. (3)

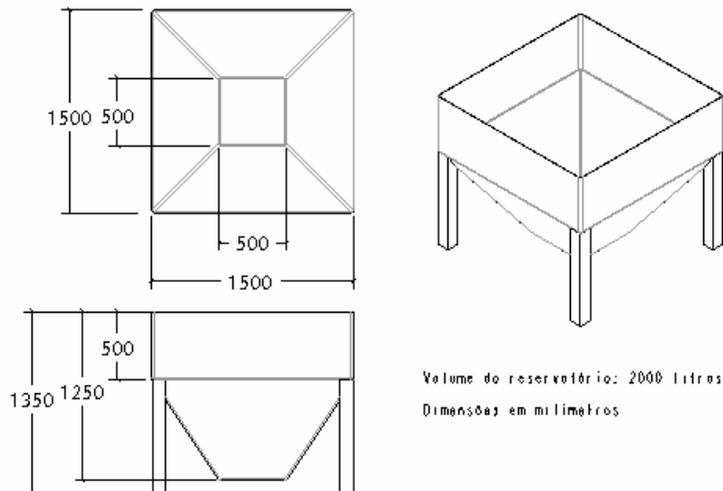


Figura 3. Dimensões do reservatório de fertilizante

Assim, aplicou-se o carregamento hidrostático, referente à condição a qual o reservatório apresentava-se

cheio, ou seja, com o volume de 2000 litros. A carga hidrostática foi aplicada considerando a densidade do formulado de fertilizante NPK 15-15-15 cujas propriedades foram determinadas por Csizmazia et. al. (2006). Aplicou-se também a carga de grãos, cuja teoria fora elaborada por Janssen (1895). As propriedades do produto granulado, no caso o fertilizante, tais como ângulo de atrito interno, coeficiente de atrito interno e o coeficiente de atrito com algumas superfícies, foram determinadas experimentalmente por Csizmazia et al. (2006) e estão representados na tabela 1.

Tabela 1. Propriedades de diferentes fertilizantes

Propriedades	Nitrato de Amônia	Uréia	Potássio	NPK 15-15-15	NPK 2-18-18
Ângulo de atrito interno	29	32	37	35	35
Coeficiente de atrito interno	0,55	0,62	0,75	0,70	0,70
Coef. de atrito aço carbono	0,32	0,35	0,44	0,39	0,57
Coef. de atrito aço inoxidável	0,20	0,18	0,26	0,22	0,25
Densidade [kg/m ³]	960	750	1100	1040	1040

O resultado da simulação realizada por elementos finitos foi comparado em termos de tensões máximas principais e de deformações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das simulações realizadas para cada caso, ou seja, para as pressões hidrostáticas e para as pressões segundo a teoria de Janssen, compararam-se os resultados obtidos considerando-se as tensões e as deformações observadas em cada modelo de simulação. Assim pode-se observar que para um mesmo volume de material no interior do reservatório, a maior tensão ocorreu para o carregamento hidrostático, apresentando um valor de tensão de 67 N/mm² na parte convergente do reservatório, também conhecida como tremonha, conforme se observa na Fig. (4).

Stress von Mises (WCS)
Maximum of shell top/bottom
Maximum of beam
(N / mm²)
Loadset: LoadSet1

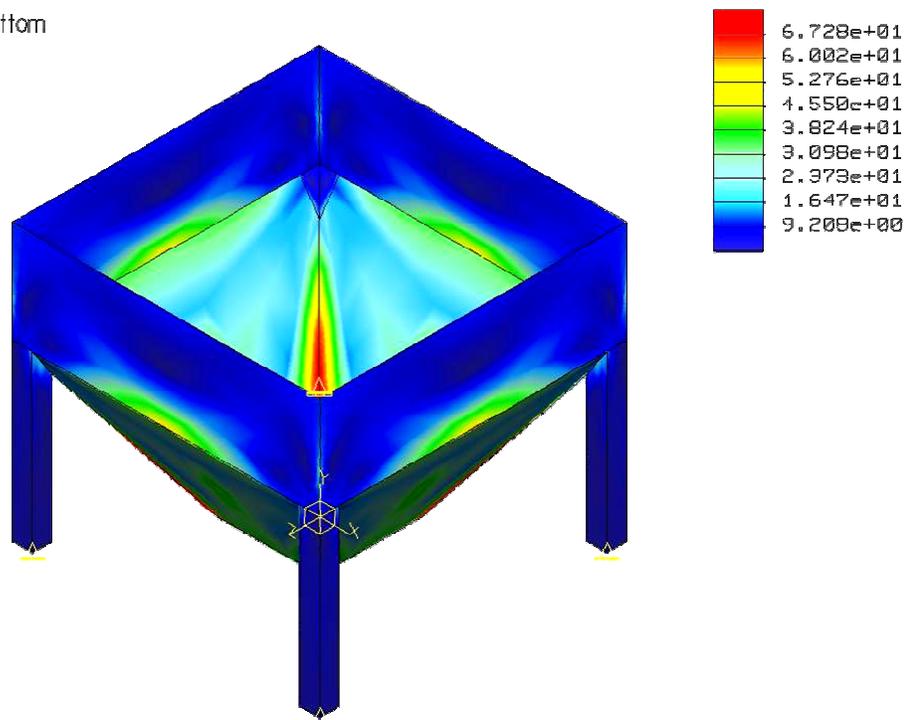


Figura 4. Tensões para o carregamento hidrostático

Para o carregamento de produto granulado segundo a teoria de Janssen, o maior valor de tensão obtido foi de 38 N/mm². Nota-se, portanto, na Fig. (5), que o valor de tensão obtido para o carregamento de Janssen é 43% menor em relação ao carregamento hidrostático.

Stress von Mises (WCS)
Maximum of shell top/bottom
Maximum of beam
(N / mm²)
Loadset:LoadSet1

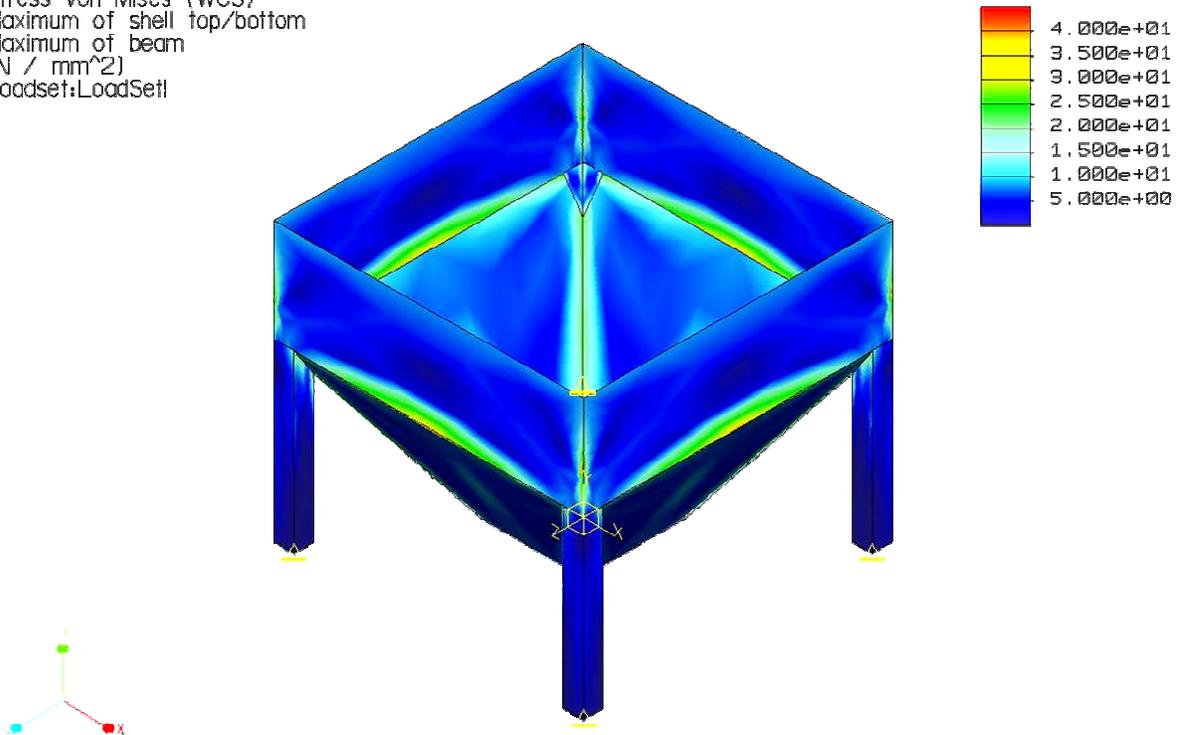


Figura 5. Tensões para o carregamento de grãos segundo Janssen

Além, da diferença na magnitude das tensões, deve-se ressaltar que a localização das maiores tensões em ambos os casos, são distintas, apesar de ambas também estarem situadas na região da tremonha. Comparando-se também as Fig. (6) e Fig. (7), nota-se uma nítida diferença nos valores de deslocamento para os dois casos de carregamentos estudados.

Displacement Mag (WCS)
(mm)
Max Disp +3.3118E+00
Loadset:LoadSet1

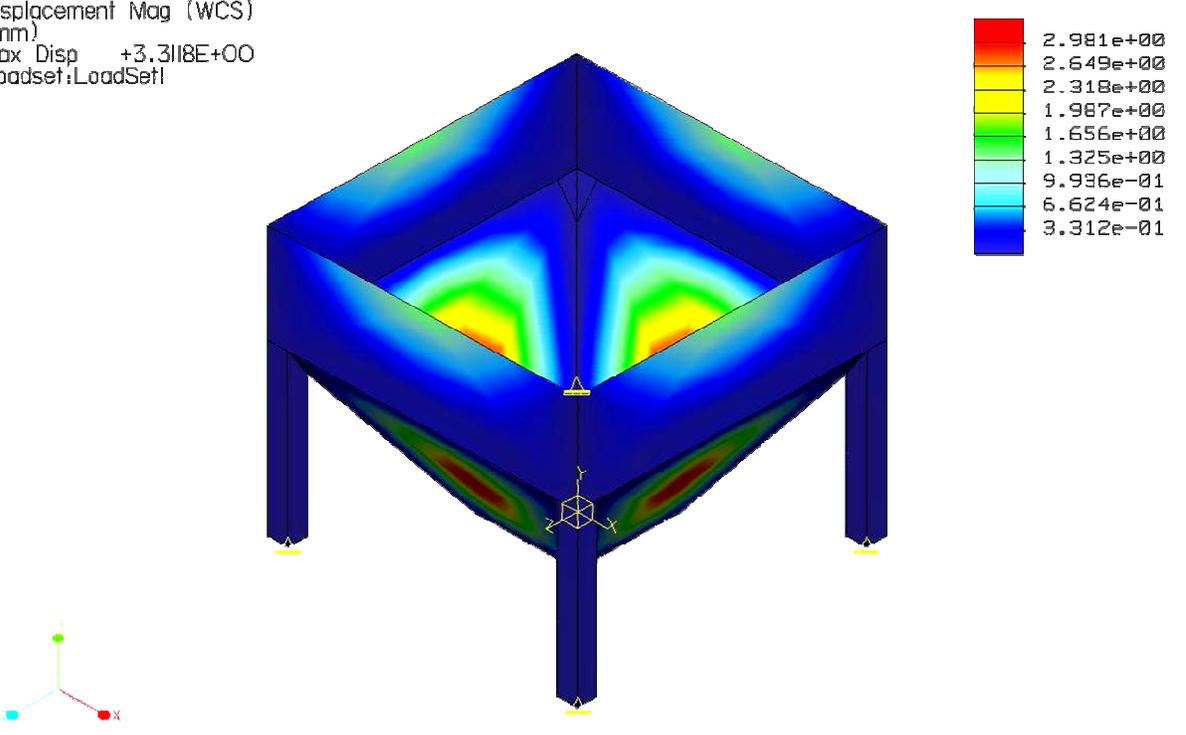


Figura 6. Resultado de deslocamento (Carga hidrostática)

Displacement Mag (WCS)
(mm)
Max Disp +1,1454E+00
Loadset:LoadSet1

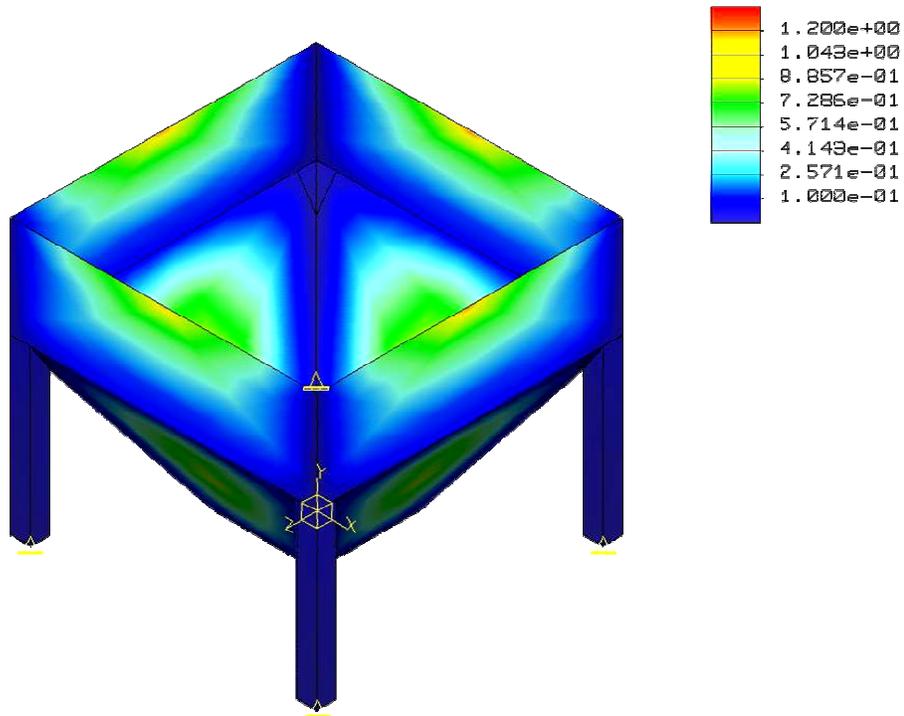


Figura 7. Resultado de deslocamento (Abordagem de Janssen)

Analisando-se o deslocamento, percebe-se também que o maior valor está presente no carregamento hidrostático, apresentando um valor de deslocamento máximo de 3,3 mm contra 1,2 mm para a abordagem de Janssen. Ao se avaliar a mesma região, as diferenças aumentam significativamente. Observando-se, por exemplo, a região da tremonha, para a teoria de Janssen o maior deslocamento está em torno de 0,5 mm enquanto que para o carregamento hidrostático, este valor encontra-se em torno de 3,0 mm.

5. CONCLUSÕES

Pode-se verificar que a teoria das cargas hidrostáticas é aplicável para o dimensionamento estático de um reservatório de produto granulado quando não se possui dados referentes às propriedades dos materiais utilizados. No entanto quando se possui dados referentes às propriedades dos materiais granulados tais como ângulo de atrito interno e ângulo de atrito do grão com a superfície do reservatório, torna-se mais interessante, pois dessa forma, observa-se um ganho considerável em termos de economia de material, podendo-se aperfeiçoar a estrutura de um reservatório no sentido de aliviar o peso da estrutura, podendo-se traduzir também no caso de máquinas agrícolas numa economia de combustível ou até mesmo num aumento da capacidade de carga do implemento agrícola, e assim reduzindo o peso morto da máquina.

Além disso, pode-se observar que a teoria das fatias diferenciais elaborada por Janssen e subsequentemente por Walker apresenta-se como uma boa aproximação para a determinação das pressões exercidas por produtos granulados na parede de um reservatório e em comparação ao método de cargas pressões hidrostáticas ele se torna a melhor alternativa.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à empresa Máquinas Agrícolas Jacto por disponibilizar o Software de simulação PRO-Mechanica.

7. REFERÊNCIAS

- Ayuga, F., 1995, "Los empujes del material almacenado en silos", Informes de la construction
- Balevicius, R.; Markauskas, D. 2007, "Numerical stress analysis of granular material". *Mechanika*, Nr 4(66)
- Carson, J. W.; Jerkin, E. T. "Load development and structural considerations in silo design", *Reliable flow of particulate solids II*, Oslo Norway, August 1993.
- Cheung, A. B. 2007, "Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos", São Carlos 2007.

- Cizmazia, Z.; Polyák, H. N.; Kökütü, A. 2006 “Basic research for development of fertilizer spreaders”. Journal of Agricultural sciences, Debrecen.
- Drescher, A. 1991, “Analytical methods in bin-load analysis”, Elsevier, Amsterdam, Cap. 4.3, pp 95-126, e cap.7, pp 175-188.
- Horabik, J.; Molenda, M.; Ross, I.J. 1998, “Comparison of loads on cylindrical and conical model grain bins”. Transactions of the ASAE 41(2):459-463
- Janssen, H. A. 1895, “Versuche über Getreidedruck in Silozellen”, zeitschrift Verein. Deutscher Ingenieure Vol. 39, pp 1045-1049.
- Jenike, A. W. 1964, “Storage and Flow of solids”, University of Utah engineering Experiment station, Bulletin 123.
- Neto, J. P. L.; Nascimento, J.W. B.; Calil, C. 2008 “Análise estrutural de silos metálicos prismáticos”, Ciênc. Agrotec., Lavras. V. 32 n. 4 p. 1252-1258.
- Roberts, I., 1984 “Pressure of stored grain”, Engineering, vol.34, pp.339.
- Walker, D. M., 1966 “An approximate theory for pressures and arching in hopper”. Chem. Eng Sci., V. 28, p. 779-789.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.



COMPARISON BETWEEN HYDROSTATIC LOAD AND GRAIN LOAD ON DIMENSIONING A GRANULAR FERTILIZER SPREADER BIN

Fábio Massahide Santos Tanaka, fabiomstanaka@gmail.com¹
Prof. Dr. Edson Antonio Capello Souza, capello@feb.unesp.br²

¹São Paulo State University - Bauru, St. Dr. Sebastião Mônico, 49 Zip Code:17507-600 - Jd. Riviera - Marília/SP

²São Paulo State University - Bauru, Av. Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 Zip Code:17033-360
Vargem Limpa - Bauru/SP

Abstract. *Bins, in general, are structures used on material storage and transportation, both in liquid and in solid states. Examples of way of transportation for liquid materials are tank trucks, sprayer tanks, and the examples of way of transportation for granular material are dump trucks and fertilizer spreader bins. It is a common practice to consider in bin designing the behavior of a granular or powdered material the same as liquid products. It can happens due to designer not know the differences between liquid and solid or by the lack of information related to granular material properties. Therefore, in many cases, the choice of hydrostatic load is more suitable when designing bin for granular material. Considering this context, the purpose of this study is to accomplish a comparison between hydrostatic and grain loads, following the Janssen's theory, in which a prismatic shaped bin, very commonly used in fertilizer spreaders was subjected to. It is expected to establish situations in which the use of hydrostatic load is permitted and situations in which the use of Janssen's theory is preferred. This study aims to show a theoretical comparison on dimensioning statically an fertilizer spreader bin, used in agricultural machines for granular fertilizer transportation and spreading. By means of applications of the theories on a bin, it has resulted in strain and stress values gotten by finite element analysis. The properties of a common granular fertilizer was used in this study. So it was observed that the grains theory, developed by Janssen, in comparison to hydrostatic load, is a good choice when designing a granular fertilizer bin. Besides that, the Janssen theory can lead to a reduction of the bin weight.*

Keywords: *Bins, Granular material, Finite element, dimensioning, fertilizer spreading*