

CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA MISTO EM CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL APLICADO A SILOS MULTICELULARES PARA CAFÉ A GRANEL

José Floriano de A. MARQUES NETO¹; Maria Cecília A. T. SILVA²

¹M.Sc., UNICAMP, Sócio-diretor da Azevedo Marques Engenharia Ltda., Espírito Santo do Pinhal – SP, e-mail: amarquesneto@uol.com.br; ²D.S., Departamento de Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, e-mail: cecilia@fec.unicamp.br.

Resumo

O agro-negócio café representa atualmente no mundo a segunda maior *commodity* e observa-se uma tendência cada vez maior em se trabalhar com esse produto a granel, em grandes volumes. Diversos fatores justificam essa tendência: transporte mais barato e mais seguro em caminhão do tipo *container*; custo mais barato do *container* para embarcar nos navios para exportação; diminuição significativa da mão – de – obra de manuseio; maior segurança contra incêndio; maior rapidez na carga e descarga e eliminação de gastos com valores não agregados ao produto. Visando uma concepção construtiva racional e econômica, o presente trabalho propõe um sistema de armazenagem para café a granel, na forma alternativa aos sistemas tradicionais, quer seja de armazenagem do café em sacos de 60 kg, ou mesmo em sacos tipo *big-bags*. No projeto proposto, o silo é composto de células em alvenaria estrutural, geminadas duas a duas na largura e com um número variável de células no comprimento, em função do volume desejado de armazenagem. Esse sistema simétrico favorece a racionalidade operacional, garantindo a continuidade entre os fluxos de recebimento e de expedição. O fundo da célula é em forma de tremonha dupla tronco-piramidal, com saída central. As tremonhas são construídas em painéis treliçados pré-moldados com capeamento de concreto. A sustentação das células e das tremonhas é feita através de vigas e pilares de concreto armado. O isolamento térmico necessário para que a qualidade do café armazenado seja garantida é estabelecido pela utilização de telhas trapezoidais de aço galvanizado, tanto na cobertura como nos fechamentos laterais. A parte superior das células do silo recebe uma laje que tem como função estrutural o travamento da estrutura. Tendo em vista situações de silos multicelulares, as várias situações de carregamento, resultantes das combinações de células cheias e vazias são analisadas. As propriedades e peculiaridades, relativas ao produto armazenado, são apresentadas e consideradas na definição do sistema proposto.

Palavras-chave: silos, café, alvenaria estrutural, tremonhas, fluxo, células.

A MIXED DESIGN OF MULTI-CELL SILO GROUP FOR STORING COFFEE BEANS

Abstract

Nowadays, the coffee agribusiness represents the second largest commodity in the world, and there is a growing tendency in working with this product loose and in great quantity. Several factors justify this tendency: cheaper and safer transportation in container trucks, lower cost of the container for export shipment, significant diminution of hand labor in handling the product, greater safety in relation to fire, faster loading and unloading, and no expenses with values not aggregated to the product. Aiming an economic and rational constructive conception, the present paper proposes a storage system for loose coffee in 60 kilo bags or in big bags. In the proposed project the silo is composed of cells in structured masonry coupled two by two in width, and a variable number of cells in length according to the desired volume of storage. This symmetrical system favors the operational rationality, which guarantees the continuity between the receipt and shipment flows. The bottom cell shape is of a pyramid trunk double hopper with a central exit. This alternative permits the reduction of the height of the hopper in a cell, and consequently a reduction of the total height of the silo making the structural conception easier and lowering the cost of the building. The hoppers are built in pre-molded trussed panels with concrete crowning. The support of the cells and hoppers is done with concrete beams and pillars. The thermal insulation needed, so that the quality of the stored coffee is preserved, is established by using galvanized steel trapezoid tiles for the roof as well as for the side closing. The upper part of the silo cells receives a cement slab whose structural function is to block the structure. Having in mind multi-cell silos the several loading situations, resulting from the combination of full and empty cells, are analyzed. The properties and peculiarities related to the stored product are presented and considered in the definition of the proposed system.

Key words: silo, coffee, structured masonry, hopper, cells.

Introdução

A necessidade constante em se reduzir custos, economizando valores não agregados ao produto, principalmente nessa época de economia globalizada, faz com que cada segmento produtivo, industrial e de serviços procure soluções para enfrentar o mercado mundial, sem protecionismos.

A Engenharia Civil, em sua essência principal, pode ser definida como uma importante, poderosa e imprescindível ferramenta a serviço do homem. Portanto, à medida que os desafios aparecem, é que se verifica o progresso e o desenvolvimento desta atividade, tanto em novas técnicas, como em processos, procedimentos, materiais, ferramentas, etc.

Todas essas considerações são importantes para caracterizar e dar suporte às soluções apresentadas a seguir, para armazenagem de café a granel, através de uma concepção construtiva alternativa.

O mercado externo e boa parte do mercado interno (torrefações) sinalizam a intenção cada vez maior de trabalhar com o produto granelizado, em volumes maiores, por diversos fatores: transporte mais barato e mais seguro, em caminhões tipo *containers*; custo mais barato do *container*, para embarcar nos navios para exportação; eliminação da mão-de-obra de manuseio; segurança maior contra incêndio; maior rapidez na carga e descarga; eliminação de gastos com valores não agregados ao produto.

A indústria eletro-mecânica já está em franco desenvolvimento nos processos de carga e descarga do produto, tanto para transporte dos grãos, como para enchimento dos *containers*, com velocidades cada vez maiores.

O caso é, então, fazer com que a construção civil no Brasil acompanhe esta evolução, apresentando idéias e soluções construtivas adequadas, de custos compatíveis e que tenham abrangência importante no mercado e na atividade do café.

Material e Métodos

Inicialmente, é importante que sejam estudados: as propriedades físicas do grão, as condições ideais de armazenagem, o projeto arquitetônico adequado para os silos, a definição das ações envolvendo as condições de pressão (células cheias, vazias e na descarga do produto), as capacidades (volumes) das células de armazenagem, de forma a atender aos requisitos de qualidade de conservação do café e aos requisitos impostos pela mecanização e transilagem do grão.

Qualquer grão é um ser vivo, portanto respira, elimina gás carbônico, água e calor e tem a capacidade de enfrentar as doenças, os ataques dos insetos e dos microorganismos. Segundo Marsans (apud Weber, 1995), os grãos possuem três características importantes: baixa condutibilidade térmica, capacidade de absorção e dissorção de água, e natureza porosa.

Os grãos são produtos biológicos susceptíveis à deterioração, portanto, para uma boa armazenagem, suas características devem ser observadas, analisadas e preservadas.

Armazenar é, portanto, uma atividade que deve ser exercida no sentido de se preservar a massa viva de grãos, sadia e protegida dos ataques naturais (insetos, fungos, etc.), de forma a se evitar perdas quantitativas e qualitativas.

Para se projetar uma unidade armazenadora é necessário o conhecimento das características físicas, características biológicas e características químicas do café.

As principais características físicas a serem pesquisadas são: peso específico; ângulo de atrito interno, ou a tangente desse ângulo (coeficiente de atrito interno); ângulo de atrito entre o material ensilado e as paredes da célula; ângulo de repouso; tamanho do grão; forma do grão; porosidade; cor; condutividade térmica; umidade de equilíbrio.

As principais características biológicas referem-se a: anatomia; respiração; microorganismos dos grãos.

As principais características químicas são decorrentes das propriedades dos grãos que, por serem materiais orgânicos compostos de água, carboidratos, proteínas, enzimas, gorduras, sais minerais e vitamínicos, em sua armazenagem, devem ser preservadas, mantendo-se o equilíbrio entre os compostos constituintes e o meio físico e biológico onde estão.

De acordo com o anexo I da Instrução Normativa N° 048 (Ministério da Agricultura, 2002), entende-se por café beneficiado o endosperma do fruto de diversas espécies do gênero *Coffea*. O café beneficiado é classificado em categoria, subcategoria, grupo, subgrupo, classe e tipo, segundo a espécie, a granulometria, o aroma e o sabor, bebida, cor e qualidade. Independente de sua classificação, os teores de umidade do café beneficiado não poderão exceder os limites máximos de tolerância de 12,5% e nem o percentual máximo de matérias estranhas e impurezas estabelecidos em 1%.

Uma massa de grãos se comporta como um organismo vivo, que respira, eliminando gás carbônico; que transpira, despreendendo energia na forma de calor e que, portanto, pode ser atacada por insetos e/ou fungos.

Desta forma, "armazenar" deve ser entendido como um elenco de medidas e procedimentos destinados a manter a massa de grãos dentro de condições ideais de conservação, protegendo-os contra seus inimigos naturais.

Como esta pesquisa trata apenas de café já beneficiado, o ideal é armazená-lo com umidade em torno de 11%, em temperatura ambiente em torno de 20° C e umidade ambiente máxima de 65%.

O grão de café deve ser armazenado em ambiente escuro, pois ele perde cor, quando exposto à luz. A edificação de um sistema de armazenagem deve garantir da melhor forma possível, as condições ideais expostas acima.

Esse projeto de silos para café beneficiado, que envolve uma unidade armazenadora, além do projeto civil, deve contemplar os *sistemas mecânicos* para transporte do café, para enchimento das células, para a transilagem do produto, para pesagem deste café, tanto na entrada como na saída, e, também, para carregamento do café a granel em caminhões *containers*. Dentro desse contexto, o estudo do fluxo de grãos, o funcionamento do sistema e a capacidade estática e dinâmica das células são itens importantes a serem considerados na concepção do projeto.

Geometricamente, em virtude das facilidades para as operações mecânicas necessárias, a solução proposta é projetar células, geminadas 2 a 2 na largura e com o número necessário dessas células no comprimento, até se conseguir o volume desejado de armazenagem. Como as esteiras eletro-mecânicas que despejam e retiram o café dos silos correm em trilhos, a concepção arquitetônica deve levar em consideração essas esteiras e, como tal, acompanhar o trajeto delas.

No centro do sistema é reservado um vão para a localização dos elevadores dos grãos, para a balança de fluxo (para controle da pesagem) e para um eventual sistema de retirada do pó que envolve as operações.

Esse sistema simétrico favorece a racionalidade operacional, permitindo excelente continuidade entre os fluxos de recebimento e de expedição.

A definição do projeto arquitetônico em relação às dimensões das células dos silos, depende do sistema de trabalho que o usuário queira adotar e de quanto deseja armazenar por célula.

A figura 1 mostra a planta esquemática de um sistema de silos graneleiros para café e os cortes longitudinal e transversal das células. A figura 2 mostra o esquema de uma tremonha com saída dupla, e a figura 3 indica o corte longitudinal completo desse sistema, considerando a estrutura de cobertura e os fechamentos laterais.

O projeto estrutural do sistema de silos graneleiros é dividido em 4 partes: definição dos carregamentos, determinação das propriedades físicas do produto, cálculo dos esforços na estrutura e dimensionamento.

Para o cálculo estrutural de um sistema de silos conforme proposto, considera-se inicialmente as *ações* que agem sobre ele. As principais ações são: peso próprio do silo, pressões e forças de atrito provocadas pelo produto ensilado, peso próprio dos equipamentos, efeito do vento e variação da temperatura.

A determinação das propriedades físicas dos grãos de café beneficiados é a primeira etapa para um projeto de fluxo e para um projeto estrutural de silos: paredes e tremonhas (ângulos adequados de inclinação). As propriedades mais importantes para o projeto dos silos são: densidade, granulometria, ângulo estático de atrito interno, efetivo ângulo de atrito interno, ângulo cinemático de atrito entre o produto armazenado e os materiais das paredes de contato (bloco de concreto e concreto liso), função fluxo instantâneo (FF), fator fluxo da tremonha ($f f$).

A determinação dessas propriedades físicas de uma amostra de café beneficiado, da espécie *coffea arábica*, foi realizada no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira, LAMEM /EESC / USP, de acordo com a metodologia proposta por Milani (1993), utilizando o aparelho de cisalhamento TSG 70-140 ("*JENIKE Shear Tester*").

Para o cálculo das pressões estáticas foram adotados os procedimentos da norma americana ACI 313 (1997).

Para se calcular as combinações críticas de carregamento das células para a quantificação dos valores das tensões horizontais, dos momentos fletores, e das cortantes, precisam ser consideradas várias situações de células cheias, em descarga e de células vazias.

É difícil saber quais células devem ser carregadas e quais esvaziadas para se conhecer as piores condições de momentos fletores, cortantes e tensões. A complexidade é grande, porém, a solução pode ser obtida com a utilização de ferramentas computacionais. Considerações são feitas sobre as paredes de alvenaria estrutural, sobre a argamassa de assentamento da alvenaria estrutural e sobre o *grout* para a alvenaria armada.

Com os esforços obtidos através de procedimentos de cálculo, passa-se ao dimensionamento dos elementos estruturais: laje de fechamento superior, paredes de alvenaria estrutural das células, laje da tremonha, vigas de sustentação internas e externas, vigas transversais, pilares de sustentação internos e externos e fundações.

O dimensionamento das paredes estruturais é função das ações provenientes do produto ensilado, das ações provenientes de seu peso próprio e do peso da laje de fechamento superior que se apóiam sobre elas. Esse dimensionamento permite determinar não só a geometria, a resistência à compressão necessária e as especificações técnicas dos blocos, como também as características necessárias para as argamassas de assentamento e argamassas de grauteamento.

Resultados e Discussão

Muitos são os fatores que motivaram a realização deste trabalho, dentre os quais se destacam:

- o desafio que foi em projetar e construir um sistema de silos graneleiros para café beneficiado, em modelo construtivo pioneiro (concreto e alvenaria estrutural) para tal finalidade;
- a possibilidade de que este trabalho possa, na prática, servir de base para novos empreendimentos e ser ferramenta para outros profissionais que atuam no *agrobusiness* do café.

É importante salientar que, na literatura, a maioria dos trabalhos e pesquisas realizadas foi para silos metálicos ou de concreto armado. Para um sistema misto, como o que foi proposto, há escassez de bibliografia, principalmente no que tange ao dimensionamento da alvenaria estrutural com relação às pressões horizontais. O assunto é vasto e precisará de novos trabalhos para esgotá-los completamente.

Com relação aos cálculos das pressões foi constatado que as várias teorias existentes sobre o assunto baseiam-se na Teoria de Janssen. As maiores diferenças entre elas referem-se a diferentes parâmetros adotados para o coeficiente K (relação entre as pressões horizontais e verticais) e para os diferentes coeficientes de sobrepressão C_d . Como afirma Calil (1990): “a maioria desses parâmetros são determinados por meio de métodos probabilísticos e empíricos, e obviamente não faz sentido usar fórmulas que são muito complicadas para o projeto de silos”.

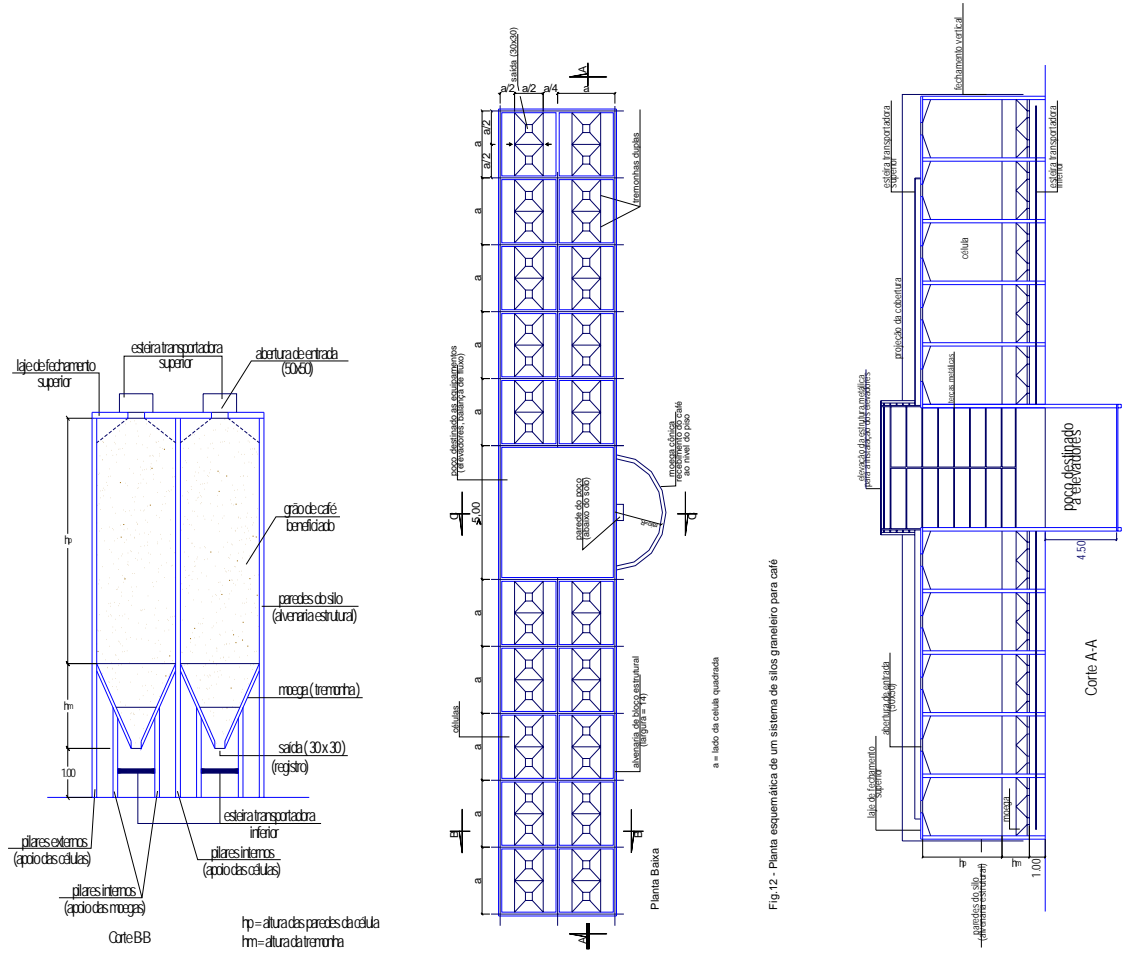


Figura 1 – Sistema de silos em concreto armado e alvenaria estrutural

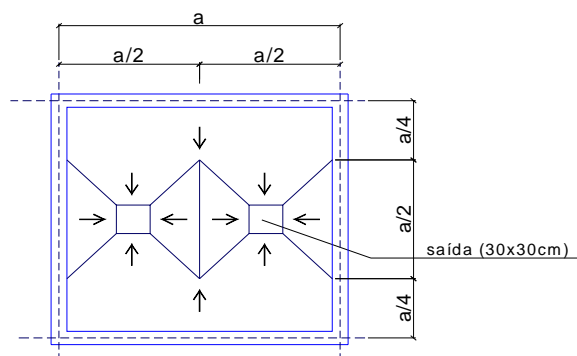


Figura 2 – Projeto esquemático do fundo de uma célula (tremonha)

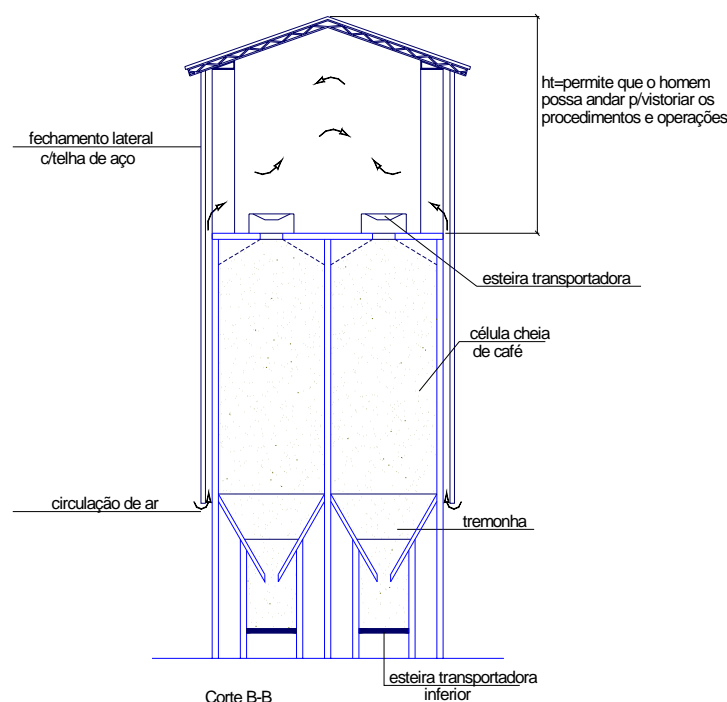


Figura 3 – Corte transversal do sistema de silos graneleiros

Como exemplo, a tabela 01 indica as relações entre a capacidade de armazenamento de uma célula quadrada com largura de 5,00m e as alturas necessárias para as paredes (h_p), para a tremonha (h_m) e altura total do silo (H_{total}).

Tabela 01 – Relação entre volume armazenado e alturas de célula quadrada com 5,00m x 5,00m

VOLUME		ALTURA DA CÉLULA (m)			
Sacos 60Kg	peso (tonelada)	h_m	h_e	h_p	H_{Total}
2500	150	2,80	7.60	9.00	12.80
2000	120	2,80	5.80	7.20	11.00
1500	90	2,80	4.00	5.40	9.20
1000	60	2,80	2.40	3.80	7.60

Conclusões

Várias definições contempladas neste trabalho foram conclusivas, entre estas citamos algumas:

- para armazenagem de café a granel em silos, a forma quadrada ou retangular é a mais adequada, visto que, a forma circular é de difícil construção em alvenaria estrutural de blocos de concreto;
- o sistema adotado de células duplas geminadas é melhor utilizado com células quadradas ou retangulares, comparativamente a células circulares, onde haveria vazios entre elas;
- a definição da aplicação de alvenaria estrutural para as paredes das células, no caso em pauta, e de lajes tipo painéis com capeamento em concreto para as tremonhas são soluções muito adequadas para serem utilizadas em qualquer parte do país;
- a cobertura e o fechamento vertical em telhas de aço galvanizado contribuem bastante para o conforto térmico e para a garantia da conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do produto café.

Referências Bibliográficas

- American Concrete Institute, ACI 313-97, ACI 313R-97: Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials (ACI 313-97) and Commentary – ACI 313R-97. USA,1997.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do. Instrução Normativa nº 048 de 16 de agosto de 2002. Disponível em www.pos-colheita.com.br. Acesso em 7/9/2003.
- Calil Jr, C. Recomendações de Fluxo e de Cargas para o Projeto de Silos Verticais. 1990. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Milani, A. P. Determinação das propriedades de produtos armazenados para projetos de pressões e fluxo em silos. 1993. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- WEBER, E. A. Armazenagem Agrícola. 1995. Kepler.