

ANÁLISE NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO ESTÁTICO EM SILOS ESBELTOS VERTICAIS PARA ARMAZENAMENTO DE GRÃOS

Álvaro Barbosa da Rocha (1); Brenner Dorneles Medeiros de Moraes (2); André Ribeiro de Oliveira (3);

(1) *Universidade Federal de Campina Grande*, alvarobarbosa2@hotmail.com

(2) *Universidade Federal de Campina Grande*, brenner.dorneles@gmail.com

(3) *Universidade Federal de Campina Grande*, andre.ribeiro1301@gmail.com

Introdução

O crescimento da demanda por grãos e a necessidade de estocagem destes para consumo a longo prazo levaram os silos de armazenamento vertical existentes no mundo a apresentarem condições não ideais para a sua estocagem devido, muitas vezes, sobrecarregamento ou ausência de análises relacionadas ao comportamento mecânico de deformação e flambagem. das pressões exercidas pelo produto armazenado.

Dado a complexidade de previsão do comportamento de silos ocorrer de forma não usual, o método previsão do comportamento dinâmico, adotado pela maioria dos códigos normativos, aos quais, segundo Madrona (2009), a avaliação rigorosa das consequências estruturais nos silos metálicos é baseado em análises lineares com relação ao comportamento das pressões e esforços resultantes do carregamento de grãos e da interação dos silos com sistemas de alimentação e de descarga.

Este trabalho tem por finalidade o estudo numérico do comportamento estático de silos verticais esbeltos através de esforços e carregamentos. Para tal o numérico adotado foi o método dos elementos finitos (FEM), comparando os valores obtidos com os valores de norma NBR 11165 e AS 3774.

Metodologia

O escopo da pesquisa foi analisar o comportamento estático de silos verticais de armazenamento de grãos, optando-se pela utilização de milho em grãos como carga armazenada. A adoção de milho como grãos armazenados apresenta uma densidade de 1,244g/cm³. A determinação das vinculações e esforços foi realizada pelo método clássico de análise de vinculações as quais o silo estaria sujeito, levando em conta as hipóteses simplificadoras como o silo apresenta-se engastado ao solo ou base por meio de seus pés, as vinculações as quais o silo estaria sujeito é baseado na composição do sistema do silo, considerando a pressão hidrostática dos grãos distribuídos nas paredes internas do silo, assim como a ação da gravidade, distribuição de pressão e forças devido as conexões de abastecimento e retirada dos grãos.

. Segundo Neto (2012) as pressões exercidas na parede pelo produto armazenado dependem, entre outros fatores, das propriedades físicas dos grãos, a operação do silo, geometria do silo, entre outros.

A análise baseia-se na consideração de gradiente de pressões dentro das piores condições de pressões as quais o silo estará sujeito ao longo de sua vida útil, fazendo uso de faixas indicadas para as propriedades de operação regidas pelas normas internacionais.

Neste trabalho foi adotado que o comportamento do silo foi modelado como elástico-perfeitamente plástico, definida pelos parâmetros de módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e critério de plastificação ou ainda superfície de fluência.

Resultados e Discussões

A adoção do modelo numérico empregado na análise do silo e análise das pressões dinâmicas e deformações baseia-se na aplicação da distribuição de uma pressão hidrostática gerada pela distribuição dos grãos na parte interna. A distribuição da pressão dinâmicas normal às paredes do silo, obtidas por método dos elementos finitos, permitiu uma análise considerando a variação da magnitude da pressão hidrostática gerada pelos grãos para variados volumes armazenados, permitindo a análise completa do sistema com base nas hipóteses simplificadoras adotadas.

- **Hipóteses simplificadoras**

As hipóteses simplificadoras adotadas foram relacionadas a distribuição dos esforços no silo e na forma como a geometria foi tratada. Para a geometria do silo foi escolhido representa-la segundo uma geometria de cascas, tornando a análise em software educacional mais rápida e menos susceptível a erros de geração de malha ou de resolução.

Quanto as vinculações e carregamentos foram consideradas que o silo se encontra completamente preso ao solo por meio de fixação permanente, caracterizando um engastamento do silo para com o solo, a ação da gravidade sobre toda a geometria, assim como uma baixa aceleração bidimensional sofrida pelo silo como resultado da ação de ventos neste. Além destas hipóteses citadas foi adotado que o carregamento de grãos pode ser aproximado como uma distribuição de pressão hidrostática na parte interna do silo, sendo adotado um coeficiente de sobrepressão de 1,2. As conexões de abastecimento de grãos, localizadas no topo do mesmo, e de descarga, localizada na parte inferior toram consideradas como forças que agem sobre as bordas de entrada, caracterizando uma linha de pressão que promove uma leva deformação nas estruturas do silo e contribuem para a flambagem do silo.

- **Resultado preliminares.**

Com a adoção das hipóteses simplificadoras acima foram geradas 5 simulações com variações na altura da coluna de grãos armazenados e, a partir destas, analisados qual seria a carga de flambagem necessárias para gerar deformações crítica de flambagem na ordem de 0,4m, sendo esta suficiente para levar o silo e toda a sua estrutura ao colapso.

Para o silo completamente cheio de grãos, representando uma força distribuída na superfície interna na ordem de 9×10^5 N, existe uma deformação residual de 0,0139m. A análise numérica demonstrou que o silo apresenta uma capacidade de resistir a uma carga máxima de $10,7 \times 10^5$ N, representando um coeficiente de sobrepressão de 1,19 ou 16,5% maior que o coeficiente expresso por norma. As demais simulações abrangeram casos com o silo vazio, com 20%, 40%, 60% e 80% do volume do silo preenchido por grãos, indicando que embora o crescimento do carregamento ocorra de forma linear a deformação a qual o silo sofre devido este cresce de forma exponencial, mantendo-se dentro de faixas de conformidade explicitado pelas normas.

Conclusões

As hipóteses e os modelos adotados ao longo da análise por elementos finitos previram com exatidão o modo o comportamento estático a qual silos de armazenamento encontram-se submetidos e a determinação da carga de necessária para gerar uma flambagem que pode levar ao colapso por completo do silo.

Referências

- NETO, José P. Lopes; NASCIMENTO, José W. B. **Características de fluxo e projeto de tremonhas cônicas em silos verticais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.3, p.339–345, 2013.
- MEDEIROS, Ivanildo Freire. **Características de fluxo e vazão de descarga em silos verticais**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, 2012.
- SCALABRIN, Luciano Argenta. **Dimensionamento de silos metálicos para armazenagem de grãos**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2008.
- MADRONA, Fernanda Scaramal; CALIL, Carlito. **Análise das pressões em silos esbeltos com descarga excêntrica**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 11, n. 49, p. 37-56, 2009.
- ARGENTINA, Ana Larissa Dal Piva. **Análise do comportamento estático e dinâmico de silos**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Goiás. Goiânia - GO, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, ABNT (1990). NBR 11165 – Componentes de silos cilíndricos metálicos para grãos vegetais. ABNT, 01/1990