

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA NORMA ACI 313:1997 PARA A DETERMINAÇÃO
DAS AÇÕES EM SILOS DE CONCRETO ARMADO PARA CAFÉ**

HELLEN P. F. DECKERS¹, FRANCISCO C. GOMES²

RESUMO

Atualmente, há uma tendência mundial de elaboração de projetos estruturais, adotando o critério de dimensionamento nos estados limites com o objetivo da realização de projetos mais seguros e econômicos. Assim, faz-se necessária a determinação mais precisa das ações que atuam nas estruturas dos silos. Este trabalho foi realizado com o objetivo de estabelecer as ações teóricas a fim de contemplar a armazenagem a granel, movimentação e o transporte do produto, definindo assim um modelo para a execução de silo multicelular de concreto armado vertical e elevado, com relação aos métodos tradicionais já existentes. O silo, com células geminadas para armazenar 1.500 sacas de café por célula, foi projetado com base na norma americana ACI 313:1997, considerando a tremonha tipo cunha. Considerando a transição do corpo do silo para a tremonha, sendo este o ponto crítico para os silos elevados, conclui-se que a verificação gerou um acréscimo de pressão nos cálculos de 60% e 59% nas paredes “a” e “L” do corpo do silo e de 44% e 43% nos lados “a” e “L” da tremonha para a pressão adicional pela norma DIN 1055-6:2005.

Palavras-chaves: pressão adicional, projeto estrutural, armazenamento, café pergaminho.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, além de ser o maior exportador do mundo e o segundo mercado consumidor mundial. Também começa a conquistar o mundo com a alta qualidade de seus cafés torrado em grãos ou torrado e moído. Já o estado de Minas Gerais, conta com uma produção de 23.581 mil sacas de café beneficiadas (Associação Brasileira da Indústria de Café - ABIC, 2010). No Brasil, a importância deste produto no mercado interno e externo tem levado à otimização da produção, nas fases de plantio, colheita, pré-processamento e pós-processamento. A granelização do café permitiria uma melhor classificação do produto em lotes, o que elevaria a qualidade, atendendo às várias exigências do mercado interno e externo. A verticalização do armazenamento de café em unidade multicelulares otimiza o controle do processamento do produto. A demanda por silos pode ser explicada devido às necessidades de cooperativas, produtores e indústrias em armazenar grandes quantidades de produtos e materiais em espaços reduzidos. Atualmente, há uma tendência mundial de elaboração de projetos estruturais, adotando o critério de dimensionamento nos estados limites com o objetivo de realizar projetos mais seguros e econômicos. Assim, faz-se necessária a determinação mais precisa das ações que atuam nas estruturas dos silos (CALIL JÚNIOR e CHEUNG, 2007). Segundo CALIL JÚNIOR (1997), todas as propriedades dos produtos armazenados em silos podem variar durante a vida útil do silo. Assim, de acordo com a norma australiana AS 3774:1996, deverão, em termos de projeto, ser determinados dois limites para cada parâmetro, de modo a delinear a sua faixa de variação com combinações mais desfavoráveis para cada caso. No projeto de silos, as principais ações a serem consideradas são as provenientes dos produtos armazenados que exercem pressões nas paredes verticais e no fundo do silo. Na parede vertical atuam pressões perpendiculares, denominadas pressões horizontais (P_h) e pressões de atrito do produto com a parede (P_w). No fundo do silo, atuam pressões denominadas pressões verticais (P_v). A norma americana ACI 313:1997 trata do dimensionamento de silos de concreto para o armazenamento de produtos granulares, enquanto que o Brasil não dispõe de norma própria. Em vários estudos experimentais realizados até hoje concluiu-se que altas pressões ocorrem na transição do silo, no entanto, estas não são consideradas pela norma ACI 313:1997. Isso induz à utilização da norma alemã DIN 1055-6:2005, que aborda o assunto determinando assim a pressões adicionais quando se tem fluxo de massa na transição do corpo do silo com a tremonha. Neste trabalho, procurou-se estabelecer se a norma ACI 313:1997 tem boa aplicação para a determinação das pressões nos silos quando

¹ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Professora Substituta, DEG/ UFLA, hellen@deg.ufla.br

² Professor Associado I, DEG/UFLA, fcgomes@deg.ufla.br

comparado com as pressões experimentais já existentes. Tendo assim uma proposta de projeto estrutural de armazenagem para café em relação aos métodos já existentes e tradicionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Determinação das propriedades físicas do café beneficiado

Nesta fase foram utilizadas as propriedades físicas do café cereja descascado (*coffea arábica*), determinadas no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira, da Escola de Estruturas em São Carlos / SP (LAMEM/EESC/USP), utilizando o aparelho de cisalhamento TSG 70-140 (Jenike Shear Tester). O produto estudado estava com a umidade de 12%, sendo que esta foi determinada pelo método da estufa.

Determinação da geometria da tremonha

Foi adotada a massa específica do café beneficiado em 680 kg m^{-3} e capacidade estática da célula de 1.500 sacas de café cereja beneficiado. Como cada saca tem 60 kg, o volume total de célula é de $132,35 \text{ m}^3$. Em relação à geometria, o silo foi classificado segundo a relação altura efetiva do produto armazenado (H) e a maior dimensão (L) do corpo do silo como sendo silo baixo ($H/D = 1,84 < 2$, segundo ACI 313:1997). Para armazenar 1.500 sacas de café, ou seja, 90 toneladas, a tremonha terá capacidade para armazenar 494 sacas; no cone superior, formado pelo ângulo de repouso, 62 sacas e no corpo do silo, 944 sacas, com as respectivas alturas conforme apresentado na Figura 1.

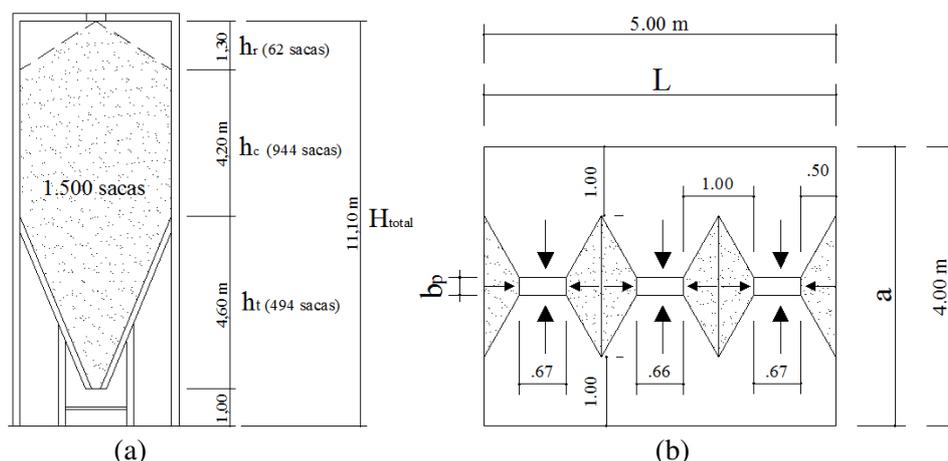


Figura 1 – Esquema geométrico de uma célula com capacidade para 1.500 sacas de café beneficiado (a) e planta baixa da tremonha com detalhes do enchimento na saída (b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Pressões estáticas na célula: Para o cálculo das pressões estáticas (situação de carregamento ou inicial) na célula, foi adotada a Teoria de JANSSEN (1895). Para as pressões verticais e horizontais e as forças de atrito na parede do lado “a” e “L”, foram utilizados os valores das propriedades físicas do café cereja descascado com diferentes combinações do ângulo de atrito com a parede (ϕ_{ws} e ϕ_{wi}), com efetivo ângulo de atrito interno (ϕ_{es} e ϕ_{ei}), com o emprego dos limites das propriedades físicas dos produtos, para a possível determinação das maiores pressões vertical e horizontal.

b) Pressões adicionais: A importância da pressão adicional é para que se faça o reforço na transição do corpo com a tremonha, com o reforço de armadura a 1,20 m abaixo e acima da transição, sendo utilizado uma pressão adicional com fluxo de massa $27,52 \text{ kN m}^{-2}$, segundo a norma DIN 1055-6:2005.

c) Pressões dinâmicas: Para o cálculo das pressões dinâmicas (situação de descarga) na célula foi adotada a teoria de Safarian (1969) para o corpo do silo e a norma ACI 313:1997 para a tremonha. As pressões estáticas horizontais e verticais estão sendo agora aplicadas aos coeficientes de sobrepressão para se determinar as pressões dinâmicas.

Após a determinação das pressões estáticas e dinâmicas, foram representados, na Figura 2, os resultados das pressões horizontais e adicional para as paredes do lado “L” e “a” do silo.

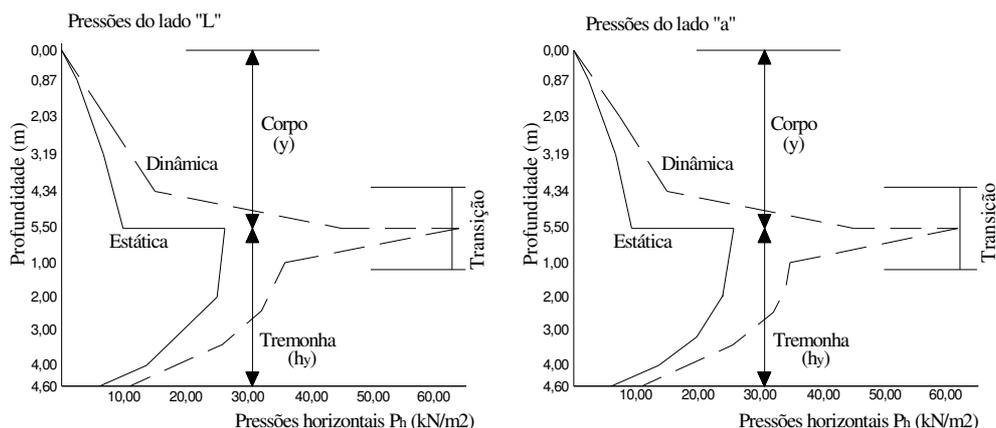


Figura 2 – Pressões estáticas e dinâmicas horizontais na parede do lado “L” e do lado “a” da tremonha, acrescidas das pressões adicionais.

Conforme pode ser verificado as pressões dinâmicas nas paredes “L” e “a” teoricamente apresentam tensões maiores que as estáticas. Segundo LOPES NETO et al. (2008), em seu experimento, foi concluído que as tensões nas paredes do silo na condição dinâmica foram superior às estáticas em todas as fases estudadas.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, pôde-se concluir que a norma ACI 313:1997 tem uma boa aplicação para silos de concreto armado, desde que observadas algumas considerações não contempladas na mesma. As pressões estáticas na parede do silo devem ser calculadas de acordo com a teoria de JANSSEN (1895) e na tremonha, com base na teoria de Walker. As pressões dinâmicas devem ser calculadas de acordo com Safarian na parede e a norma ACI 313:1997 na tremonha, utilizando os coeficientes de sobrepressão. A norma ACI 313:1997 não considera as pressões adicionais na transição do corpo do silo para a tremonha, um ponto crítico para os silos elevados. Conclui-se que, na verificação, foi necessária o uso da norma DIN 1055-6:2005, o que gerou um acréscimo de pressão nos cálculos de 60% e 59% nas paredes “a” e “L” do silo e de 44% e 43% nos lados “a” e “L” da tremonha para a pressão adicional considerada.

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 313**: standard practice for design and construction of concrete silos and stacking tubes for storing granular materials (ACI 313-97) and commentary – ACI 313R-97. Detroit, 1997. Revised.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Exportação brasileira de café**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.abic.com.br/estat_exporta_cafe.html>. Acesso em: 28 jan. 2010.
- AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3774**: loads on bulk solids containers - commentary. Sydney, 1996.
- CALIL JÚNIOR, C. Ações em silos pelo método dos estados limites: proposta de norma brasileira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n. 4, p. 110-117, jun. 1997.
- CALIL JÚNIOR, C.; CHEUNG, A. B. **Silos**: pressões, fluxo, recomendações para o projeto e exemplos de cálculo. São Carlos: EESC/USP, 2007. 232 p.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1055-6**: Basis of design and actions on structures, part 6: design loads for buildings and loads in silo bins. Berlin, 2005.
- JANSSEN, H. A. Versuche über getreidedruck in silozellen. **Zeitschrift/Verein Deutscher Ingenieure**, Dusseldorf, v. 39, p. 1045-1049, Aug. 1895.
- LOPES NETO, J.P.; NASCIMENTO, J. W. B.; CALIL JUNIOR, C. Análise estrutural de silos metálicos prismáticos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n. 4, p. 1252-1258, jul./ago., 2008.