

TEORIAS DE DIMENSIONAMENTO DE SILOS METÁLICOS PRISMÁTICOS

VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA¹, JOSÉ PINHEIRO LOPES NETO², JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO³, DERMEVAL ARAÚJO FURTADO³

¹ Graduanda em Engenharia Agrícola, CTRN-UFCG, Campina Grande – PB, (0XX83) 3310.1482, e-mail: rval707@yahoo.com.br

² Engenheiro Agrícola, Doutorando, Depto. de Engenharia de Processos, CRTN-UFCG, Campina Grande - PB

³ Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, CTRN-UFCG, Campina Grande - PB

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 04 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: Nos últimos anos, o crescimento da agricultura brasileira tem forçado vários setores a se adequarem aos padrões produtivos com o intuito de se manterem competitivos frente ao processo de globalização econômica. Neste contexto, as fábricas de ração avícola tendem a buscar novas alternativas que favoreçam a produção e reduzam custos sem afetar a qualidade do produto final. Entre estas alternativas, destaca-se o uso de silos verticais por facilitar o processo de confecção das rações e eliminar os grandes depósitos horizontais. Diante desta possibilidade, a presente pesquisa teve como objetivo estudar as tensões desenvolvidas nas paredes em conformação zig-zague de um silo metálico prismático 2m x 1m e comparar os resultados obtidos com teorias e estudos semelhantes. Para o cálculo das pressões, adotaram-se as normas DIN 1055 e AS 3774 enquanto que, para o cálculo das tensões, utilizaram-se os métodos simplificados de Ravenet e Troitsky. Para a obtenção dos esforços reais nas paredes, utilizou-se extensômetros elétricos. Com bases nos resultados obtidos, conclui-se que tanto a teoria de Ravenet quanto de Troitsky podem ser recomendadas para o dimensionamento de silos prismáticos por apresentarem boa aproximação com valores experimentais.

PALAVRAS-CHAVE: SOJA EM PELETS, TENSÃO, CONFORMAÇÃO ZIGUEZAGUE

DESIGN THEORIES OF PRISMATIC METALLIC SILOS

ABSTRACT: Last years in Brazil have shown an agricultural growth that has forced several sectors to fit in productive patterns to maintain competitiveness within the process of economic globalization. In this context, the poultry factories tend to search for new alternatives to favor production and reduce costs without affecting the quality of the final product. Among these alternatives, there is the use of vertical silos due to their capacity to facilitate the process of rations production and remove the need for great horizontal warehouses. Aware of such necessity, the present research had the objective to study the strength produced on the zigzag shaped walls of a 2m x 1m prismatic metallic silo, and to compare results found with theories and similar studies. DIN 1055 and AS 3774 norms were used for the calculation of pressure, whilst the simplified methods of Ravenet and Troitsky were used to calculate strength. Strain gauges were used to obtain data concerning the real efforts on the walls. Based on results found, it was concluded that either Ravenet or Troitsky's theory can be recommended for the design of prismatic silos since they present great accuracy when contrasted with experimental values.

KEYWORDS: PELLETIZED SOYBEAN, TRACTION, ZIGZAG DISPOSITION

INTRODUÇÃO: A cada dia o Brasil tende a se consolidar no mercado mundial com forte economia devido à adoção de uma política agressiva de produção e exportação agrícola tendo como principais

produtos de comércio: grãos (a soja em destaque), carnes bovina, suína, avícola e seus subprodutos. Desta forma, é importante que o Brasil domine a tecnologia de construção de silos por muito serem utilizados em fábricas de rações responsáveis por abastecer outras unidades agrícolas. Conforme Nascimento (1996), tais fábricas necessitam basicamente de dois tipos de silos: um para produtos granulares e outro para produtos pulverulentos. Sabe-se que as novas fábricas de ração possuem forte tendência à arquitetura vertical devido a uma crescente valorização territorial com isso, o estudo e adoção de silos verticais despontam como grande alternativa de reformulação do conceito dessas fábricas por atender tanto as exigências espaciais quanto ao que diz respeito aos processos produtivos. Dentre os tipos de silos existentes, os silos verticais metálicos prismáticos destacam-se pelo fato de poderem ser multicelulares e proporcionarem maior facilidade de manejo dos equipamentos (Nascimento, 1996). De acordo com Ravenet (1992), existem duas conformações de paredes bastante utilizadas nas indústrias sendo elas conformação trapezoidal e ziguezague. Assim sendo, a presente pesquisa teve como objetivos analisar duas das principais teorias de dimensionamento de silos prismáticos através de um comparativo com resultados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS: Os ensaios foram realizados no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) entre os meses de Fevereiro e Maio de 2005. O corpo do silo apresenta seção retangular 2m x 1m, altura igual 1,8m e 3,6m³ de capacidade de armazenagem. As paredes de espessura nominal igual a 0,91mm são formadas por três ondas (superior, central e inferior) em conformação ziguezague com 70° com a horizontal sendo cada onda composta por duas partes (Superior e Inferior) conforme Figura 1.

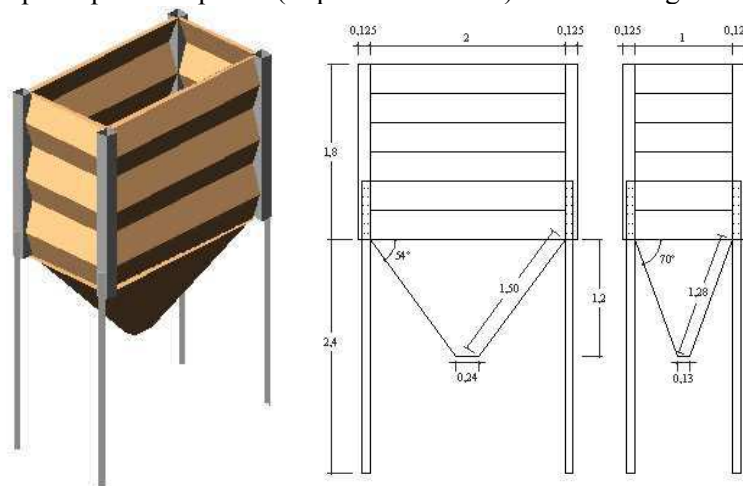


Figura 1 - Vista e dimensões do silo (valores em metros)

Para a medição das deformações, foram utilizados extensômetros elétricos. Para a aquisição dos dados, foi utilizado o sistema denominado SPIDER 8 e o software Catman versão 3.0. Para a determinação das propriedades de fluxo da soja peletizada (produto empregado nos ensaios), seguindo-se a metodologia proposta pela BMHB (1985). Para o cálculo das pressões horizontais teóricas nas paredes do silo, optou-se pelas normas internacionais DIN 1055 (1987) e AS 3774 (1990). Para o cálculo das tensões nas paredes do silo, foram adotadas as teorias simplificadas de dimensionamento propostas por Ravenet (1992) (viga bi-engastada) e Troitsky (1982) (viga bi-apoiada). Foram instrumentadas apenas duas paredes do silo sendo denominadas de Parede I àquela cujo comprimento do vão é igual a um metro e de Parede II àquela cujo comprimento do vão é igual a dois metros. Foram escolhidos dois pontos para a instalação dos sensores em cada parede sendo eles, unicamente, no centro do vão das partes superior e inferior da onda central. Os extensômetros elétricos foram instalados na superfície externa da onda central nos sentidos transversal e longitudinais a fim de se determinar as deformações no estado duplo de tensão. A coleta dos dados realizou-se a uma frequência de 1 hz durante os processos de carregamento e descarregamento concêntricos do silo. Tal procedimento foi realizado em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Através dos ensaios de granulometria, observou-se que o maior valor de percentual retido acumulado para a soja em pelets foi de 32,16% para a peneira de malha 4mm. Conforme classificação de Calil Junior (1984) para produtos sólidos, pode-se considerar a soja

em pelets como um produto de característica granular. De acordo com os testes para a determinação do teor de umidade, a soja em pelets encontrava-se com teor de umidade de 11% (base úmida). Apesar de não haver registros científicos conhecidos a cerca das propriedades de fluxo da soja em pelets (Tabela 1), pode-se destacar que os ângulos de atrito interno e ângulo efetivo de atrito interno encontram-se próximos aos obtidos por Bandeira et al. (1999) para ração avícola.

Tabela 1 - Propriedades de fluxo da soja em pelets

Propriedades de fluxo		
Peso específico consolidado (γ)	γ_i (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)
	5,1	5,7
Ângulo de atrito interno (\emptyset)	\emptyset_i (°)	\emptyset_s (°)
	28,0	38,3
Ângulo efetivo de atrito interno (δ)	δ_i (°)	δ_s (°)
	33,8	40,3
Ângulo de atrito com aço rugoso (\emptyset_w)	\emptyset_{wi} (°)	\emptyset_{ws} (°)
	16,3	20,8

Os índices “i” e “s” indicam os limites inferior e superior, respectivamente.

A seguir são apresentados valores de tensões a partir das deformações para as situações de carregamento e descarregamento nas Paredes I e II. Os valores negativos foram dispostos nos gráficos em valor absoluto para melhor visualização. Tomando-se como base os valores máximos de tensão obtidos para a parte inferior da onda central na Parede I, nota-se na Figura 2 que a teoria associada à norma de pressão mais adequada no carregamento foi a de Ravenet combinada à norma AS 3774 (1990) superestimando os valores práticos em 10%. Já para a condição de descarregamento, a teoria de Troitsky em associação à mesma norma AS 3774 (1990) foi a que apresentou valor mais próximo ao experimental (33MPa) ficando esse valor 35% abaixo do máximo obtido por Nascimento & Calil Junior (1998) ao determinar as tensões em um painel metálico de 1m de vão. Na Figura 3 encontram-se os resultados para a parede II. Em análise aos dados na condição de carregamento, observa-se que a teoria que melhor representou os esforços na parede foi a de Ravenet em conjunto com a norma AS 3774 (1990) sendo aproximadamente 2% maior que a tensão registrada na parede do silo. Para o descarregamento, ainda na Figura 3, novamente a teoria de Ravenet em conjunto à norma AS 3774 (1990) demonstrou-se mais adequada ao se igualar à máxima tensão experimental (58MPa) sendo esse valor 13% maior que o registrado por Nascimento & Calil Junior (1998) em painéis de 2m de vão.

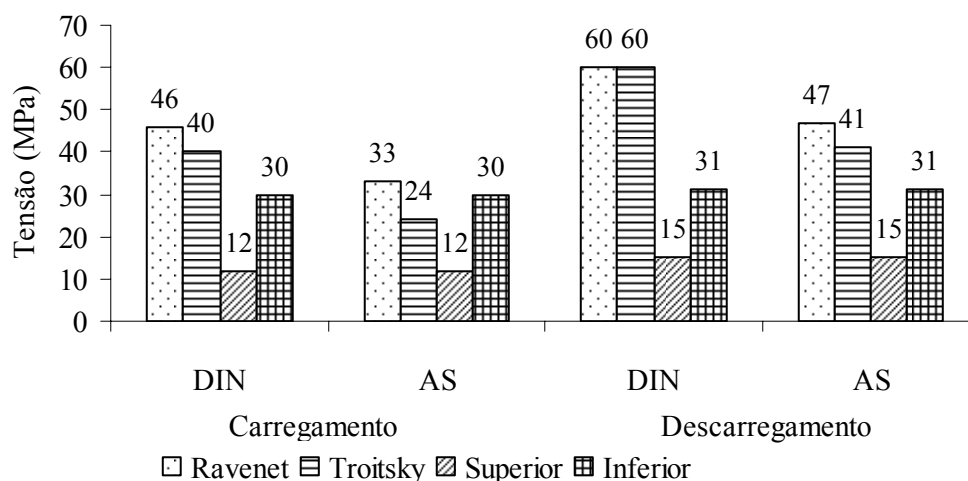


Figura 2 - Tensões no carregamento e descarregamento na Parede I

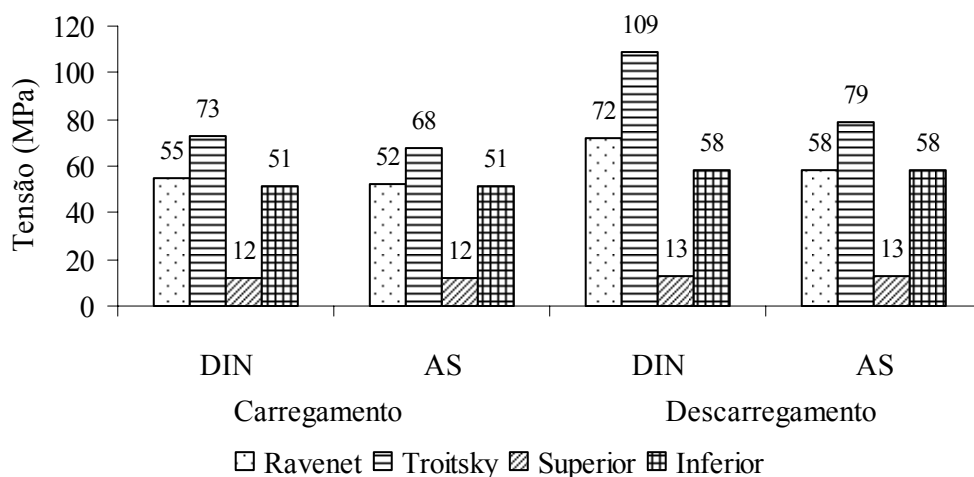


Figura 3 - Tensões estáticas no carregamento e descarregamento na Parede II

CONCLUSÃO: Com base nos estudos realizados para esta pesquisa a fim de contribuir para melhor entendimento estrutural de silos metálicos prismáticos, pode-se concluir que a soja em pelets é classificada como produto granular sem característica coesiva, que as tensões nas paredes do silo no descarregamento foram superiores às registradas no carregamento nas duas paredes e que, de acordo com as análises teórica e experimental, as teorias simplificadas de Troitsky e Ravenet podem ser recomendadas para o dimensionamento de silos metálicos prismáticos por apresentarem resultados próximos aos práticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSTRALIAN STANDARD. AS 3774: **Loads on bulk containers**. Sydney: 1990.

BRITISH MATERIALS HANDLING BOARD. BMHB. **Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers**. Berkshire: 1985.

BANDEIRA, I. S. A. et al. Análise de fluxo de ração e farelo de trigo em silos prismáticos industriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.233-238, 1999.

CALIL JUNIOR, C. **Sobrepresiones em las paredes de los silos para almacenamiento de productos pulverulentos cohesivos**. 1984. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

DEUTSCHE NORM. DIN 1055: **Design loads for buildings: loads in silo bins**. Berlin: 1987.

NASCIMENTO, J. W. B. **Estudos de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

NASCIMENTO, J. W. B; CALIL JUNIOR, C. Painéis estruturais para paredes de silos verticais prismáticos. **Caderno de Engenharia da Estruturas**, São Carlos, n.6, p.1-21, 1998.

RAVENET, J. **Silos**. Barcelona: Editores Técnicos Associados, 1992. 508f.

TROITSKY, M. S. **Tubular steel structures**. Montreal: Concordia University, 1982. 89f.