

Programa computacional para análise de pressões em silo

Computer program for silo pressure analysis

Programa de computadora para análisis de presión de silo

Flávio Alves Damasceno¹; Ebersson Silva²; João Costa Nascimento³;

José Inocêncio Balieiro³; Manoel Reginaldo Ferreira²

Resumo: Objetivou-se prever as pressões na estrutura de silos, em função de dados referentes ao próprio silo e ao produto a ser armazenado. Trata-se de um sistema didático, com interface simples, amigável, composto por três telas, para a escolha da orientação do silo, entrada de dados e visualização detalhada dos resultados. As principais rotinas envolvidas incluem o cálculo das pressões de carregamento e descarregamento: vertical, horizontal e atrito do produto com a parede do silo. O sistema proporciona ainda, precisão nas determinações e rapidez de processamento, possibilitando simulações que envolvam diversas situações.

Palavras-chave: Armazenagem. Gráficos. *Software*.

Abstract: The objective was to predict the pressures in the structure of silos, as a function of data regarding the silo and the product to be stored. It is a didactic system, with simple, friendly interface, consisting of three screens, for choosing the silo orientation, data entry and detailed visualization of the results. The main routines involved include the calculation of loading and unloading pressures: vertical, horizontal and friction of the product with the silo wall. The system also provides precision in the determination and speed of processing, allowing simulations involving various situations.

Keywords: Storage. Graphics. *Software*.

Resumen: El objetivo era predecir las presiones en la estructura de los silos, en función de los datos relacionados con el silo y el producto a almacenar. Es un sistema didáctico, con una interfaz simple y amigable, que consta de tres pantallas, para elegir la orientación del silo, la entrada de datos y la visualización detallada de los resultados. Las rutinas principales involucradas incluyen el cálculo de las presiones de carga y descarga: vertical, horizontal y fricción del producto con la pared del silo. El sistema también proporciona precisión en la determinación y velocidad de procesamiento, permitiendo simulaciones que involucran diversas situaciones.

Palabras clave: Almacenamiento. Gráficos. *Software*.

INTRODUÇÃO

O armazenamento constitui prática de suma importância, tanto para complementar a estrutura armazenadora quanto para minimizar as perdas em quantidade e qualidade a que estão sujeitos os produtos colhidos, tornando necessário o uso de avançadas tecnologias de construção de silos. As propriedades físicas dos produtos armazenados são bem relevantes quanto ao processamento dos sistemas de armazenagem durante o carregamento e o descarregamento (GOMES, 2004). Todo ano um número alarmante de graneleiros, silos e tremonhas entram em colapso por cálculo inadequado, construção precária ou uso impróprio (CALIL 1998). Para garantir a estabilidade dessas estruturas, é fundamental o conhecimento de qualquer um dos tipos e modos possíveis de ruínas que por ventura possam ocorrer (CALIL et al., 1997). Como exemplos de pesquisas na área de estruturas para armazenamento podem-se citar: determinação de pressões em silos de madeira (CALIL, 1978), estudo das pressões de materiais granulares em silos (DEUTSCH & CLYDE, 1967), estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais (GOMES, 2000) e pressões e fluxo em silos esbeltos (PALMA, 2005). Assim, objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um programa computacional

simples e didático para ser utilizado por pesquisadores, técnicos e alunos na predição das pressões de carregamento e descarregamento nas paredes e no fundo de silos verticais e horizontais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um programa computacional foi desenvolvido em ambiente Delphi 7.0 para predição das pressões de carregamento e descarregamento ao longo do comprimento de silos verticais e horizontais. As principais rotinas utilizam, para os cálculos, dados referentes ao sentido de desenvolvimento da estrutura, materiais de construção do silo, produto a ser armazenado, ângulo de repouso do produto, ângulo de atrito com a parede e ângulo de atrito interno do produto. Para simular as pressões internas ao longo do comprimento do silo, é necessário dividi-lo em várias seções, de acordo com suas dimensões. Os parâmetros referentes ao peso específico dos produtos armazenados foram obtidos através da norma alemã DIN-1055 (1987). Esta norma atualmente é a mais utilizada para cálculos das ações e fluxos de silos, pois sofreu várias revisões, devido ao grande número de acidentes ocorridos em silos com a utilização das versões anteriores (CALIL et al., 1997).

¹Professor Adjunto no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: flavioufla@gmail.com

²Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais (Unidade de Passos).

³Discente do curso de Agronomia da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Para o cálculo das pressões foram utilizadas as seguintes equações de JANSSEEN (1895):

Pressões verticais:

$$P_{v(z)} = \frac{\gamma \cdot R}{\mu^2 \cdot K} \left(1 - e^{-\frac{\mu^2 K z}{R}} \right)$$

$$P_{h(z)} = \frac{\gamma \cdot R}{\mu^2} \left(1 - e^{-\frac{\mu^2 K z}{R}} \right)$$

Pressões de atrito por m² de superfície de parede:

$$P_{w(z)} = \gamma \cdot R \left(1 - e^{-\frac{\mu^2 K z}{R}} \right)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O programa é constituído por telas de entrada de dados e de visualização dos resultados. A primeira tela apresenta a opção de escolha do tipo de silo (vertical ou horizontal). A segunda tela “Silo Vertical” possui duas abas intituladas “Entrada de dados” (Figura 1a) e “Resultados simulados” (Figura 1b). A primeira aba destina-se a entrada dos seguintes dados para o processamento: altura do silo (m), diâmetro do silo (m), material de construção do silo (concreto, chapa de aço liso, chapa de aço ondulado, madeira, taipa e alvenaria), produto a ser armazenado (açúcar, areia, batata, cal, cal-

cário, carvão, cevada, cimento, clínquer, coque, escória, farinha, ferro, fosfato, milho, soja e trigo), ângulo de repouso do produto (graus), ângulo de atrito do produto com a parede do silo (graus) e ângulo de atrito interno do produto (graus). A segunda aba permite visualizar, por meio de uma tabela e de seis gráficos, os diversos valores simulados para as pressões de carregamento e descarregamento ao longo da altura de massa de produto armazenado no silo. A tabela possui seis colunas e um número de linhas variável em função da altura do produto armazenado. A primeira coluna lista de forma sequencial a cota da altura de massa de produto. A partir da segunda coluna tem-se a pressão de carregamento vertical (Pvj, kPa), pressão de carregamento horizontal (Phj, kPa), pressão de carregamento do produto com estrutura a cada metro quadrado (Pwj, kPa), pressão de descarregamento vertical (Pv, kPa), pressão de descarregamento horizontal (Ph, kPa) e pressão de descarregamento do produto com estrutura a cada metro quadrado (Pw, kPa). Ao lado da tabela os mesmos resultados são apresentados sem forma de gráficos de pressões de carregamento (Pvj, Phj e Pwj, kPa) e pressões de descarregamento (Pv, Ph e Pw, kPa), em função da altura da massa de grãos dentro do silo, em metros.

A terceira tela “Silo Horizontal” também contém duas abas intituladas “Entrada de dados” (Figura 2a) e “Resultados simulados” (Figura 2b). Suas funções são semelhantes à tela “Silo Vertical”, sendo primeira aba destinada à obtenção dos seguintes dados para o processamento: altura da parede lateral do silo (m), largura do silo (m), material de construção do silo, produto a ser armazenado, ângulo de repouso do produto (graus), ângulo de atrito do produto com a parede do silo (graus) e ângulo de atrito interno do produto (graus), além da opção “Tipo do fundo do silo horizontal”, que defini o

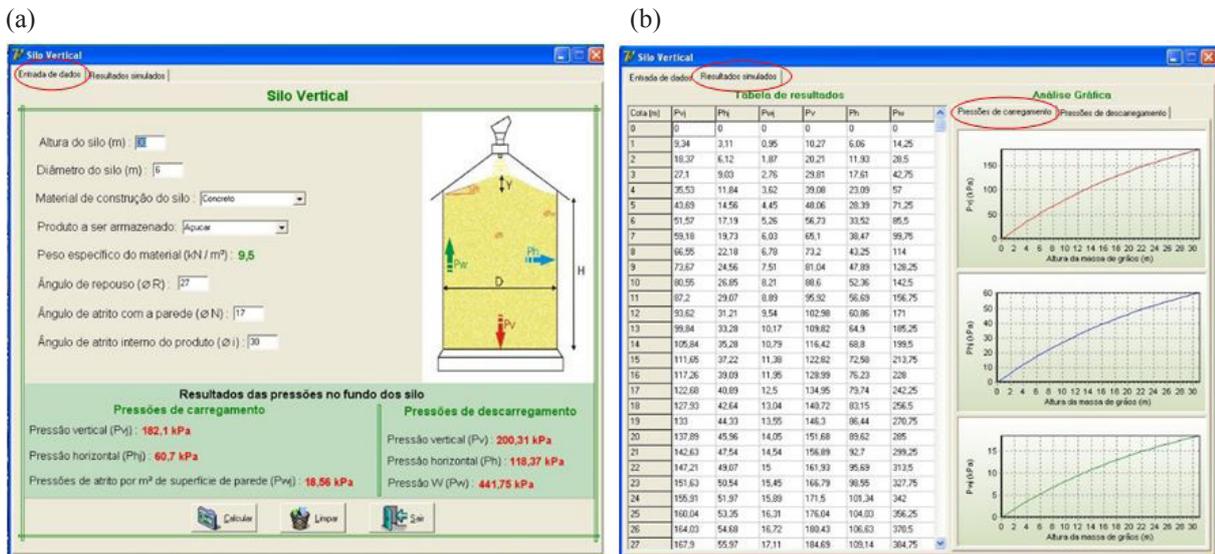


Figura 1: Telas de (a) entrada de dados e (b) resultados simulados para o silo vertical.

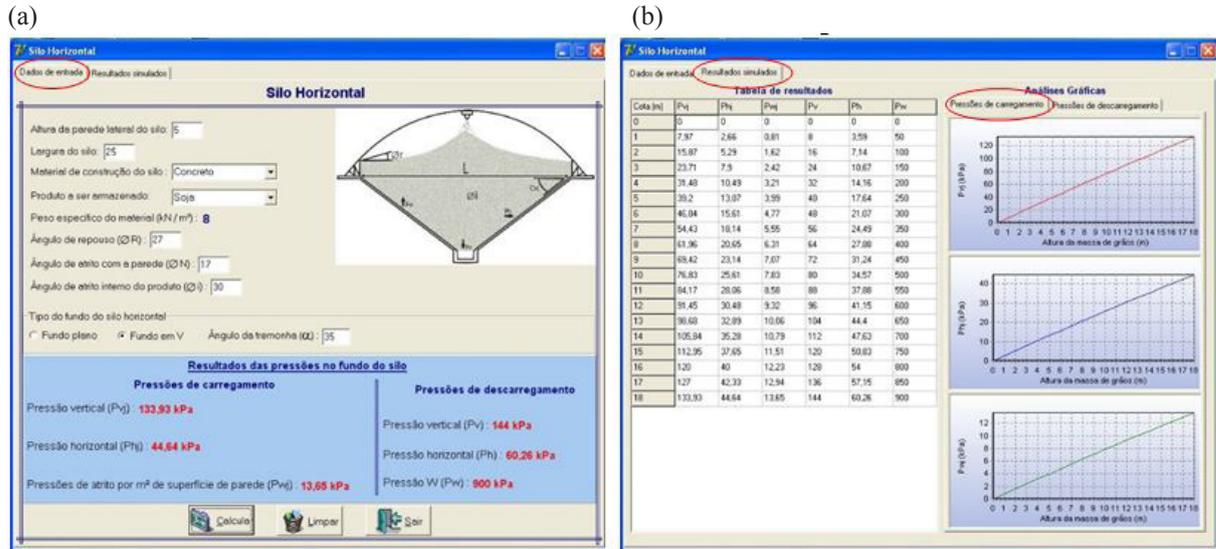


Figura 2: Telas de (a) entrada de dados e (b) resultados simulados para o silo horizontal.

formato do fundo do silo, sendo plano ou com inclinação em V, com um determinado ângulo da tremonha. A segunda aba mostra os resultados simulados por meio de uma tabela e de seis gráficos, assim como foi descrito para o silo vertical.

CONCLUSÃO

O programa desenvolvido é uma importante ferramenta para predição das pressões internas de carregamento e descarregamento ao longo do comprimento de silos verticais e horizontais para diversos tipos de produtos armazenados. O programa pode auxiliar no desenvolvimento de projetos, pois permite, com rapidez e segurança, pois estudar as pressões em silos, informando as zonas propensas a rupturas, o que permite reduzir os custos de implantação do projeto.

REFERÊNCIAS

CALIL, C. J. Pressões em silos segundo a nova norma ISO 11697/95. In: XXVII. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 1998, Poços de Caldas, MG. Pg 201 – 203, 1998.

CALIL, C. J.; ARAÚJO, E. C.; NASCIMENTO, J. W. **Silos metálicos multicelulares**. USP. São Carlos, SP, 1997. 178 p.

CALIL, C.J. Silos de Madeira. 1978. 106 p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)** – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, SP.

DEUTSCH, G. P. and CLYDE, D. H. Flow and Pressure of Granular materials in Silos. 1967. **Journal of Engg Mech. Divn**, ASCE, V. 93, EM6, Dec. pp 103 – 25.

DIN 1055 (1987). **Lastannahmen fur Bauten**, Blatt 6, Lasten in Silozellen. Alemanha. 12P.

GOMES, F. C. Estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais. 2000. 205p. **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, SP.

GOMES, F. C. **Estruturas de armazenamento** (Notas de aula). 2004. 70 p. Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG.

JANSSEN, H. A. Versuche uber Getreidedruck in silosellen. 1895. **Zeischrift des vereines Deutscher Ingenieure**, v.29, 35, pp 1045-9.

PALMA, G. Pressões e fluxo em silos esbeltos (h/d ≥ 1,5). 2005. 121 p. **Dissertação de mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, SP.

Página em branco.