

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**  
**Engenharia Agrícola e Ambiental**

**Adrieny Kerollen Alves Lopes**

**PROJETO DE SILO SECADOR DE GRÃOS PARA O PEQUENO PRODUTOR NA**  
**REGIÃO NOROESTE DE MINAS**

**Unai**  
**2021**

**Adrieny Kerollen Alves Lopes**

**PROJETO DE SILO SECADOR DE GRÃOS PARA O PEQUENO PRODUTOR NA  
REGIÃO NOROESTE DE MINAS**

Trabalho apresentado como parte integrante da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Orientadora: Hellen Pinto Ferreira Deckers

**Unai  
2021**

**Adrieny Kerollen Alves Lopes**

**PROJETO DE SILO SECADOR DE GRÃOS PARA O PEQUENO PRODUTOR NA  
REGIÃO NOROESTE DE MINAS**

Trabalho apresentado como parte integrante da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Orientadora: Hellen Pinto Ferreira Deckers

Data de aprovação \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

Prof. Dr. Anderson Barbosa Evaristo  
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

---

Prof. Dr. Marcelo Bastos Cordeiro  
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Hellen Pinto Ferreira Deckers  
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

**Unai**

## AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre esteve comigo em todos os momentos, sempre abençoando meu caminho e me dando saúde e forças, e a Nossa Senhora que sempre me cobriu com seu manto me ajudando a ter sabedoria para enfrentar as dificuldades.

Aos meus pais, Dulcimar e Sandra Rosa, que me deram amor e carinho, me ensinaram a ter sabedoria e discernimento e sempre me apoiaram em todas as decisões, estando ao meu lado por toda a vida acadêmica.

À minha querida irmã Ana Clara pelo companheirismo no dia a dia, me alegrando, trazendo leveza aos dias difíceis e me dando força diariamente.

Ao meu namorado Leandro por todo o apoio durante a minha trajetória acadêmica, sendo um grande amigo e companheiro de vida. Obrigada por todos os momentos de alegria, todo o incentivo e a confiança que me passou.

Aos meus avós e a toda minha família por todo o apoio e todos os momentos descontraídos que me proporcionam.

À minha orientadora Hellen, por toda a confiança e todo o conhecimento compartilhado não apenas no período da realização deste trabalho, mas também durante minha trajetória acadêmica. Se tornando uma grande referência, profissional e pessoal. A você toda a minha admiração.

Às minhas queridas amigas, que sempre me deram apoio e me incentivaram e estiveram ao meu lado, me ajudando a enfrentar momentos difíceis.

Aos demais colegas que estiveram presentes na minha trajetória acadêmica, muito obrigada.

“O próprio Senhor irá à sua frente e estará com você; ele nunca o deixará, nunca o abandonará. Não tenha medo! Não se desanime!”  
(Deuteronômio 31:8)

## RESUMO

Apesar do expressivo crescimento na produção de grãos o Brasil apresenta uma inadequada infraestrutura de armazenagem, com a existência de uma grande lacuna entre o volume de produção e a capacidade estática existente. A maioria dos sistemas de armazenamento concentram-se apenas nas grandes propriedades. Contudo, o aumento na capacidade de armazenamento pelo pequeno e médio produtor, pode lhe conferir uma diminuição nos custos de pós-colheita e garantir melhores estratégias de negociação, podendo escolher o melhor momento para a comercialização. O objetivo do estudo foi realizar uma proposta de projeto de silo secador de baixo custo e fácil execução, adequado às condições das pequenas propriedades rurais na Região Noroeste de Minas Gerais. O silo secador apresenta baixa relação altura/diâmetro, construído em alvenaria armada, com fundo plano e falso, com capacidade para 300 sacas. O dimensionamento baseou-se na norma BS EN 1991-4:2006. A determinação das pressões atuantes foi realizada de acordo com a Teoria de Rankine, para milho e soja. Os valores do coeficiente K (relação entre pressão horizontal e vertical) encontrados foram de 0,33 para milho e 0,44 para soja. As pressões verticais estáticas ( $P_{ve}$ ) encontradas tanto para milho quanto para soja variam de 0 kN m<sup>-2</sup> até 17,34 kN m<sup>-2</sup> na posição máxima, porém, nas posições intermediárias dos grãos na célula (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m) o milho apresentou valores mais elevados (3,88 kN m<sup>-2</sup>; 7,75 kN m<sup>-2</sup>; 11,63 kN m<sup>-2</sup>; 15,50 kN m<sup>-2</sup>, respectivamente) em comparação aos valores da soja (3,75 kN m<sup>-2</sup>; 7,50 kN m<sup>-2</sup>; 11,25 kN m<sup>-2</sup>; 15,00 kN m<sup>-2</sup>, respectivamente). As pressões horizontais estáticas ( $P_{he}$ ) são maiores quando se armazena soja, variando entre 0 kN m<sup>-2</sup> na menor posição dos grãos na célula, até 7,60 kN m<sup>-2</sup> na posição máxima da célula; enquanto que para o milho a  $P_{he}$  atinge o máximo de 5,78 kN m<sup>-2</sup> quando na maior posição. De maneira geral, para milho e soja, a  $P_{ve}$  apresenta valores mais elevados que a  $P_{he}$  ao longo da profundidade dos grãos na célula. Conclui-se que as pressões para os produtos analisados, não apresentaram diferenças significativas das pressões para silos baixos e com fluxo de massa, desta forma, o projeto do silo secador para grãos, se apresenta flexível para armazenamento, tanto de soja quanto de milho. Construir um silo secador de baixo custo para a produção de grãos nas pequenas propriedades, dá ao produtor maior poder de negociação do produto, mantendo assim a qualidade dos grãos. Desta forma a proposta de silo secador de baixo custo em alvenaria armada se mostra uma ótima opção para o pequeno produtor.

**Palavras-chave:** armazenamento, pequeno produtor, silo secador.

## ABSTRACT

Despite the significant growth in grain production, Brazil has an inadequate storage infrastructure, with a large gap between the production volume and the existing static capacity. Most storage systems are concentrated only in large properties. However, the increase in storage capacity by the small and medium producer, can give him a reduction in post-harvest costs and ensure better negotiation strategies, being able to choose the best time for commercialization. The objective of the study was to develop a project proposal for a low-cost and easy to execute silo drier, suitable for the conditions of small farms in the northwest region of Minas Gerais. The drying silo has a low height/diameter ratio, built in reinforced masonry, with flat and false bottom, with capacity for 300 bags. The sizing was based on the BS EN 1991-4:2006 standard. The determination of the acting pressures was performed according to Rankine's Theory, for corn and soybean. The values of the K coefficient (relation between horizontal and vertical pressure) found were 0.33 for corn and 0.44 for soybean. The static vertical pressures ( $P_{ve}$ ) found for both corn and soy varied from 0 kN m<sup>-2</sup> to 17.34 kN m<sup>-2</sup> in the maximum position, however, in the intermediate positions of the grains in the cell (0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m) corn presented higher values (3.88 kN m<sup>-2</sup>; 7.75 kN m<sup>-2</sup>; 11.63 kN m<sup>-2</sup>; 15.50 kN m<sup>-2</sup>, respectively) compared to soybean values (3.75 kN m<sup>-2</sup>; 7.50 kN m<sup>-2</sup>; 11.25 kN m<sup>-2</sup>; 15.00 kN m<sup>-2</sup>, respectively). The horizontal static pressures ( $P_{he}$ ) are higher when storing soybeans, ranging from 0 kN m<sup>-2</sup> at the lowest position of the grains in the cell, to 7.60 kN m<sup>-2</sup> at the maximum position of the cell; while for corn the  $P_{he}$  reaches a maximum of 5.78 kN m<sup>-2</sup> when at the highest position. In general, for corn and soybean,  $P_{ve}$  presents higher values than  $P_{he}$  along the depth of the grains in the cell. It can be concluded that the pressures for the analyzed products, did not present significant differences from the pressures for low silos and with mass flow, thus, the design of the grain dryer silo, is flexible for storage, both for soybeans and corn. The geometric characteristics for the different products, only differ in their total storage height. Building a low-cost dryer silo for the production of grains in small farms gives the producer greater power to negotiate the product, thus maintaining the quality of the grains. In this way the proposal of a low-cost drying silo in reinforced masonry shows itself to be an excellent option for the small producer.

**Key words:** storage, small producer, dryer silo.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Fluxograma operacional de uma unidade de beneficiamento.....	17
<b>Figura 2</b> - Comportamento do grão durante o processo de secagem.....	18
<b>Figura 3</b> - Processo de secagem em baixas temperaturas no silo. ....	20
<b>Figura 4</b> - Notação dos parâmetros geométricos de um silo. ....	26
<b>Figura 5</b> - Tipos básicos de fluxo durante o descarregamento. ....	27
<b>Figura 6</b> – Exemplos de silos quanto ao trajeto de fluxo. ....	28
<b>Figura 7</b> – Silos de fundo plano.....	28
<b>Figura 8</b> – Formas mais comuns de silos com fundo tremonhado. ....	29
<b>Figura 9</b> – Pressões simétricas atuantes nas paredes de um silo. ....	31
<b>Figura 10</b> – Pressões nas paredes do silo para um ciclo de operação de carga, armazenamento e descarga. ....	32
<b>Figura 11</b> - Pressões exercidas pelo produto em silos de fundo plano de acordo com a teoria de Rankine.....	35
<b>Figura 12</b> - Diagrama de pressões laterais exercidas pelo produto em silos de fundo com tremonha. ....	36
<b>Figura 13</b> - Pressões exercidas pelo produto em silos de fundo plano, de acordo com a teoria de Rankine-Calil.....	37
<b>Figura 14</b> – Interior de um silo secador com fundo falso.....	42
<b>Figura 15</b> - Representação das etapas de construção do silo armazenador modelo UFV. ....	45
<b>Figura 16</b> - Base do silo secador armazenador com detalhes do fundo perfurado, grade circular, pilares e ventilador.....	45
<b>Figura 17</b> - Representação das etapas de construção do silo secador modelo UFV.....	46
<b>Figura 18</b> – Detalhes construtivos da proposta do silo secador em alvenaria. ....	51
<b>Figura 19</b> – Detalhes construtivos do ripado de madeira. ....	57
<b>Figura 20</b> – Detalhes da abertura para descarga dos grãos.....	58
<b>Figura 21</b> – Detalhes construtivos da base e do fundo falso do silo secador em alvenaria. ....	59
<b>Figura 22</b> – Detalhes construtivos do silo secador em alvenaria após o reboco. ....	60
<b>Quadro 1</b> - Variáveis físicas, químicas e biológicas responsáveis pela deterioração ocorrente no ecossistema formado pela massa de grãos.....	15
<b>Quadro 2</b> - Classificação dos sistemas de secagem.....	19
<b>Quadro 3</b> - Classificação dos sistemas de armazenamento. ....	24



<b>Quadro 4</b> – Emprego do limite inferior e superior das propriedades físicas dos produtos. ....	31
<b>Gráfico 1</b> - Comparativo entre a capacidade estática de armazenamento e a produção de grãos até o mês de setembro no Brasil de 2020 segundo a CONAB. ....	39
<b>Gráfico 2</b> – Comparação entre a pressão vertical e horizontal pela Teoria de Rankine. ....	55
<b>Mapa 1</b> - Déficits na capacidade estática de armazenagem em 2020.....	40
<b>Mapa 2</b> – Região Noroeste de Minas com divisão das Microrregiões. ....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Classificação dos silos segundo a relação $h/d_c$ .....	26
<b>Tabela 2</b> - Propriedades física dos produtos. ....	49
<b>Tabela 3</b> – Características geométricas do silo secador para diferentes capacidades escolhidas. .....	50
<b>Tabela 4</b> – Pressões estáticas no silo secador em função de diferentes profundidades dos grãos na célula.....	53
<b>Tabela 5</b> – Características da Tela POP (2x3 metros) – Açomais.....	59
<b>Tabela 6</b> – Rendimento dos materiais construtivos. ....	61
<b>Tabela 7</b> – Quantidade de materiais que são necessários para um silo secador de 300 sacos. 61	
<b>Tabela 8</b> – Relação dos materiais e mão de obra necessários para a construção do silo secador de 300 sacos milho/soja.....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Armazenamento de grãos .....</b>	<b>14</b>
<i>2.1.1 Fatores que afetam a qualidade dos grãos armazenados.....</i>	<i>15</i>
<i>2.1.2 Beneficiamento .....</i>	<i>16</i>
<b>2.2 Secagem dos grãos .....</b>	<b>17</b>
<i>2.2.1 Secagem artificial com ventilação natural .....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.2 Secagem a baixas temperaturas .....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3 Secagem a altas temperaturas.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.4 Secagem em sistemas combinados .....</i>	<i>21</i>
<b>2.3 Métodos de Armazenamento .....</b>	<b>22</b>
<i>2.3.1 Unidades de armazenamento convencional .....</i>	<i>22</i>
<i>2.3.2 Unidades de armazenamento a granel.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3.3 Unidades para armazenamento emergencial .....</i>	<i>23</i>
<b>2.4 Sistemas de armazenamento.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Classificação dos silos .....</b>	<b>25</b>
<i>2.5.1 Geometria do Silo .....</i>	<i>25</i>
<i>2.5.2 Tipo de fluxo durante o descarregamento .....</i>	<i>26</i>
<i>2.5.3 Geometria do Fluxo.....</i>	<i>27</i>
<i>2.5.4 Geometria de Fundo.....</i>	<i>28</i>
<b>2.6 Considerações para projetos estruturais em silos .....</b>	<b>29</b>
<i>2.6.1 Propriedades físicas dos produtos armazenados .....</i>	<i>30</i>
<i>2.6.2 Ações atuantes na estrutura do silo .....</i>	<i>31</i>
<i>2.6.3 Teorias das pressões para células baixas.....</i>	<i>32</i>
<i>2.6.3.1 Teoria de Rankine.....</i>	<i>34</i>
<i>2.6.3.2 Teoria de Coulomb.....</i>	<i>37</i>
<i>2.6.3.3 Pressões para silos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano segundo as principais normas internacionais.....</i>	<i>38</i>
<b>2.7 Capacidade de armazenamento .....</b>	<b>38</b>
<b>2.8 Armazenagem e a pequena produção.....</b>	<b>40</b>
<i>2.8.1 Tecnologias de armazenamento para pequenas propriedades.....</i>	<i>42</i>
<i>2.8.2 Silo Armazenador .....</i>	<i>43</i>
<i>2.8.3 Silo secador armazenador .....</i>	<i>45</i>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>

<b>3.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Pesquisa .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Proposta de projeto para a Região Noroeste.....</b>	<b>48</b>
<i>3.3.1 Caracterização do produto .....</i>	<i>48</i>
<i>3.3.2 Geometria do silo secador .....</i>	<i>49</i>
<i>3.3.3 Materiais construtivos .....</i>	<i>51</i>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Pesquisa .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Cálculo teórico das pressões no silo secador .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3 Características construtivas.....</b>	<b>56</b>
<i>4.3.1 Custos da obra e equipamentos.....</i>	<i>60</i>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é um termo que faz referência ao contexto espacial da produção agropecuária. Trata-se da cadeia produtiva como um todo, partindo desde o segmento de insumos e serviços até a produção e aos processadores industriais, incluindo atividades de logística e distribuição para os mercados internos e externos (BARROS, 2018). De acordo com Vieira (2012) o agronegócio é a junção de diversas atividades que vão desde a produção e fabricação até o consumo final dos produtos agropecuários *in natura* ou industrializados.

Esse setor apresenta um papel de grande importância na economia brasileira, tanto no sentido monetário quanto social, se tornando assim responsável por um grande volume de empregos e renda para pessoas e organizações (COSTA, 2017). Nos últimos cinquenta anos, a ciência, tecnologia e a inovação associadas aos recursos naturais, políticas públicas, capacidade dos agricultores e as organizações das cadeias produtivas, têm tornado o Brasil um grande protagonista na produção e exportação de produtos agrícolas. Esta performance nas áreas rurais tem contribuído muito com o desenvolvimento econômico, social e ambiental do país (EMBRAPA, 2018).

Em 2017, o Brasil obteve recorde de produção de grãos e forneceu alimentos para mais de 150 países em todos os continentes. Na safra mais atual (2019/20) a produção de grãos foi de 248 milhões de toneladas, o que diz respeito a um saldo positivo de 2,5% (6 milhões de toneladas) com relação à safra anterior. Já a primeira estimativa para a produção da temporada 2020/21 indica o volume de 268,7 milhões de toneladas, o que equivale a 4,2% ou 10,9 milhões de toneladas superior ao obtido em 2019/20 (CONAB, 2020).

Entretanto, apesar do expressivo crescimento da produção de grãos e de seu importante papel na balança comercial, os investimentos em armazenagem e logística têm crescido lentamente. De acordo com Elias *et al.* (2009) e Souza *et al.* (2010), a inadequada estrutura armazenadora, a indevida distribuição da capacidade estática e os ineficientes modais de transporte são responsáveis por grandes quantidades de perdas na produção. Além disso, é importante destacar que a infraestrutura de armazenagem deveria ter a capacidade de receber toda a produção agrícola nacional e ainda disponibilizar espaços para eventuais produtos do mercado externo, para atender satisfatoriamente a demanda interna (FERNANDES, 2016).

De acordo com a Embrapa (2018), um dos grandes desafios da agricultura atual está na redução de perdas e desperdícios de alimentos por meio do desenvolvimento e melhorias de técnicas de armazenamento, produção de novas embalagens, manuseio e transporte dos produtos. Segundo a Confederação Nacional da Agricultura (CNA, 2012), o armazenamento e

o escoamento das safras agrícolas se encontram sobrecarregados, uma vez que apesar da capacidade estática de armazenamento tenha sido crescente, ainda existe uma grande lacuna entre o volume de produção e a capacidade estática existente.

Atualmente, os produtores rurais encontram problemas sistêmicos na forma como o Brasil administra a infraestrutura de armazenagem, já que apenas 16% de seus produtos são armazenados em propriedades agrícolas, o que vem sobrecarregando os sistemas logísticos e de armazenamento intermediário nas épocas de colheita (LEIDENS, 2019). A maioria dos sistemas de armazenamento existentes nas fazendas concentram-se apenas nas grandes propriedades, enquanto pequenos e médios produtores possuem principalmente apenas duas opções: fazer a venda do produto após a colheita, independente das condições do mercado ou utilizarem armazéns de terceiros, arcando com diversas despesas como limpeza, secagem e armazenagem (FERNANDES e ROSALEM, 2014).

De acordo com Costa (2017), o aumento na capacidade de armazenamento pelo produtor rural, poderá lhe conferir uma diminuição nos custos de pós-colheita e garantir melhores estratégias de negociação, além de poder escolher o melhor momento para a comercialização no mercado, em que os ganhos podem variar de 9,3% a 15,4% em relação ao mercado de balcão. Contudo, é necessário que o produtor tenha condições de se autofinanciar e possuir capacitação ou mão de obra técnica para o manejo adequado do sistema de armazenamento. Isso mostra que ainda existem muitos desafios a serem superados pelos agricultores devido à falta de unidades armazenadoras nas propriedades e muitos prejuízos causados por este grande déficit.

O objetivo do estudo foi realizar uma proposta de projeto de silo secador de baixo custo, fácil execução, em alvenaria armada, adequado às condições das pequenas propriedades rurais na Região Noroeste de Minas Gerais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Armazenamento de grãos

O armazenamento é o ato de estocar, guardar ou depositar qualquer produto por um período indeterminado, garantindo a conservação das características qualitativas e quantitativas do mesmo, enquanto estiver armazenado (DESSBESELL, 2014).

De acordo com Brandão (1989), conforme citado por Reginato (2014), é possível que o armazenamento de produtos tenha surgido na pré-história, quando o homem deixou de ser nômade e passou a produzir seu próprio alimento, passando a armazenar os produtos colhidos para suprir suas famílias em épocas em que não haveriam colheitas, surgindo a partir daí os primeiros depósitos de alimentos, que eram pequenos e rústicos. Com o decorrer dos anos, as quantidades produzidas eram cada vez maiores, o que por consequência exigia a necessidade de armazenar maiores volumes, levando à criação de novos meios de armazenagem.

Weber (2005) afirma que devido a alguns conflitos ocorridos nos anos 40 o abastecimento das populações ficou seriamente comprometido, fazendo com que o governo brasileiro entendesse a importância das unidades de armazenagem de grãos e passasse a incentivar o armazenamento desses produtos através dos programas de expansão agrícolas. Porém, apenas a partir dos anos 60 é que houve o aprofundamento e maiores transformações no setor, como a criação de órgãos estaduais para atuar na área de armazenagem (SILVA *et al.*, 2008).

A partir dos anos 70, com o novo ciclo da soja, iniciou-se a exploração de novas áreas de cultivo e expansão das já existentes, conseqüentemente houve o aumento da produtividade, além da introdução da mecanização desde o preparo até a colheita e transporte da produção. Em consequência, a colheita teve de ser realizada num curto período, o que resultou na desuniformidade da umidade dos grãos colhidos, necessitando assim da realização de secagem forçada e mecânica (ELIAS *et al.*, 2017).

Com o aumento da produção em pequenas propriedades rurais, associado ao crescimento da agricultura familiar no país, Martins *et al.* (2013) relatam que a partir da década de 80, no Rio Grande do Sul, começou-se a busca pelo desenvolvimento de estruturas de armazenamento de grãos, principalmente de milho, que se encaixassem à produção da agricultura familiar, tendo em vista que os modelos de paióis comuns de madeira que antes eram utilizados pelos produtores já se mostravam ineficientes, assim, surgiram novas

alternativas como o paiol de tela, paiol de alvenaria, tonéis e o silo plástico subterrâneo, sendo que todos os métodos necessitavam de sistemas interdependentes de secagem.

Marcon e Pellegrini (2014), afirmam que a partir dos anos 2000, o modelo gaúcho propagado pela extensão rural passa a ser o sistema de armazenagem silo secador, construído em alvenaria armada e com tela de contenção, que, quando realizado na propriedade rural, contribui para a sustentabilidade da atividade familiar, pois evita a queima de combustíveis fósseis durante o processo de secagem e aumenta a rentabilidade do agricultor.

### 2.1.1 Fatores que afetam a qualidade dos grãos armazenados

A qualidade dos grãos é um parâmetro muito importante para a comercialização e processamento do produto, podendo afetar a valorização do mesmo. Apesar de todas as tecnologias disponíveis na agricultura brasileira, perdas qualitativas e quantitativas nos processos de pós-colheita ainda não são bem controladas (BROOKER *et al.*, 1992 *apud* ALENCAR *et al.*, 2009). De acordo com o SENAR (2018), as perdas pós-colheita podem chegar a 30% da produção agrícola mundial. E no Brasil, as perdas entre colheita e armazenamento chegam a 20%.

Em um sistema de armazenamento, os grãos são os principais componentes de um ecossistema dinâmico, cujas interações físicas, químicas e biológicas promovem alterações nas suas características, gerando sua deterioração e outras perdas, causando prejuízos econômicos significativos (ELIAS *et al.*, 2010). Tanto a deterioração pelas interações dessas variáveis com a massa de grãos, quanto os contaminantes que podem ser encontrados na massa afetam a qualidade dos grãos armazenados. O Quadro 1 mostra as variáveis físicas, químicas e biológicas responsáveis pela deterioração ocorrente no ecossistema formado pela massa de grãos.

**Quadro 1** - Variáveis físicas, químicas e biológicas responsáveis pela deterioração ocorrente no ecossistema formado pela massa de grãos.

Variáveis Físicas	Variáveis Químicas	Variáveis Biológicas Internas	Variáveis Biológicas Externas
Temperatura	Disponibilidade de oxigênio intragranular	Respiração	Fungos
Umidade	Resíduos de agrotóxicos	Maturidade	Leveduras
Umidade intragranular	Metais pesados	Germinação	Bactérias
Propriedades físicas da massa de grãos	Micotoxinas		Insetos
Porosidade			Ácaros
Acamamento			Roedores
Propriedades térmicas			Pássaros

Fonte: FARONI E SILVA, 2008, modificado pelo autor.



O grau de deterioração depende do aumento do efeito destas variáveis, que por sua vez, são afetadas pela interação de temperatura e umidade e pela inter-relação destas com o produto e com a estrutura do armazém (FARONI e SILVA, 2008). São os conhecimentos das propriedades dos grãos e de suas interações com os processos metabólicos que devem embasar procedimentos operacionais no manejo da conservação destes durante o armazenamento (ELIAS *et al.*, 2018).

Para que a conservação dos grãos seja assegurada, esses devem ser armazenados secos, em locais frescos e protegidos da água e agentes bióticos externos. Um fator importante na manutenção e conservação da qualidade na massa de grãos é o projeto aprimorado de uma armazenagem que seja segura para a conservação dos mesmos.

Segundo Faroni e Silva (2008) algumas exigências estruturais poderão variar de acordo com o clima do local, tipo de colheita e espécies de pragas dominantes na região, devendo ser construções adequadas para a redução de infestações de pragas, minimizando o calor na parte superior do ambiente e maximizando a perda de calor e umidade do grão.

### **2.1.2 Beneficiamento**

Após a colheita, os grãos são levados para as unidades armazenadoras de grãos, que consistem em estruturas geralmente de médio e grande porte, construídas para realizar a atividade de beneficiamento e armazenamento dos grãos colhidos. Frequentemente, são bem equipadas e com sistemas sofisticados de recebimento, podendo conter um ou mais armazéns no mesmo local, e ainda serem construídas em alvenaria, estruturas metálicas ou mistas (COSTA, 2017; CONAB, 2005).

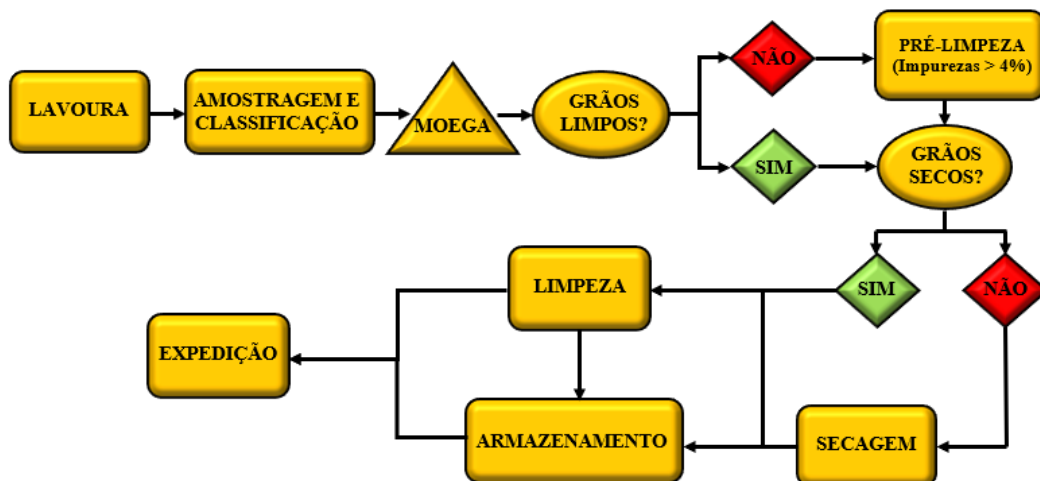
Assim que chegam às unidades armazenadoras, é necessário que os grãos passem pelas etapas de beneficiamento, pois geralmente, não podem ser diretamente armazenados nas condições em que são recebidos, por melhor que se encontrem as condições de trabalho e a qualidade do equipamento de colheita, os grãos podem sair das lavouras com auto teor de umidade e teor de impurezas acima da adequada para o armazenamento (WEBER, 2005).

O beneficiamento é uma das últimas etapas da produção de grãos, se tornando responsável por fazer com que o produto adquira, após a retirada de contaminantes (sementes, grãos imaturos, rachados e/ou partidos, pedaços de plantas, entre outros), as qualidades físicas, fisiológicas e sanitárias que possibilitam boa classificação em padrões comerciais (SILVA *et al.*, 2008). O objetivo das unidades beneficiadoras de produtos agrícolas é manter, durante um determinado período, as características dos grãos ou sementes após serem retirados das

lavouras. A manutenção dessas características e da qualidade do produto depende da boa condução das etapas de beneficiamento dentro das unidades (WEIRICH e SLONGO, 2014).

De acordo com Silva *et al.* (2008) uma unidade de beneficiamento moderna realiza o processo por meio de máquinas projetadas com base em uma ou mais diferenças nas características físicas do produto e dos contaminantes que serão retirados, ou seja, os produtos devem passar por etapas. Essas se iniciam com processo de recebimento do produto, onde este é classificado e segue para as demais fases de pré-limpeza, secagem, limpeza e depois segue para o armazenamento, aguardando até a comercialização (WEIRICH e SLONGO, 2014). Como mostra a Figura 1 abaixo.

**Figura 1** - Fluxograma operacional de uma unidade de beneficiamento.



Fonte: O AUTOR, 2021.

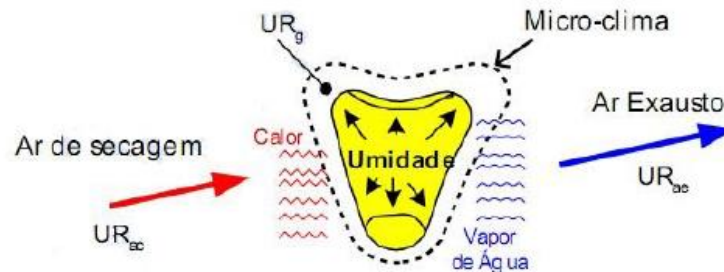
## 2.2 Secagem dos grãos

De acordo com Elias *et al.* (2017) o armazenamento de produtos com umidade acima dos limites estabelecidos, pode levar a grandes prejuízos, devido ao metabolismo do próprio grão, além do ambiente ficar propício ao desenvolvimento de mofo, fermentações, bactérias, ácaros e insetos. Nessas condições de elevadas umidades, quando a temperatura se eleva os processos respiratórios dos grãos são intensificados e como consequência disso, ocorre o consumo de elementos que constituem as reservas nutritivas dos grãos, além de ocorrer alterações ligadas à dinâmica metabólica do armazenamento.

O processo de secagem dos grãos permite que o armazenamento ocorra por um longo período de tempo, pois reduz o teor de umidade do produto a um nível tal que preserve com segurança sua qualidade e valor nutricional. Consiste basicamente em um processo onde ocorre a evaporação da água contida no grão, rompendo o equilíbrio das pressões entre a massa

dos grãos e o ar que circunda os poros dessa massa, sendo que, durante todo o processo a umidade relativa do ar deve ser menor que a atividade de água do grão no equilíbrio.

**Figura 2** - Comportamento do grão durante o processo de secagem.



Fonte: SILVA, 2004.

Esse processo pode ser realizado antes ou após a colheita, no entanto, a dependência das condições climáticas, ataques de insetos, pássaros, roedores, contaminação por microrganismos e o maior tempo de ocupação das lavouras são fatores limitantes na utilização de secagem dos grãos ainda na planta. Por outro lado, a secagem após a colheita exige uma estrutura adequada, com maiores custos e adoção de tecnologias compatíveis, fatores esses que restringem o uso desse processo, apesar de apresentar maior eficiência (ELIAS *et al.*, 2017).

Diversos são os tipos de sistemas de secagem que podem ser utilizados, após a colheita, os mais comuns são sistemas de secagem com ar natural ou artificial em baixas ou altas temperaturas. Silva *et al.* (2008) classificou os diferentes tipos de sistemas de secagem conforme o Quadro 2.

Segundo os autores, a secagem natural é caracterizada pela secagem do produto quando ainda está no campo e geralmente é utilizada em regiões tropicais devido as condições climáticas favoráveis para essa prática. Já a secagem artificial se caracteriza pela utilização de processos manuais ou mecânicos que promovem a passagem de uma corrente de ar aquecida através da massa de grãos.

A secagem quando artificial, pode ser realizada ainda por meio de ventilação forçada (quando se emprega baixas temperaturas, altas temperaturas, sistemas combinados e outros), por ventilação natural (quando não ocorre aquecimento do ar de secagem) ou ainda por convecção, onde o ar atravessa a massa de grãos devido a diferença de densidade. Afonso Júnior (2001) e Ribeiro (2003) afirmam que a temperatura do ar de secagem é o parâmetro de maior flexibilidade num sistema de secagem, influenciando significativamente na taxa e na eficiência

da mesma, bem como a qualidade final do produto e, se não for devidamente controlada, provoca sérios danos aos grãos, causando sua deterioração.

**Quadro 2** - Classificação dos sistemas de secagem.

<b>SISTEMAS DE SECAGEM</b>	Natural – no campo, na própria planta				
	Artificial	Ventilação Natural	Terreiros e paióis		
			Secagem Solar		
	Outros				
	Artificial	Ventilação Forçada	Ar natural		
			Altas Temperaturas	Quanto aos fluxos	Camada fixa
					Cruzados
					Concorrentes
					Contracorrentes
					Cascata
					Rotativo
					Fluidizado
					Solar híbrido
			Quanto à operação	Intermitentes	
		Contínuos			
Baixas temperaturas					
Sistemas combinados					
Seca-aeração					
Convecção					

Fonte: SILVA *et al.*, 2008.

### 2.2.1 Secagem artificial com ventilação natural

Esse tipo de sistema é mais empregado na secagem em terreiros, sendo utilizado principalmente para a secagem de café e cacau. Assim como na secagem natural, nesse tipo de sistema não ocorre o aquecimento do ar, utiliza-se o ar natural para promover a retirada de umidade da massa de grãos. A diferença da secagem natural é que o produto é retirado da planta e espalhado em camadas de espessuras, que, geralmente são inferiores a 5 cm, em um pátio previamente preparado, que pode ser de concreto, asfalto, alvenaria ou terra batida (SILVA *et al.*, 2008).

A energia utilizada para a remoção da umidade é proveniente da radiação solar e da entalpia do ar. Uma grande desvantagem desse tipo de secagem, assim como na secagem natural na planta, é a baixa taxa de secagem e a dependência dos fatores climáticos, que se forem desfavoráveis retardam o processo e proporcionam exposição dos produtos agentes biológicos que podem levar à deterioração (SILVA *et al.*, 2008).

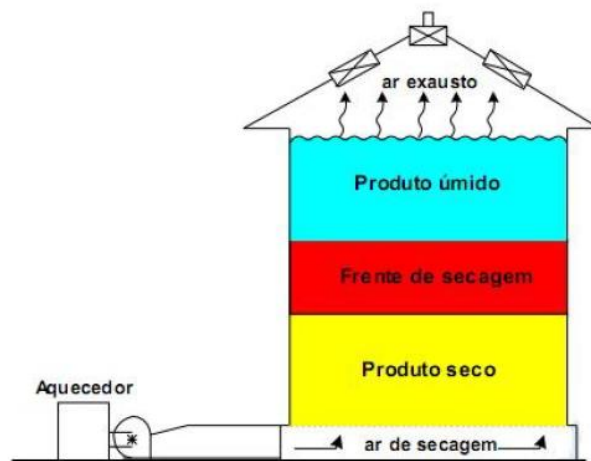
### 2.2.2 Secagem a baixas temperaturas

Quando o ar de secagem é aquecido até 10°C acima da temperatura ambiente, os sistemas de secagem são denominados de baixas temperaturas. Nesse tipo de secagem, utiliza-se um ventilador para gerar esse leve aquecimento e força-se o ar a passar pela massa de grãos, para a retirada do excesso de água. Por se tratar de um leve aquecimento do ar, é um sistema que demonstra uma certa dependência das condições atmosféricas onde este se encontra, o que dificulta seu uso em regiões de alta umidade relativa.

O processo de secagem a baixas temperaturas geralmente ocorre em silo secador ou silo armazenador. A ocorrência de uma baixa velocidade de secagem, se deve ao fato de haver um pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos e também ao uso de um ar levemente aquecido, diminuindo a capacidade de evaporar água do produto. Isso faz com que o processo necessite de mais tempo para ser finalizado, do que nos sistemas tradicionais com ar aquecido a altas temperaturas (SILVA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2008).

Segundo Silva *et al.* (2008), a secagem dos grãos inicia-se na camada inferior do silo e avança até atingir a última camada, na parte superior do silo (FIGURA 3), durante esse processo se formam três camadas de umidade. A primeira é formada pelos grãos secos onde o produto já atingiu o equilíbrio higroscópico com o ar (produto seco); na segunda, ocorre a transferência de umidade do produto para o ar (frente de secagem); já a terceira, é formada pelos grãos que ainda se encontram úmidos, pois ao passar por essa camada, o ar está com a capacidade de secagem esgotada, uma vez que já foi resfriado devido à troca de calor com as camadas inferiores.

**Figura 3** - Processo de secagem em baixas temperaturas no silo.



Fonte: SILVA, 2004.

Se bem projetados e manejados, esses sistemas, preservam com maior eficiência as qualidades dos grãos, e são eficientes, econômicos e os mais adequados para serem utilizados em propriedades que desejam reter o produto aguardando os melhores preços e mantendo a qualidade (SILVA *et al.*, 2005).

### **2.2.3 Secagem a altas temperaturas**

O sistema de secagem a altas temperaturas consiste no aquecimento do ar ultrapassando o limite de 10°C acima da temperatura do ar ambiente até atingir um valor máximo, que dependerá do tipo de produto a ser secado e das finalidades a qual se destina. De acordo com Silva *et al.*

(2008), a secagem em altas temperaturas é uma técnica muito utilizada nas fazendas, indústrias de transformação, unidades armazenadoras-coletoras e intermediárias de todo o mundo, entretanto, o uso de secadores mecânicos a altas temperaturas tem ficado restrito a regiões de maior desenvolvimento agrícola, devido aos elevados custos.

A secagem nesse processo baseia-se na propriedade pela qual, se aumenta a temperatura do ar úmido, proporcionando a diminuição da a umidade relativa e conseqüentemente a capacidade do ar em absorver umidade dos grãos aumenta. Dentre as técnicas de secagem artificial a secagem com altas temperaturas é a mais rápida e independe das condições climáticas locais (SILVA *et al.*, 2008).

O aquecimento do ar nesses sistemas geralmente é realizado por meio de fornalhas ou ventiladores de elevadas potências e a taxa de secagem é em função de fatores como: temperatura e umidade relativa do ar ambiente, temperatura e fluxo de ar de secagem, umidade inicial do produto e fluxos do produto e do ar no secador. Silva *et al.* (2008) afirmam que esses parâmetros associados a outros fatores influenciam diretamente na velocidade de secagem e o bom manejo desses sistemas permite dimensionar e gerenciar as condições específicas de secagem.

### **2.2.4 Secagem em sistemas combinados**

Consiste em um sistema que utiliza secadores em altas temperaturas enquanto o produto apresenta teor de umidade mais elevado, esses, vão operar os produtos numa faixa de umidade em que a retirada de água é mais fácil, após essa secagem inicial, o produto ainda quente, é transferido para um sistema de baixas temperaturas que será responsável pela complementação da secagem (SILVA *et al.*, 2008).

Para Silva *et al.* (2008) esse processo reduz a energia requerida na secagem unitária do produto. O sistema em combinação pode ainda, dobrar a capacidade dinâmica dos secadores e aumentar a eficiência térmica de secagem. Reduzindo em até 50% a energia total requerida pelos métodos convencionais de secagem e dobrando a capacidade dos secadores de altas temperaturas.

## **2.3 Métodos de Armazenamento**

Os principais métodos de armazenamento de grãos utilizados nas unidades armazenadoras no Brasil, são agrupados em três sistemas: convencional, a granel e emergencial.

### ***2.3.1 Unidades de armazenamento convencional***

Na armazenagem convencional os grãos são acondicionados em sacos e depositados em galpões ou armazéns, que geralmente, foram construídos para outras finalidades e adaptados para abrigar grãos, não possuindo condições ideais para a função (PELENTIR e SANTOS, 2016).

Apresenta um sistema mais diversificado, tendo desde unidades bastante rústicas, como os paióis, galpões ou celeiros, até unidades maiores e mais tecnificadas, como os armazéns convencionais. São unidades não herméticas, onde a conservação dos grãos, já secos, ocorre por ventilação não forçada, através de convecção natural do ar ambiente, não aquecido. Permitem individualização da carga, com inspeção e coleta de amostras feitas diretamente, sendo mais empregados em cerealistas e em cooperativas, que armazenam várias espécies de grãos simultaneamente na mesma unidade (ELIAS *et al.*, 2017).

### ***2.3.2 Unidades de armazenamento a granel***

De acordo com Pelentir e Santos (2016), nesse sistema os grãos não são guardados sem embalagens, mas sim, depositados em silos e armazéns graneleiros. Consistem em sistemas semi-herméticos, onde a conservação dos grãos, já secos, ocorre por ventilação forçada do ar ambiente, não aquecido, por meio da ação de ventiladores (aeração) (ELIAS *et al.*, 2017).

O armazenamento a granel não possibilita a individualização da carga, nem a inspeção direta, sendo difícil a coleta de amostras. Medidas de manutenção ou controle de qualidade, em geral, são feitas de forma indireta, por termometria, onde predominam os sistemas de cabos com termopares, formados por ligas de cobre. Diferentemente das convencionais, nessas unidades não há necessidade de espaço interno para movimentação de

pessoas, máquinas ou equipamentos, mas é necessário um espaço não preenchido, na parte superior, correspondente a 1,5 m na altura da parede, que serve para inspeção e também atua como reserva para dilatação volumétrica da carga e amortecimento térmico (ELIAS *et al.*, 2017).

### **2.3.3 Unidades para armazenamento emergencial**

Nessas unidades ocorre o armazenamento de grãos por um período muito curto, até que seja removido para comercialização imediata ou que sejam destinados ao consumo ou ao armazenamento definitivo. Constituídos principalmente de unidades infláveis e unidades estruturais, como por exemplo o silo bolsa, são sistemas de conservação deficiente, embora permitam a inspeção direta e a coleta de amostras, mas que não possuem dispositivos que permitam o uso de medidas de manutenção ou controle de qualidade, sendo utilizado principalmente quando não há outro meio, mesmo assim, apenas no período de emergência (ELIAS *et al.*, 2017).

## **2.4 Sistemas de armazenamento**

Em diversos países os sistemas de armazenagem têm origem nas fazendas evoluindo para sistemas coletores, intermediários da produção e para terminais. Já no Brasil ocorre o contrário, apresentando uma evolução partindo dos sistemas coletores para os intermediários e terminais, geralmente representados por cooperativas, não havendo destaque na existência de sistemas armazenadores a nível de fazenda (SILVA *et al.*, 2008).

O armazenamento em nível de propriedade rural é de suma importância, devendo ser visto como forma de incrementar as produções agrícolas, reduzindo o estrangulamento da comercialização de grãos e permitindo a regularização dos fluxos de oferta e demanda.

Comparando a situação atual do Brasil com outros grandes mercados agrícolas, comprova-se que o país está na contramão de uma tendência que garante que os produtores aumentem a eficiência e os lucros. Na Argentina por exemplo, 21% da capacidade de armazenamento está localizada nas áreas rurais; na União Europeia, esse número aumentou para 50%; nos Estados Unidos, esse número é de 56%; e no Canadá, há 80% da infraestrutura de armazenamento da fazenda, enquanto no Brasil esse índice alcança apenas 16% (LEIDENS, 2019).

Uma unidade armazenadora, técnica e convenientemente localizada, constitui uma das soluções para tornar o sistema produtivo mais econômico. Além de propiciar a



comercialização da produção em melhores períodos, evitando as pressões naturais do mercado na época da colheita. A retenção de produto na propriedade, quando bem conduzida, apresenta inúmeras vantagens, tais como, a minimização das perdas quantitativas e qualitativas que ocorrem no campo, economia no transporte e melhor qualidade do produto (GIOVINE e CHRIST, 2010).

Para atender cada finalidade de armazenamento deve-se atentar ao tamanho e tipo de estrutura mais adequada para que o sistema seja conduzido de maneira eficiente, sem levar a perdas ou diminuição da qualidade do mesmo. Essas estruturas variam de acordo com o tipo de produto utilizado e a melhor forma para seu armazenamento.

Na agricultura atual, uma ferramenta indispensável são as estruturas de armazenamento, chamados de armazéns ou silos. Que podem ser classificados de diversas formas, de acordo com suas diferentes características, como mostra o Quadro 3 a seguir.

**Quadro 3** - Classificação dos sistemas de armazenamento.

Quanto ao Nível Funcional	Quanto ao nível de desenvolvimento tecnológico	Tipos de unidades armazenadoras	
		Armazéns	Silos
Nível de fazenda	Nível A - Alto	Convencionais	Horizontais
Coletor	Nível B - Médio	Graneleiros	Verticais
Intermediário	Nível C - Baixo	Emergenciais	Silos de pequena relação altura/lado ou diâmetro e fundo plano
Terminais		Infláveis	
Regulador		Estruturais	
Estratégico		Outras estruturas: Paiol, Piscina, Trincheira, a Céu aberto, etc.	

Fonte: adaptado de SILVA et al., 2008.

Os silos podem ser horizontais e verticais, de acordo com a principal dimensão, ou seja, dependendo da relação entre altura e o diâmetro. Os silos verticais apresentam altura maior que a dimensão da base (silos retangulares) ou altura maior que o diâmetro (silos redondos). Existem diferentes tipos de silos verticais, a depender do material utilizado para sua construção, podendo ser metálicos, de concreto, de alvenaria e de madeira (usados na estocagem de sementes). O tamanho de cada estrutura depende da quantidade de grãos que será armazenada e do tempo de armazenamento. Os verticais em forma cilíndrica facilitam a descarga dos produtos por possuir o fundo em forma de cone, dependendo de sua altura com relação ao solo podem ser elevados ou semienterrados (DESSBESELL, 2014).

Os silos horizontais apresentam o comprimento ou o seu diâmetro maior do que sua altura e, em comparação com um silo vertical, requer menos investimento por tonelada de

armazenamento. O armazém graneleiro é a unidade mais comum de armazenamento horizontal, apresentando grande capacidade de armazenagem, é composta por um ou mais espaçadores e apresentam o comprimento maior do que a largura. Podem apresentar fundo plano, na direção V ou W, e ainda podem ser instaladas no solo ou semienterradas (DEVILLA, 2004 *apud* DESSBESELL, 2014).

De acordo com Elias (2003), conforme citado por Dessbesell (2014), a forma mais utilizada por cooperativas, agroindústrias e grandes produtores é o armazenamento em silos ou armazéns equipados com medição efetiva de temperatura, ventilação e outros recursos para manter a qualidade do grão. O autor ainda afirma que, se esses sistemas forem dimensionados do tamanho certo e manuseados corretamente, também podem ser usados por pequenos e médios produtores.

## **2.5 Classificação dos silos**

A classificação dos silos é realizada de acordo com as principais recomendações das normas internacionais mais importantes e recentes existentes no mundo, são elas: a americana ACI 313:1997, a australiana AS 3774:1996, a alemã DIN 1055-6:2005 e as europeias BS EN 1991-4:2006 e ISO 11697:1997. Segundo as normas mencionadas, os silos podem ser classificados de acordo com as seguintes características: geometria do silo, tipo de fluxo durante o descarregamento, geometria do fluxo, tipo de fundo.

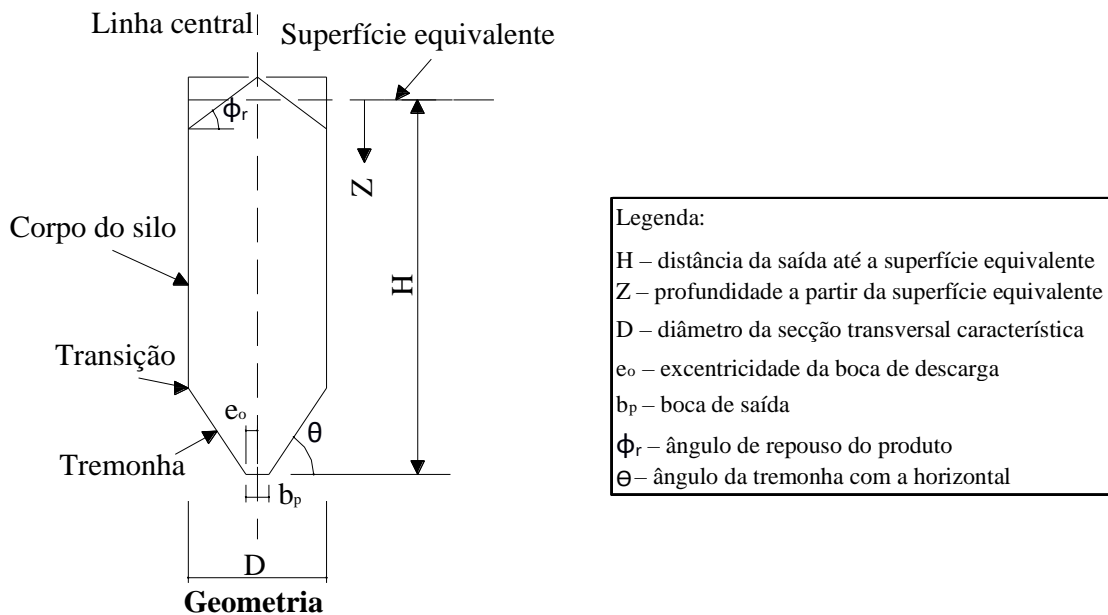
### **2.5.1 Geometria do Silo**

Quanto a geometria os silos são classificados conforme a relação entre a altura efetiva do produto armazenado ( $h$ ) e o diâmetro inscrito de sua seção transversal ( $d_c$ ), porém as normas internacionais não são unânimes em relação a essa classificação, como demonstrado na Tabela 1 e o mesmo verifica entre os pesquisadores relacionados a esse tipo de estrutura. A Figura 4 apresenta os parâmetros geométricos de um silo.

**Tabela 1** - Classificação dos silos segundo a relação  $h/d_c$ .

NORMA	CLASSIFICAÇÃO		
	Baixo	Mediamente Esbelto	Esbelto
<b>Australiana</b> AS 3774/96	$H/d_c < 1,0$	$1,0 \leq H/d_c \leq 3,0$	$H/d_c > 3,0$
<b>Europeias</b> BS EN 1991-4/2006 ISO 11697/97	$H/d_c < 1,5$	---	$H/d_c \geq 1,5$
<b>Americana</b> ACI 313/97	$H/d_c \leq 2,0$	---	$H/d_c > 2,0$
<b>Alemã</b> DIN 1055-6/2005	$H/d_c < 2,5\mu$	$2,5\mu \leq H/d_c \leq 5\mu$	$H/d_c > 5\mu$
<b>Canadense</b> CFBC/83	$H/d_c \leq 1,0$ ou $H/d_c < \text{tg}^2(\phi_i/2 + \pi/4)$	---	$H/d_c > 1,0$ e $H/d_c \geq \text{tg}^2(\phi_i/2 + \pi/4)$

Fonte: PALMA, 2005.

**Figura 4** - Notação dos parâmetros geométricos de um silo.

Fonte: DECKERS, 2010.

### 2.5.2 Tipo de fluxo durante o descarregamento

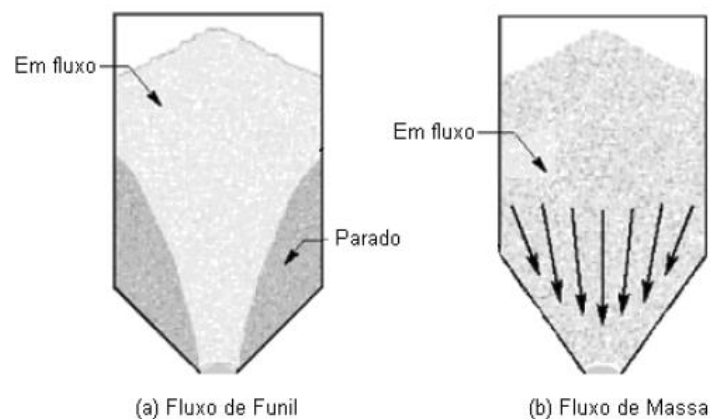
O tipo de fluxo caracteriza o descarregamento do produto do sistema de armazenamento, a formação ou não de zonas de produto sem movimento e se o silo pode ser esvaziado completamente, assim como, a distribuição das pressões nas paredes do silo e fundação, e a integridade e custo da construção (CALIL *et al.*, 1997 *apud* FREITAS, 2005).

A forma como o produto flui por gravidade em um silo depende das próprias propriedades físicas do produto e também da geometria e estrutura da superfície (atrito com a

parede) da tremonha. Em geral, são diferenciados em dois tipos de fluxos: fluxo de massa e fluxo de funil, como demonstrado na Figura 5 e descrito abaixo conforme Freitas (2005):

- (a) **Fluxo de Funil:** ocorre quando apenas parte do produto entra em movimento, formando um canal vertical, alinhado com a boca da descarga cercado por uma zona na qual o produto permanece estático (FIGURA 5a). Esse fluxo tende a ocorrer quando as paredes da tremonha são rugosas e seu ângulo de inclinação da tremonha é tal que gera uma transição abrupta entre o corpo do silo e a tremonha.
- (b) **Fluxo de Massa:** ocorre quando todo o produto armazenado entra em movimento do começo ao fim do descarregamento (FIGURA 5b). Ocorre quando as paredes da tremonha são suficientemente inclinadas e lisas e não existem transições abruptas.

**Figura 5** - Tipos básicos de fluxo durante o descarregamento.



Fonte: PALMA E CALIL JÚNIOR, 2008.

### 2.5.3 Geometria do Fluxo

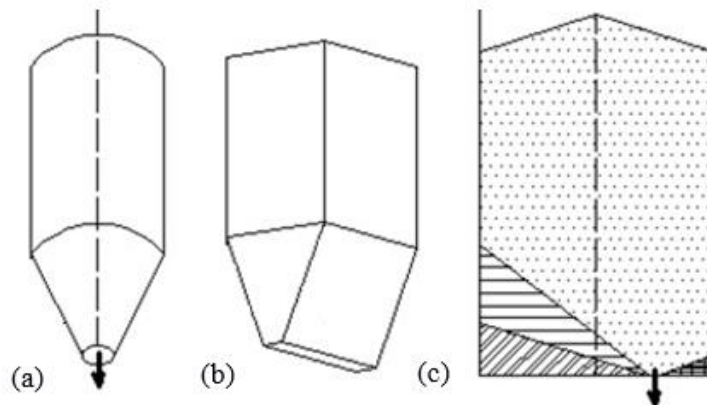
Segundo Lopes (2016) existem duas classificações para a geometria do fluxo: assimétrica e concêntrica. A primeira é quando existe excentricidades e a segunda quando não existe. Considerando essa geometria, Freitas (2001) apresenta a seguinte classificação para a geometria do fluxo:

- (a) **Trajeto Simétrico:** o centro de gravidade do produto quando este está fluindo coincide aproximadamente com o eixo vertical do silo, como por exemplo, silo circular com abertura de descarga concêntrica (FIGURA 6a).
- (b) **Trajeto Planar:** o fluxo que ocorre em silos de seção transversal quadrada ou retangular, de maneira uniforme, com tremonhas em forma de cunha, onde uma

das dimensões da boca de saída é paralela e de igual comprimento às paredes do silo. Desta forma, o canal do fluxo é simétrico em relação ao plano que passa pelo eixo longitudinal da abertura (FIGURA 6b).

- (c) **Trajeto Excêntrico:** o canal do fluxo não é simétrico em relação ao eixo vertical que passa pelo plano longitudinal do silo, ou em relação ao eixo vertical do silo (FIGURA 6c).

**Figura 6** – Exemplos de silos quanto ao trajeto de fluxo.



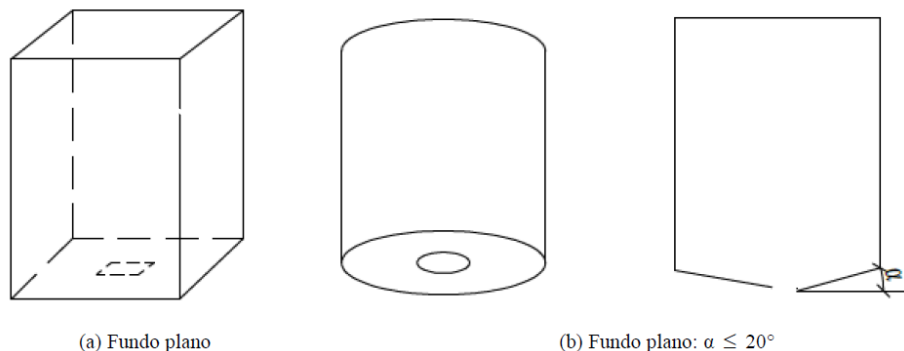
Fonte: AS 3774, 1996. Legenda: (a) célula cônica; (b) célula em cunha com fluxo plano; (c) trajeto excêntrico.

#### 2.5.4 Geometria de Fundo

A classificação quanto a geometria do fundo, segundo Freitas (2001):

- (a) **Fundo Plano:** aquele onde o silo possui fundo horizontal ou fundo com paredes inclinadas apresentando o ângulo inferior a  $20^\circ$  em relação à horizontal.

**Figura 7** – Silos de fundo plano.

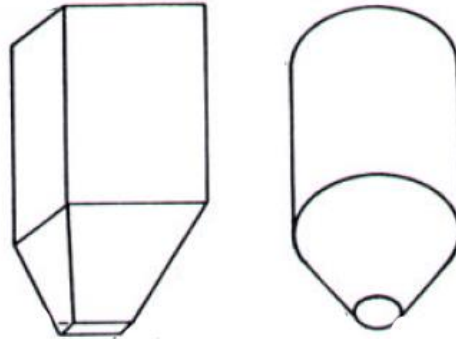


Fonte: FREITAS, 2001.

- (b) **Fundo com tremonha:** aquele onde o silo possui fundo em forma de funil, apresentando, comumente o formato em tronco-piramidais e em tronco-

cônicas. Não exige o emprego de máquinas para o descarregamento completo dos produtos, utilizando apenas da força de gravidade (FIGURA 8).

**Figura 8** – Formas mais comuns de silos com fundo tremonhado.



(a) Tremonha piramidal (b) Tremonha cônica

Fonte: FREITAS, 2001.

## 2.6 Considerações para projetos estruturais em silos

Os silos podem ser projetados e construídos de diversas formas e tamanhos, dependendo do tipo de utilização. No projeto estrutural de um silo os critérios utilizados são similares aos utilizados em outros tipos de estruturas. Segundo Silva (1993), para projetar um silo de forma segura e econômica, é necessário levar em consideração algumas características, tais como:

- propriedades físicas do produto armazenado;
- características do tipo de fluxo;
- forma geométrica do silo;
- tipo de entrada e saída do produto;
- estágios de operação, que são: carregamento, armazenamento e descarga; e
- ações atuantes na estrutura do silo, como as pressões causadas pelo produto armazenado sobre as paredes, a ação do vento e os efeitos térmicos gerados pela diferença de temperatura entre o meio e o produto armazenado.

As normas, de modo geral, propõem formulações para as pressões exercidas pelos produtos armazenados nas paredes e no fundo de silos de baixa relação altura/diâmetro, diferenciadas dos silos altos, bem como pressões adicionais para levar em conta o efeito de pressões assimétricas, inevitáveis mesmo em silos com carregamento concêntrico e de eixo simétrico, e que são dependentes das características do produto e das imperfeições na geometria do silo construído (HEZEL, 2007).

Freitas (2001) afirma que a importância da classificação das estruturas de armazenamento de produtos a granel, segundo as suas dimensões, está no fato que, de um modo geral, a previsão das pressões estáticas ou dinâmicas estão baseadas segundo essa classificação.

Analogamente aos silos altos, os silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro podem ser construídos com os mais diversos materiais, mas a grande maioria deste tipo de silo, mesmo em termos mundiais, são metálicos, de chapa lisa ou corrugada. Podem ser descarregados através de fluxo por gravidade ou através de meios mecânicos, sendo o fundo pode ser em forma de funil ou plano (FREITAS, 2001).

A célula de fundo plano requer menos altura para um determinado volume de material armazenado. O seu custo inicial é baixo, comparado a outros tipos, e uma das razões pela qual a construção pode ser econômica é que o produto repousa sobre o solo, do qual ele é isolado apenas por uma laje impermeável. Isso significa que a fundação é limitada a um anel de concreto sob as paredes. O recalque do fundo plano resultante das pressões verticais exercidas pelo produto não é considerado problemático (FREITAS, 2001).

### ***2.6.1 Propriedades físicas dos produtos armazenados***

O primeiro passo para o projeto de fluxo e cálculo estrutural de silos é a determinação das propriedades físicas dos produtos armazenados e deve ser realizado nas condições mais severas que podem ocorrer no silo (CALIL JÚNIOR et al., 1997, *apud* HEZEL, 2007). As propriedades físicas normalmente determinadas são:

- peso específico ( $\gamma$ );
- granulometria ( $D_p$ );
- ângulo de repouso ( $\phi_r$ );
- ângulo de atrito interno ( $\phi_i$ );
- ângulo efetivo de atrito interno ( $\phi_e$ );
- ângulo de atrito do produto com a parede ( $\phi_w$ ).

As normas internacionais apresentam tabelas com os valores das propriedades físicas para alguns produtos e também métodos e equipamentos para a sua determinação. Como esses valores variam muito entre as normas, recomenda-se, sempre que possível, realizar ensaios para a determinação das propriedades de cada produto a ser armazenado (HEZEL, 2007).

Segundo Calil Júnior *et al.* (1997) como descrito por Freitas (2001), 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 (QUADRO 4).

**Quadro 4** – Emprego do limite inferior e superior das propriedades físicas dos produtos.

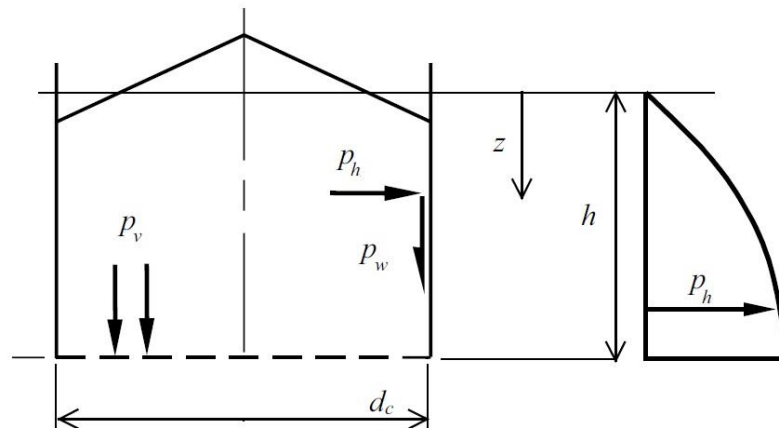
Aplicação das propriedades		Peso específico ( $\gamma$ )	Ângulo de atrito com a parede ( $\phi_w$ )	Ângulo de atrito interno ( $\phi_i$ )	$K=P_h/P_v$
Tipo de fluxo	Funil	Inferior	Superior	Inferior	----
	Massa	Inferior	Inferior	Superior	----
Cálculo da máxima pressão horizontal na parede do silo ( $P_h$ )		Superior	Inferior	Inferior	Superior
Cálculo da máxima pressão vertical ( $P_v$ )		Superior	Inferior	Superior	Inferior
Força máxima de atrito na parede do silo ( $P_w$ )		Superior	Superior	Inferior	Superior
Carga vertical máxima na tremonha		Superior	Inferior	Superior	Inferior

Fonte: AS 3774:1996.

### 2.6.2 Ações atuantes na estrutura do silo

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 horizontais ( $P_h$ ) que são normais às paredes e pressões de atrito vertical do produto com a parede ( $P_w$ ) que são paralelas às paredes. Na base ou fundo do silo, atuam pressões denominadas pressões verticais ( $P_v$ ), que são provenientes do peso das camadas superpostas do produto armazenado, conforme é apresentado na Figura 9 (BS EN 1991-4, 2006).

**Figura 9** – Pressões simétricas atuantes nas paredes de um silo.



Fonte: adaptado de BS EN 1991-4, 2006, p. 41.



O projeto estrutural de um silo necessita do conhecimento da distribuição de pressões e das tensões de cisalhamento sobre as paredes (causadas pelo produto armazenado) e de como esta distribuição varia, durante o carregamento, armazenagem e descarga. As pressões oriundas das operações ocorrem, durante a vida útil da estrutura, que se traduzem em pressões nas paredes dos silos, causadas pelo produto armazenado, nas fases de carregamento, armazenamento e descarga (FIGURA 10) (Pham, 1983, *apud* DECKERS, 2014).

**Figura 10** – Pressões nas paredes do silo para um ciclo de operação de carga, armazenagem e descarga.



Fonte: DECKERS, 2014.

### 2.6.3 Teorias das pressões para células baixas

O campo da mecânica dos solos teve uma significativa influência na pesquisa considerando as peculiaridades das análises feitas na área de processamento dos produtos armazenados. As tensões atuantes numa massa de solo são bem maiores do que aquelas encontradas durante o processamento dos produtos armazenados. Enquanto a mecânica dos solos trata das tensões antes da ruptura do solo as teorias para silos se preocupam com as condições sobre as quais a ruptura e o fluxo de um determinado produto armazenado podem ocorrer. Dessa forma, as similaridades entre os dois campos de estudo permitem algumas aplicações comuns (GOMES, 2000).

Os primeiros autores a tratar das pressões em silos de células baixas foram Airy em 1897 e Cain em 1904, baseados nas teorias de Coulomb e Rankine da mecânica dos solos. Os irmãos Reimbert em 1941 também baseados nas mesmas teorias desenvolveram cálculos e citam a sua aplicação para silos horizontais. Reimbert em 1987, seguindo a teoria dos muros de arrimo, que considera a distribuição das pressões linear, propõem uma formulação teórica para os esforços nas paredes de silos horizontais de grande capacidade (GOMES, 2000).

Para Gomes (2000) as pressões estáticas dos produtos armazenados, são aquelas exercidas pelo produto em repouso no interior do silo calculadas sobre as paredes e o fundo da célula. Após o enchimento do silo, o peso do produto é suportado em parte pelas paredes, devido ao atrito do produto armazenado, e parte pelo fundo da célula. As pressões perpendiculares às paredes são denominadas de pressões horizontais ou pressões laterais e as ações paralelas às paredes devido ao atrito, são pressões verticais atuando sobre o fundo da célula. As pressões dinâmicas são aquelas exercidas nas paredes durante o carregamento e descarga dos silos, também denominadas ativas e passivas, apresentando valores superiores às estáticas.

Para a determinação dos empuxos ativo e passivo, podem ser utilizadas duas teorias: a de Rankine, que analisa as tensões em um elemento de solo no estado de equilíbrio plástico, com o auxílio da teoria de Mohr, e a de Coulomb, que analisa o equilíbrio de uma cunha de maciço, adjacente à estrutura de arrimo e determina a reação que a estrutura deve aplicar sobre a cunha, quando é mobilizada toda a resistência ao cisalhamento do maciço e o atrito na superfície de contato entre o muro e o terrapleno. (GAIOTO, 1979).

As pressões laterais valem, portanto:

$$P_a = K_a \cdot P_v = K_a \gamma z \cos \phi_r \quad (1)$$

$$P_p = K_p \cdot P_v = K_p \gamma z \cos \phi_r \quad (2)$$

sendo:

$P_a$  = pressões laterais ativas ( $\text{kN m}^{-2}$ );

$P_p$  = pressões laterais passivas ( $\text{kN m}^{-2}$ );

$P_v$  = pressões verticais ( $\text{kN m}^{-2}$ );

$K_a$  = coeficiente de empuxo ativo (adimensional);

$K_p$  = coeficiente de empuxo passivo (adimensional);

$\gamma$  = peso específico do produto armazenado ( $\text{kN m}^{-3}$ );

$z$  = ordenada com base na superfície equivalente (m);

$\phi_r$  = ângulo de repouso ( $^\circ$ ).

Pela teoria de Rankine as pressões laterais variam linearmente com a profundidade e os valores dos empuxos ativo e passivo, por unidade de largura, de uma estrutura de arrimo, de altura  $h$ , valem:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_a \cos \phi_r \quad (3)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_p \cos\phi_r \quad (4)$$

onde  $K_a$  é dado pela seguinte equação:

$$K_a = \frac{\cos\phi_r - \sqrt{\cos^2\phi_r - \cos^2\phi_i}}{\cos\phi_r + \sqrt{\cos^2\phi_r - \cos^2\phi_i}} \quad (5)$$

sendo:

$\phi_r$  = ângulo de repouso (°);

$\phi_i$  = ângulo de atrito interno (°).

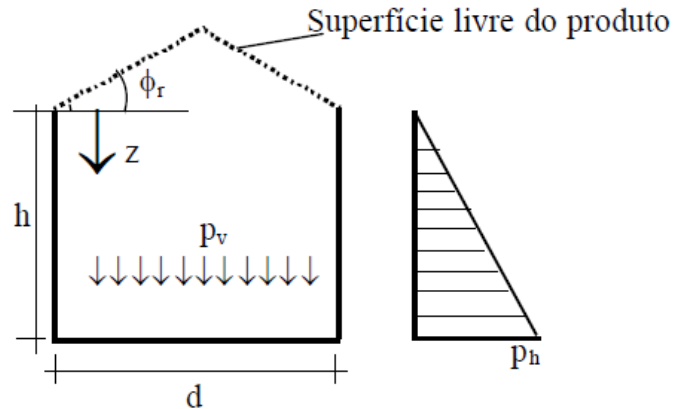
A partir dessa definição podemos aplicar os processos específicos para a determinação das ações exercidas pelo produto. Essa diferenciação é importante, pois as teorias aplicadas para silos de células baixas também são adequadas para silos horizontais sendo recomendado, para os dois casos, o emprego das teorias de Coulomb e Rankine.

É interessante observar que as normas internacionais ISO 11697:1997 e a BS EN 1991-4:2006 tratam dos silos baixos de fundo plano, recomendando algumas formulações teóricas, podendo ser aplicadas para silos horizontais. Ravenet (1992), considera os silos horizontais como estruturas com características próprias quanto ao seu dimensionamento diferenciando-se das teorias clássicas de silos, recomendando que as pressões nas paredes sejam calculadas de acordo as teorias de Rankine e Coulomb. Essas teorias são as mais utilizadas e indicadas por pesquisadores para silos de baixa relação altura/diâmetro.

### 2.6.3.1 Teoria de Rankine

Em sua teoria, publicada em 1857, Rankine estudou o estado de tensões dentro de um maciço granular, fofo, não coesivo. “Sua análise foi baseada na hipótese de que uma deformação no solo é suficiente para provocar uma mobilização da resistência de atrito e produzir um estado ativo se o solo sofre expansão e um estado passivo se ele sofre uma compressão” (GAIOTO, 1979). De acordo com Safarian e Harris (1985), citado por Freitas (2001), este não é um método muito preciso para silos de baixa relação altura/diâmetro, tendo em vista que ignora as condições de contorno deste tipo de unidade armazenadora e a força de atrito nas paredes é considerada nula. A Figura 11 apresenta as pressões exercidas pelo produto e parâmetros envolvidos para silos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano, de acordo com a teoria de Rankine.

**Figura 11** - Pressões exercidas pelo produto em silos de fundo plano de acordo com a teoria de Rankine.



Fonte: FREITAS, 2001.

De acordo com as seguintes situações em relação à superfície livre do produto, as formulações para as pressões horizontais e verticais são:

**(a) Superfície de topo do produto armazenado é horizontal:**

- Pressão horizontal estática na profundidade z:

$$P_h = K \cdot \gamma \cdot z \quad (6)$$

em que:

$$K = \frac{1 - \text{sen}\phi_r}{1 + \text{sen}\phi_r} \quad (7)$$

sendo:

$K$  = relação entre a pressão horizontal e vertical (adimensional);

$\gamma$  = peso específico do produto armazenado ( $\text{kN m}^{-3}$ );

$z$  = ordenada com base na superfície equivalente (m);

$\phi_r$  = ângulo de repouso do produto ( $^\circ$ ).

- Pressão vertical estática na profundidade z, abaixo da superfície, é:

$$P_v = \gamma \cdot z \quad (8)$$

**(b) Superfície do produto armazenado com inclinação igual ao ângulo de repouso:**

- Pressão horizontal estática na profundidade z é:

$$P_h = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \phi_r \quad (9)$$

- Pressão estática vertical na profundidade z é:

$$P_v = \gamma(z + a_0 \cdot \text{tg}\phi_r) \quad (10)$$

sendo:

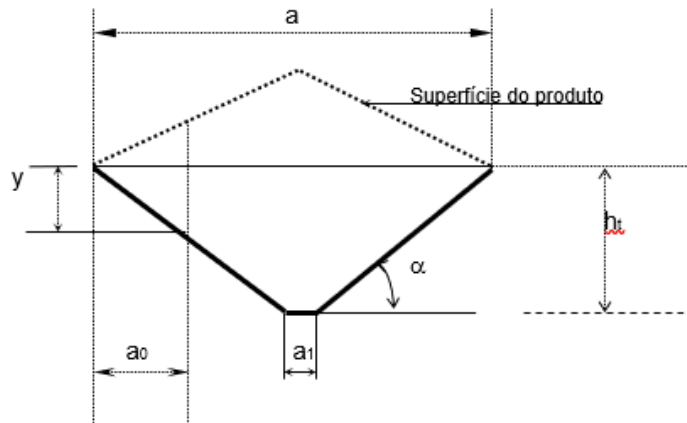
$\gamma$  = peso específico do produto armazenado ( $\text{kN m}^{-3}$ );

$z$  = ordenada com base na superfície equivalente (m);

$\phi_r$  = ângulo de repouso do produto ( $^\circ$ );

$a_0$  = é definido como a distância genérica para o cálculo da pressão conforme a Figura 12.

**Figura 12** - Diagrama de pressões laterais exercidas pelo produto em silos de fundo com tremonha.



Fonte: GOMES, 2000.

As pressões dinâmicas (armazenamento/descarga) de projeto são:  $P_{vd} = C_d P_v$  e  $P_{hd} = C_d P_h$ , sendo os coeficientes de sobrepessão para produtos de fluxo livre  $C_d = 1,0$ ; para produtos coesivos  $C_d = 1,25$ .

Calil Júnior (1987) com base em experimentação em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro ou lado, propõe a modificação do valor de  $K$  da teoria de Rankine para a formulação de Hartmann para o caso de silos de chapa de aço corrugada. Esta proposta será denominada de teoria de Rankine-Calil e é válida para silos onde a superfície livre do produto é plana ou não. Nesse caso, a profundidade  $z$  é obtida a partir da superfície de referência, conforme a Figura 13.

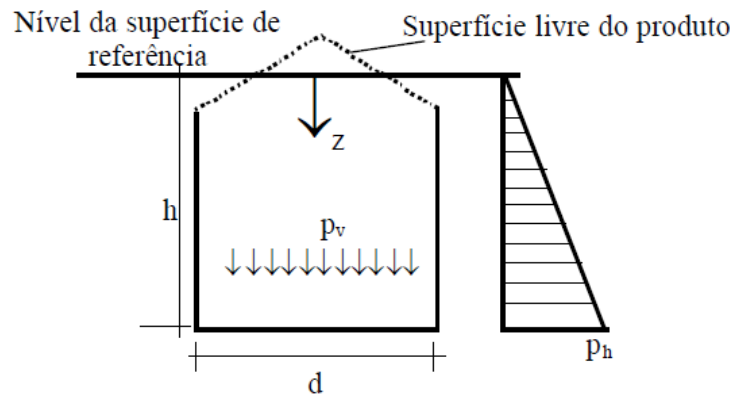
$$K_a = \frac{1 - \text{sen}^2 \phi_i}{1 + \text{sen}^2 \phi_i} \quad (11)$$

sendo:

$K_a$  = coeficiente de empuxo ativo (adimensional);

$\phi_i$  = ângulo de atrito interno ( $^\circ$ ).

**Figura 13** - Pressões exercidas pelo produto em silos de fundo plano, de acordo com a teoria de Rankine-Calil.



Fonte: FREITAS, 2001.

### 2.6.3.2 Teoria de Coulomb

Na sua teoria publicada em 1776, Coulomb considerou a existência de atrito entre o material e a parede de contenção e, como na solução de Rankine e Janssen, é assumido que o maciço está em um estado ativo. A menor pressão horizontal possível é aquela do estado ativo e, nesse caso, as formulações obtidas para a pressão horizontal, de atrito, e a vertical são:

$$P_h = \gamma z \frac{\cos^2 \phi_i}{[1 + \operatorname{sen} \phi_i \sqrt{(1 + E)}]^2} \quad (12)$$

$$P_w = \gamma z \frac{E \operatorname{sen} \phi_i \cos \phi_i}{[1 + \operatorname{sen} \phi_i \sqrt{(1 + E)}]^2} \quad (13)$$

$$P_v = \gamma z \frac{1 + \operatorname{sen}^2 \phi_i + 2 \operatorname{sen} \phi_i \sqrt{(1 - E^2)}}{[1 + \operatorname{sen} \phi_i \sqrt{(1 + E)}]^2} \quad (14)$$

$$E = \frac{\tan \phi_w}{\tan \phi_i} \quad (15)$$

sendo:

$\gamma$  = peso específico do produto armazenado ( $\text{kN m}^{-3}$ );

$z$  = ordenada com base na superfície equivalente (m);

$E$  = empuxo ativo (N);

$\phi_i$  = ângulo de atrito interno ( $^\circ$ );

$\phi_w$  = ângulo de atrito do material com a parede ( $^\circ$ ).

### 2.6.3.3 Pressões para silos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano segundo as principais normas internacionais

As normas de um modo geral propõem formulações para as pressões exercidas pelos produtos armazenados nas paredes e fundo de silos de baixa relação altura/diâmetro diferenciada dos silos altos, bem como pressões adicionais para levar em conta o efeito de pressões assimétricas, inevitáveis mesmo em silos com carregamento concêntrico e de eixo simétrico, e que são dependentes das características do produto e imperfeições na geometria do silo construído (HEZEL, 2007).

De um modo geral, a formulação básica para a previsão das pressões é obtida da teoria de Janssen, mas algumas normas propõem alterações na formulação original ou considerando uma região linearizada na parte superior do carregamento, como no caso das normas europeias BS EN 1991-4:2006 e ISO 11697:1997 e da Australiana AS 3774:1996. A norma DIN 1055-6:2005 e a Americana ACI 313:1997, para o caso das pressões horizontais e de atrito, não alteram a formulação de Janssen (FREITAS, 2001).

## 2.7 Capacidade de armazenamento

A capacidade de armazenamento desempenha um papel primordial contribuindo para o alcance do êxito produtivo. Desta forma, Azevedo *et al.* (2008) definem a capacidade estática como sendo a quantidade de grãos que cabe dentro de uma unidade armazenadora, de uma só vez.

Biagi *et al.* (2002) diferenciam capacidade estática de armazenagem como sendo a quantidade de grãos que cabe de uma só vez dentro de uma unidade armazenadora (em toneladas) e a capacidade dinâmica de armazenagem como sendo a quantidade de grãos que entrou e saiu de uma unidade armazenadora, em um período de tempo (em toneladas por ano). Assim, a capacidade dinâmica nada mais é, que a capacidade estática multiplicada pela quantidade de giros em determinado período, e quanto maior o giro, maior a capacidade armazenadora (PELENTIR e SANTOS, 2016).

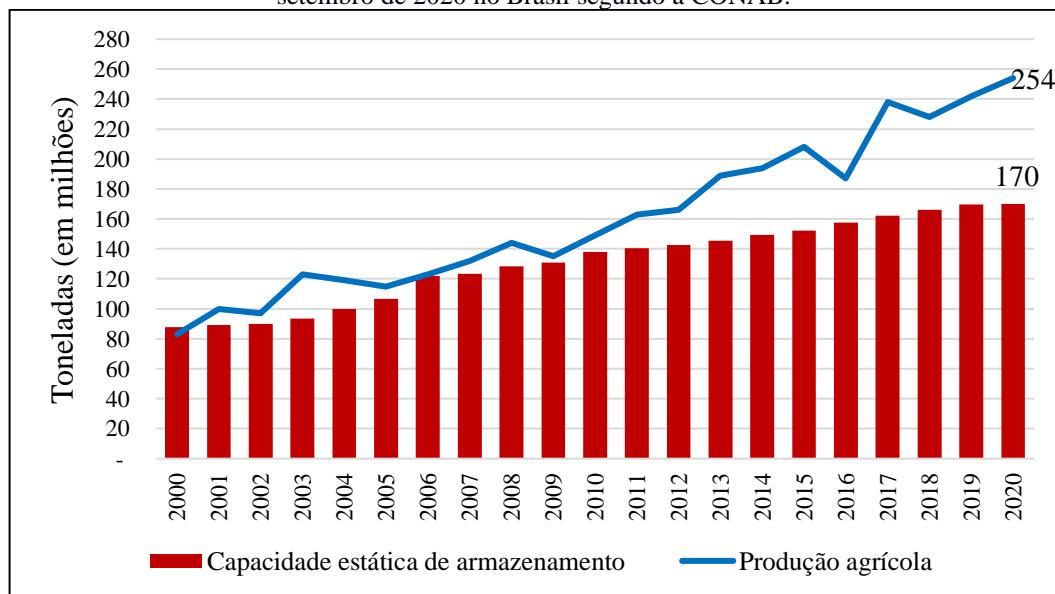
O cálculo da capacidade de um armazém é função da área disponível do piso, bem como a altura a que poderão ser elevadas as pilhas de grãos. A área de uma unidade pode ser dividida em duas, a primeira a área útil para estocagem e a segunda a área destinada a circulação e movimentação de mercadorias. Normalmente, em armazéns bem projetados, admite-se um aproveitamento de 75 a 85% do total da área para ser ocupada pelo produto (SILVA *et al.*, 2005).

De acordo com Fernandes e Rosalem (2014), em países desenvolvidos o sistema de armazenagem principal está situado nas fazendas e secundariamente a armazenagem evolui para unidades coletoras e terminais, enquanto no Brasil o cenário é inverso. De acordo com dados da COGO (2020), a capacidade estática de armazenagem instaladas a nível de fazenda, no Brasil é de apenas 16%, enquanto, em relação a países como: Argentina, Estados Unidos e Canadá, equivalem a 21%, 56% e 80%, respectivamente.

Um fator importante é que capacidade estática de armazenagem no Brasil é inferior ao volume da sua produção de grãos, o que é agravado pelo fato de que a produção cresce de maneira acelerada, superior ao crescimento da capacidade estática de armazenagem (FERNANDES e ROSALEM, 2014). Conforme a recomendação da CONAB, o ideal é que a capacidade estática de um país seja 1,2 vezes maior que a sua produção de grãos, o que de fato ocorre nos Estados Unidos, cuja capacidade estática é 1,1 vez superior à sua produção. Entretanto, no Brasil essa relação, de acordo com COGO é menos de 0,7, em 2020.

Em 2020, segundo os dados da COGO (2020) a capacidade atinge cerca de 170 milhões de toneladas, enquanto a produção já atinge cerca de 254 milhões de toneladas, isso proporciona um déficit de capacidade de armazenamento de cerca de 84 milhões de toneladas (GRÁFICO 1). E para atender a relação ideal recomendada pela CONAB, essa capacidade deveria ser de 304,8 milhões de toneladas, ou seja, quase o dobro do que o país suporta neste ano.

**Gráfico 1** - Comparativo entre a capacidade estática de armazenamento e a produção de grãos até o mês de setembro de 2020 no Brasil segundo a CONAB.

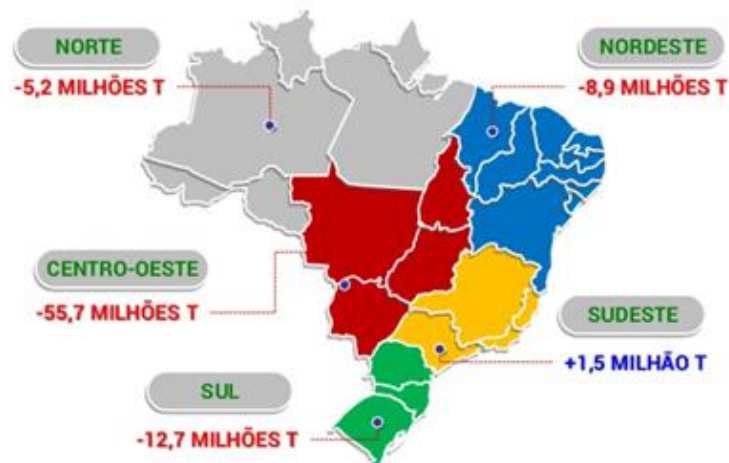


Fonte: CONAB, 2020.



A região Sudeste do Brasil, ganha maior destaque, apresentando uma capacidade estática com um saldo de 1,5 milhões de toneladas com relação a produção de grãos da safra 2019/2020, enquanto as outras regiões apresentam elevados déficits na capacidade de armazenagem (MAPA 1). Dentre os estados dessa região, Minas Gerais é o segundo estado do Sudeste com a maior capacidade estática de armazenamento, ultrapassando 10 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

**Mapa 1** - Déficits na capacidade estática de armazenagem em 2020.



Fonte: COGO, 2020.

Na região Noroeste de Minas Gerais, os municípios de Unaí (cerca de 470 mil toneladas), Buritis (cerca de 380 mil toneladas) e Paracatu (cerca de 205 mil toneladas) se destacam com a maior capacidade estática total da região. É importante destacar que, ainda segundo os dados da CONAB, esses três municípios totalizam a maior produção agrícola de grãos do estado, sendo que sua capacidade de produção ultrapassa sua capacidade estática de armazenamento.

## 2.8 Armazenagem e a pequena produção

Um dos principais problemas de armazenagem de produtos agrícolas, no Brasil, se liga diretamente à falta de estruturas para armazenamento nas propriedades rurais, o que se tratando de pequenos produtores é ainda mais grave. Este fato, aliado à descapitalização do pequeno produtor rural, exige a comercialização imediata da produção a preços baixos de mercado, para liberar espaço para a nova safra. Com a estrutura de transporte inadequada e a colheita, com muita frequência, realizada antes dos produtos atingirem o momento certo para comercialização, as perdas são aumentadas. Por outro lado, parte do produto que fica retido na

propriedade para consumo, é manuseada e armazenada de maneira inadequada, intensificando ainda mais as perdas (SILVA *et al.*, 2008).

Martins *et al.* (2002), citado por Lorini *et al.* (2002), apontam que os produtores familiares passam por problemas crônicos de acesso à recursos tecnológicos e financeiros, enfrentando inúmeras dificuldades para colocar seus produtos no mercado e, com isso, sujeitam-se às desvantajosas condições impostas pelos intermediários de quem dependem. Dessa forma, sua rentabilidade econômica é limitada, vendem seus produtos na safra, época em que, historicamente, se verificam os menores preços, chegando, em alguns casos, à metade do valor alcançado na entressafra.

De acordo com de Sousa Júnior *et al.* (2011), o ideal é que o produtor consiga manter o produto estocado, enquanto aguarda a melhor época de comercialização ou consumo, para isso, é necessário um sistema de armazenamento adequado. Segundo o autor, ainda é muito comum pequenos produtores rurais do sertão paraibano, realizarem a secagem de seus produtos a céu aberto no campo ou ainda utilizarem paióis e outros meios alternativos de estocagem de grãos. Porém, o uso de sistemas precários de secagem e armazenamento, expõe os grãos a ataques de insetos, roedores e fungos, intensificando as perdas.

Martins *et al.* (2013) destacam que sistemas simples de armazenamento como, paióis de tela, paióis de alvenaria, silos plásticos subterrâneos, tonéis e armazéns graneleiros com aeração forçada, foram comumente difundidos em pequenas propriedades rurais no Rio Grande do Sul, porém em face às mudanças tecnológicas da produção de grãos, essas estruturas foram gradativamente abandonadas. Um importante fator que contribuiu para o desuso desses sistemas foi a dificuldade e os elevados custos no transporte desses grãos, que nessas estruturas precárias não eram armazenados de maneira correta, acumulando grande quantidade umidade, aumentando assim, os custos com frete.

Além desses fatores, Silva *et al.* (2008) afirmam que a falta de políticas governamentais voltadas para a pequena produção, baixo valor comercial dos produtos, dificuldades a acesso de crédito e baixo grau de instrução dos produtores são fatores que dificultam ainda mais a difusão de tecnologias mais avançadas de armazenagem nas propriedades. Apesar disso, o esforço de técnicos e pesquisadores de algumas instituições vem proporcionando o desenvolvimento de equipamentos e sistemas de secagem e armazenagem de baixo custo e de fácil adaptação para o pequeno produtor, além de processos que permitem manter a qualidade dos grãos armazenados, visando maior controle de pragas e menores danos durante o manuseio e transporte de produtos agrícolas.

### 2.8.1 Tecnologias de armazenamento para pequenas propriedades

Muitas pesquisas foram voltadas para o desenvolvimento de silos secadores e armazenadores de grãos de média e pequena capacidade, construídos em alvenaria e equipados com fornalhas, de baixo custo e simples implementação. Sistemas como esses foram desenvolvidos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e amplamente difundidos entre pequenos produtores de inúmeras regiões Brasileiras (SILVA *et al.*, 2008).

Um grande passo no sentido de novas buscas de tecnologias de armazenamento sustentável foi dado pelos técnicos da EMATER/RS, CEASA/RS e Embrapa Suínos e Aves desenvolvendo pesquisas e testes de diferentes tipos de silos em alvenaria para armazenamento, especialmente de milho, em pequenas propriedades rurais.

Alguns testes da EMATER/RS foram realizados em 9 unidades armazenadoras, com capacidades de estocagem diferentes, variando entre 400 e 1.500 sacas de milho, durante o ano de 2014. De acordo com Marcon e Pellegrini (2014) essas estruturas se caracterizam por conter um fundo falso, com sistema de ventilação forçada, composto por um motor e um ventilador (FIGURA 14).

**Figura 14** – Interior de um silo secador com fundo falso.



Fonte: MARTINS *et al.*, 2013.

Segundo Silva, Afonso e Donzelles (2000), na secagem com ventilação forçada pode-se empregar baixas temperaturas, altas temperaturas, secagem combinada e outros. A secagem em baixas temperaturas é um método artificial de secagem em que se utiliza ar natural ou ar levemente aquecido, até 10°C acima da temperatura ambiente. A secagem com altas temperaturas é aquela em que o ar de secagem é aquecido a uma temperatura superior a 10°C acima da temperatura ambiente.

Por outro lado, como o consumo energético está diretamente ligado ao volume de ar produzido pelas pás do ventilador e a pressão total a ser vencida pelo ar no sistema, quanto mais alta for a camada de grãos no silo, tanto maior será a pressão estática requerida quanto maior será o consumo energético (MARTINS *et al.*, 2013).

Martins *et al.* (2013) ainda afirmam, que no Estado do Rio Grande do Sul, os silos secadores são manejados dependendo do produto e da região, com secagem e enchimento em uma única vez para silos de menor porte, ou em camadas, para silos de maior porte. Para o milho, por exemplo, o limite de sacos para um silo com secagem em camada única é de 2.500 sacos. Para o arroz, pode ser de até 3.000 sacos, mas é aconselhável que o produtor construa silos de menor porte.

Outros modelos de silos em alvenaria ainda são frequentemente testados em pequenas propriedades rurais pela EMATER/RS. Dentre eles se destacam modelos que fazem uso de ventilação natural ou com estruturas em tijolos maciços feito com massa polimérica especial, tornando o silo mais barato e de fácil manuseio; e ainda há alguns modelos que apresentam adaptação de equipamentos de pré-limpeza dos grãos. Porém, ainda é fato que a falta de conhecimento técnico no manejo da armazenagem pelo produtor ainda é um fator determinante para a conservação dos produtos.

Professores e pesquisadores da UFV, foram responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologias simples de secagem e armazenagem de grãos para a agricultura familiar, destacando-se dois modelos de silos (armazenador e secador-armazenador) com capacidades de armazenamento de até quatro toneladas de produto, de acordo com a necessidade do agricultor. Segundo Silva *et al.* (2005), esses sistemas tornam possível ao pequeno produtor a construção de silos maiores ou de vários silos pequenos.

É importante ainda que se atenda tanto a necessidade de armazenagem, quanto uma dimensão tal que o custo por tonelada de produto armazenado seja cada vez menor, sendo que, quanto maior o silo, menor é o custo por tonelada estocada. Apesar de mais caro, vários silos pequenos proporcionam maior opção de manejo da safra armazenada.

### **2.8.2 Silo Armazenador**

O silo armazenador recebe os grãos, geralmente limpos e secos, com a finalidade apenas de armazenar o produto recebido, mantendo sua qualidade. O modelo desenvolvido pela UFV apresenta uma descarga central e para que isso seja possível é necessário a construção de paredes ou uma base de sustentação, buscando uma posição no terreno que facilite a retirada do

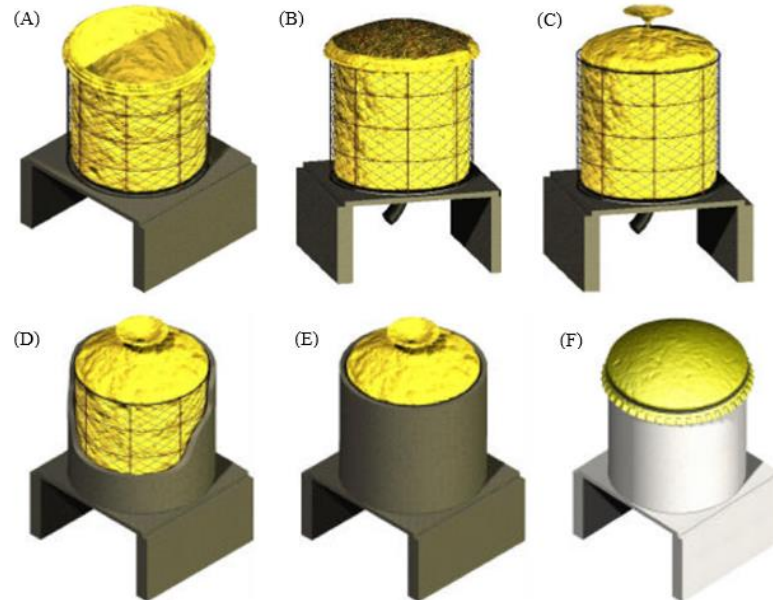
produto pela descarga. A base deve ser construída com argamassa em terreno compactado com tijolos maciços e sobre um alicerce de concreto, com dimensões que dependerão da capacidade do silo (SILVA *et al.*, 2005). Uma laje em concreto armado deve ser fundida em dois segmentos, preferencialmente, em uma área limpa e plana. Caso não se disponha dessa área, a laje poderá ser contínua de maneira convencional, diretamente sobre as paredes.

Armações de telas são utilizadas como auxiliadoras no projeto de edificação das paredes, com o intuito de reduzir custos e facilitar a construção das estruturas. Para esses modelos de silos a parede é construída, geralmente, com armação de tela de arame (para cercado) e envolvida por uma tela de viveiro que são fixadas no piso perfurado e suas extremidades são unidas por arame de aço. De acordo com Silva *et al.* (2005) a tela tipo cerca é utilizada para dar resistência e conter o produto armazenado, enquanto a tela tipo viveiro é usada para facilitar a aplicação da argamassa.

O dispositivo de descarga utilizado é simples, podendo ser feito com tubo PVC e um tampão, ou ainda construído com um pedaço de câmara de ar usada e um pequeno aro de vergalhão. A armação de tela é colocada sobre a laje e no seu interior deve ser fixado um cilindro de lona plástica, que deve ser nova e de boa qualidade, tendo em vista que é responsável pela proteção temporária do produto armazenado, principalmente durante a primeira vez que o silo é usado, evitando o contato do produto com a argamassa utilizada na construção da parede, além disso, é ela quem torna o silo impermeável (FIGURA 15A).

Esses modelos de silos são revestidos externamente com argamassa somente após seu carregamento, pois o conjunto lona plástica e produto servem como anteparo interno para a aplicação da mesma (FIGURAS 15B e 15C). A finalidade da argamassa é dar proteção a lona plástica, para que não seja perfurada por qualquer agente externo, protegendo completamente o produto armazenado (FIGURAS 15D e 15E). Após o esvaziamento do silo a lona deve ser cuidadosamente removida e recolocada depois da aplicação do revestimento interno de argamassa, podendo ainda ser feita uma pintura de revestimento interna e externa (SILVA *et al.*, 2005). Após esse procedimento o silo está definitivamente construído (FIGURA 13F).

**Figura 15** - Representação das etapas de construção do silo armazenador modelo UFV.

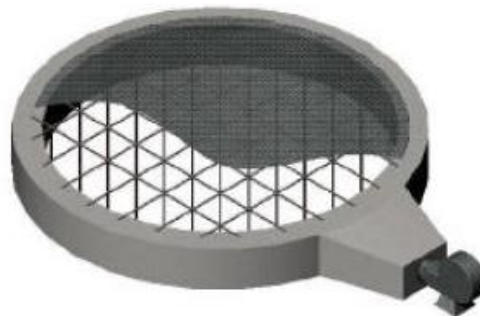


Fonte: SILVA *et al.*, 2005, modificado pelo autor. (A) detalhe da lona no interior da estrutura de tela. (B) carregamento do silo. (C) fechamento do sino antes da confecção da parede. (D) formação da parede externa. (E) aspecto final da parede externa. (F) silo definitivamente construído.

### 2.8.3 Silo secador armazenador

A construção do silo secador armazenador se baseia basicamente nas mesmas etapas do silo armazenador, porém a diferença fundamental está na construção da base do silo, tendo em vista que esse modelo apresenta um sistema de ventilação. Silva *et al.* (2005) afirma que a base deve ser construída em um piso em nível e impermeável, antes da construção do depósito de grãos propriamente dito, deve-se confeccionar o fundo perfurado, que adaptado sobre a base, forma a câmara “plenum” ou fundo falso, que permitirá a passagem e a distribuição uniforme de fluxo de ar na massa de grãos, como mostrado na Figura 16.

**Figura 16** - Base do silo secador armazenador com detalhes do fundo perfurado, grade circular, pilares e ventilador.



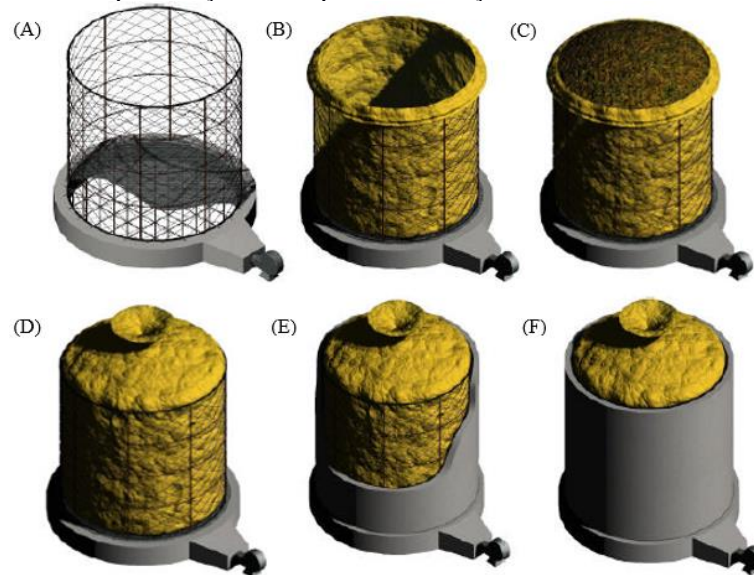
Fonte: SILVA *et al.*, 2005.



A descarga do produto pode ser feita pela porta lateral, sendo importante destacar que, quando o silo for descarregado por partes o dispositivo de descarga deve ser sempre muito bem vedado, evitando ao máximo a entrada de ar dentro do silo. Além disso é importante destacar que silos semelhantes a esses modelos com dimensões maiores podem ser construídos e apresentam também grandes eficiências (SILVA *et al.*, 2005).

Como o sistema de ventilação apresenta custo elevado em comparação ao custo total do silo, aconselha-se que seja construído com diâmetros (3 m e 4 m) maiores que a altura (1,8 m). Um ventilador que forneça no mínimo  $2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  de ar e grãos deve ser adaptado ao sistema. Pode-se também adaptar um único ventilador de maior capacidade, a fim de fornecer ar ambiente aos vários silos para operação de secagem ou aeração. A Figura 17 apresenta os detalhes construtivos desse tipo de silo.

**Figura 17** - Representação das etapas de construção do silo secador modelo UFV.



Fonte: SILVA *et al.*, 2005, modificado pelo autor. (A) contenção de tela sobre a base. (B) detalhe da lona no interior da estrutura de tela. (C) carregamento do silo. (D) fechamento do sino antes da confecção da parede. (E) formação da parede externa. (F) aspecto final da parede externa.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A Região Noroeste de Minas Gerais é formada por 19 municípios agrupados em duas microrregiões: Paracatu e Unaí (MAPA 2). Considerada a região menos populosa do estado, apresenta grande vazio demográfico e se destaca principalmente pela grande participação no mercado agropecuário nacional, sendo o território com a maior produção de grãos do estado de Minas. A forte presença da agricultura, ganha destaque para com a produção de grãos na chapada, contando ainda, com grande presença de áreas irrigadas, de pecuária e agricultura familiar.

O clima da região é considerado semiúmido, com período seco prolongado, entre quatro e cinco meses por ano, cuja vegetação predominante é composta pelo Bioma Cerrado. Quase a totalidade das águas que brotam no território faz parte da Grande Bacia do Rio São Francisco, possuindo importantes sub-bacias hidrográficas, como a bacia do Rio Paracatu e Rio Urucuia.

**Mapa 2** – Região Noroeste de Minas com divisão das Microrregiões.



Fonte: SITES DO BRASIL, 2008.

#### 3.2 Pesquisa

Para a realização deste trabalho foram utilizadas entrevistas semiestruturadas, que, devido as condições de calamidade pública dos municípios em consequência da pandemia da



COVID-19 não puderam ser realizadas *in loco*, desta forma, foram realizadas por meio de ferramentas digitais, como formulários do Google e por meio de telefonemas. Foram realizadas 18 entrevistas com produtores rurais, nos meses de agosto a outubro de 2020, com objetivo de se obter uma visão mais ampla a respeito da situação do armazenamento de grãos na região.

O formulário foi composto por 13 questões informativas, das quais quatro eram voltadas para caracterização da propriedade, do proprietário e da produção, e as demais sobre os tipos de culturas produzidas e as estratégias empregadas quanto ao armazenamento de grãos (APÊNDICE A). É importante destacar que a pesquisa foi realizada em alguns municípios da Microrregião de Unaí, porém, pela região apresentar as mesmas características, principalmente climáticas, o projeto tem abrangência para toda a Região Noroeste do Estado.

### **3.3 Proposta de projeto para a Região Noroeste**

A proposta consiste em projetar um silo secador, de estrutura cilíndrica, com base na norma BS EN 1991-4:2006, de baixa relação altura/diâmetro, em alvenaria armada, com fundo plano e falso, sendo construído um lastro de madeira com ripas sobre viga e as mesmas sobre pilares apoiados no chão. Esse fundo, permite a circulação do ar promovido pelo ventilador. O silo secador não tem tampa e deve ficar em uma área coberta.

O projeto do silo secador foi dividido em etapas:

- Caracterização das propriedades físicas dos produtos armazenados (milho/soja);
- Determinação da geometria do silo secador;
- Determinação dos materiais construtivos;
- Custo do silo secador.

#### **3.3.1 Caracterização do produto**

Para a avaliação das pressões, em razão do produto armazenado, foram utilizadas as propriedades físicas do milho e da soja, sendo classificado como produto granular, de acordo com a norma BS EN 1991-4:2006 (Tabela E1, pg. 99 – ANEXO A). Foram considerados o limite inferior e o limite superior para cada parâmetro, de modo a delinear a sua faixa de variação com combinações mais desfavoráveis para cada caso. Na tabela 2, estão os dados das propriedades físicas dos produtos milho e soja, uma vez que nenhuma norma internacional apresenta as propriedades físicas para o feijão, sendo necessário sua determinação

experimental. Desta forma, os cálculos para dimensionamento do silo secador foram realizados apenas para milho e soja.

**Tabela 2** - Propriedades física dos produtos.

Produto	Peso específico			Efetivo ângulo de atrito interno			Ângulo de atrito do produto com a parede (rugoso)			Ângulo de repouso
	$\gamma_i$ ( $\text{kN m}^{-3}$ )	$\gamma_s$ ( $\text{kN m}^{-3}$ )	$\gamma_m$ ( $\text{kN m}^{-3}$ )	$\phi_{ei}$ (°)	$\phi_{es}$ (°)	$\phi_{em}$ (°)	$\phi_{wi}$ (°)	$\phi_{ws}$ (°)	$\phi_{wm}$ (°)	$\phi_r$ (°)
<b>Milho</b>	7,00	8,50	7,75	28,00	33,00	30,50	25,00	32,00	28,50	30,00
<b>Soja</b>	7,00	8,00	7,50	25,00	32,00	28,50	14,00	20,00	17,00	23,00

Fonte: BS EN 1991-4:2006, modificado pelo autor. Nota:  $\gamma_i$  = peso específico do produto armazenado inferior,  $\gamma_s$  = peso específico do produto armazenado superior,  $\phi_{ei}$  = efetivo ângulo de atrito interno inferior,  $\phi_{es}$  = efetivo ângulo de atrito interno superior,  $\phi_{wi}$  = ângulo de atrito com a parede inferior e  $\phi_{ws}$  = ângulo de atrito com a parede superior,  $\phi_r$  = ângulo de repouso.

### 3.3.2 Geometria do silo secador

As características geométricas foram determinadas a partir das propriedades físicas do milho e da soja. Sendo assim, a Tabela 3 apresenta diferentes capacidades de armazenamento para milho e soja, que variam de 100 até 1500 sacas, com suas respectivas dimensões desejadas de acordo com a necessidade de armazenamento.

Os parâmetros utilizados para a determinação da geometria do silo secador, foram da EMATER/RS (2014), na qual estabelece, que para a construção de silos de alvenaria armada de baixo custo deve-se utilizar uma altura máxima de 3,50 metros, isto porque silos com alturas superiores necessitam de ventiladores com pressão estática elevada e com isso há um aumento significativo da potência motora necessária e, portanto, leva a um aumento dos custos construtivos e operacionais. Desta forma, aumentar o diâmetro e manter a altura fixa é a melhor opção.

Outro parâmetro importante é referente ao material de construção, porque os blocos cerâmicos apresentam boa resistência quando sofrem pressões verticais, mas quando existem esforços horizontais, sua resistência é reduzida. Neste caso a EMATER/RS (2014) chegou à conclusão que para haver uma boa relação altura/diâmetro em peças cerâmicas e para manter os objetivos de baixo custo de construção, deve-se limitar ao máximo de 0,64 a relação altura/diâmetro. Contudo para a maioria das normas internacionais, um silo é classificado como baixo tendo a relação altura/diâmetro em torno de 1, porém para silos construídos de materiais como concreto, chapa metálica, entre outros.

**Tabela 3** – Características geométricas do silo secador para diferentes capacidades escolhidas.

Capacidade escolhida	Geometria do silo				Relação h/d	Potência
	Altura útil	Volume	Diâmetro	Capacidade calculada		
Sacas	m	m <sup>3</sup>	m	kN		cv
<b>MILHO</b>						
<b>100</b>	1,5	7,6	2,5	58,84	0,62	0,07
<b>200</b>	1,9	15,2	3,2	117,68	0,59	0,21
<b>300</b>	2,2	22,8	3,6	176,52	0,62	0,49
<b>400</b>	2,4	30,4	4,0	235,36	0,60	0,80
<b>500</b>	2,6	38,0	4,3	294,20	0,61	1,23
<b>600</b>	2,9	45,6	4,5	353,04	0,64	1,86
<b>700</b>	2,9	53,1	4,8	411,88	0,61	2,32
<b>800</b>	3,1	60,7	5,0	470,72	0,62	3,03
<b>900</b>	3,2	68,3	5,2	529,56	0,62	3,77
<b>1000</b>	3,3	75,9	5,4	588,40	0,61	4,53
<b>1500</b>	3,5	113,9	6,4	882,60	0,55	8,05
<b>SOJA</b>						
<b>100</b>	1,6	7,8	2,5	58,84	0,64	0,04
<b>200</b>	2,0	15,7	3,2	117,68	0,61	0,14
<b>300</b>	2,3	23,5	3,6	176,52	0,64	0,32
<b>400</b>	2,5	31,4	4,0	235,36	0,62	0,51
<b>500</b>	2,7	39,2	4,3	294,20	0,63	0,78
<b>600</b>	3,0	47,1	4,5	353,04	0,66	1,19
<b>700</b>	3,0	54,9	4,8	411,88	0,63	1,48
<b>800</b>	3,2	62,8	5,0	470,72	0,64	1,94
<b>900</b>	3,3	70,6	5,2	529,56	0,64	2,41
<b>1000</b>	3,4	78,5	5,4	588,40	0,63	2,90
<b>1500</b>	3,5	117,7	6,5	882,60	0,55	4,75

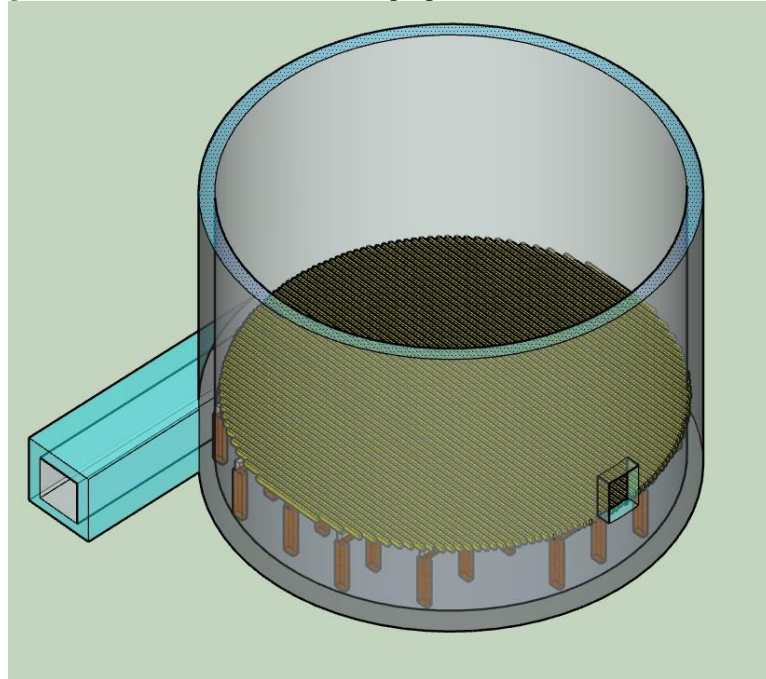
Fonte: O AUTOR.

O cálculo da potência necessária do ventilador foi realizado para as diferentes capacidades, seguindo as sugestões de dimensionamento de Weber (2005). Para este cálculo adotou-se uma umidade inicial dos grãos igual a 18% e umidade final igual a 12%, além disso, a temperatura ambiente considerada para a região é igual a 24,5 °C de acordo com Silva e Jardim (2019), a temperatura considerada para o ar de secagem foi de 34,5 °C (acréscimo de 10 °C à temperatura ambiente, baixas temperaturas).

Após os cálculos das diferentes capacidades de armazenamento para milho e soja, decidiu-se adotar a proposta de projeto completo para armazenamento dos produtos com

capacidade de 300 sacas, considerando que esta é a capacidade ideal para o pequeno produtor, onde os cálculos foram realizados através do programa Microsoft Excel<sup>®</sup>. A determinação das pressões atuantes foi realizada de acordo com a Teoria de Rankine, para milho e soja. Será adotado, o silo secador com as maiores dimensões, podendo assim, ser utilizado para qualquer um dos dois produtos.

**Figura 18** – Detalhes construtivos da proposta do silo secador em alvenaria.



Fonte: ARQUIVO PESSOAL.

### **3.3.3 Materiais construtivos**

As paredes do silo secador foram projetadas com blocos cerâmicos vazados, sendo o assentamento dos blocos realizado com argamassa polimérica (cola), e para a superfície interna e externa o uso de chapisco e argamassa camada única (reboco paulista). Para a armação das paredes, foi projetada a utilização externa da tela POP, no fundo do silo secador o lastro de madeira com ripas sobre uma viga e as mesmas sobre pilares apoiados no chão, sobreposto por uma tela metálica ou sombrite, formando assim, o fundo falso.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Pesquisa**

De acordo com os resultados obtidos dos produtores entrevistados, dentre os principais grãos produzidos nestas propriedades se destacam o milho e a soja, com alguns produtores variando sua produção com o cultivo ainda de feijão, milheto e sorgo. Observou-se que 61,1% das propriedades têm sua produção destinada totalmente para comercialização, enquanto 22,2% dos produtores destinam parte de sua produção para comercialização e parte para uso dentro da propriedade, e, apenas 16,7% dos produtores entrevistados utilizam a produção em sua totalidade dentro da propriedade, principalmente para alimentação animal. É importante destacar que, 27,8% dos produtores realizam a compra de algum grão para complementar sua produção anual, evidenciando a compra de milho e soja em grão ou farelo.

Quando perguntados a respeito da existência de sistema de armazenamento na propriedade, 13 dos produtores já possuem algum tipo de sistema, enquanto 5 ainda não possuem. Dos produtores que apresentam sistema de armazenamento, 8 armazenam em silos secadores armazenadores (sendo que 3 destes complementam o sistema com o uso de silo bolsa), 2 tem sistemas tipo paióis e 3 fazem uso apenas de silo tipo bolsa para o armazenamento. Além disso, dos produtores que apresentam sistema de armazenamento 61,5% não se sentem satisfeitos e apresentam interesse em ampliar o seu sistema.

Notou-se ainda que grande parte dos produtores (61,1%) apresentam interesse na instalação de um sistema de armazenamento na propriedade, sendo estes, os que não tem nenhum tipo de sistema e aqueles que apresentam sistemas simples como paióis e silo bolsa, porém, 45,5% destes mesmos produtores acham a instalação desses sistemas muito caros.

Constatou-se ainda que 6 produtores não apresentam interesse em melhorar ou adicionar sistema de secagem, 7 apresentam interesse e 5 talvez se interessem.

### **4.2 Cálculo teórico das pressões no silo secador**

Para o cálculo das pressões estáticas (carregamento), foi adotada a Teoria de Rankine, cujas formulas se encontram no item 2.6.3.1. A Tabela 4 mostra as pressões verticais e horizontais encontradas no silo secador em função de diferentes profundidades dos grãos na célula, considerando um carregamento escolhido de 300 sacas, diâmetro de 3,6 metros para os dois tipos de grãos, e a relação h/d igual a 0,62 para milho e 0,64 para soja.

**Tabela 4** – Pressões estáticas no silo secador em função de diferentes profundidades dos grãos na célula.

Profundidade do grão na célula	Altura útil do silo	Coeficiente K	Teoria de Rankine	
			Pressão vertical na parede	Pressão horizontal na parede
z (m)	h <sub>t</sub> (m)	$1-\text{sen}\phi_r/1+\text{sen}\phi_r$	P <sub>ve</sub> (kN m <sup>-2</sup> )	P <sub>he</sub> (kN m <sup>-2</sup> )
<b>MILHO</b>				
0,0	2,2	0,33	0,00	0,00
0,5	2,2	0,33	3,88	1,29
1,0	2,2	0,33	7,75	2,58
1,5	2,2	0,33	11,63	3,88
2,0	2,2	0,33	15,50	5,17
2,2	2,2	0,33	17,34	5,78
<b>SOJA</b>				
0,0	2,3	0,44	0,00	0,00
0,5	2,3	0,44	3,75	1,64
1,0	2,3	0,44	7,50	3,29
1,5	2,3	0,44	11,25	4,93
2,0	2,3	0,44	15,00	6,57
2,3	2,3	0,44	17,34	7,60

Fonte: O AUTOR.

Observa-se que para essa capacidade escolhida a profundidade máxima dos grãos na célula para milho é de 2,2 metros e para soja é de 2,3 metros, o que equivale a altura útil total da célula, encontrada na tabela anterior (TABELA 3). Um dos parâmetros necessários para o cálculo teórico das pressões é a relação entre a pressão horizontal e a vertical em um determinado ponto da massa granular, o coeficiente K. Esse parâmetro foi determinado através das expressões matemáticas de Rankine (EQUAÇÃO 7), que leva em consideração o ângulo de repouso do produto (30° para o milho e 23° no caso da soja). O valor do coeficiente K é considerado constante ao longo da altura transversal do silo.

Quando calculados os valores de K, encontrou-se uma certa variação de 0,33 para milho e 0,44 para soja. Existem várias tabelas para estimativa de K, contudo, de acordo com Freitas (2001), há grandes variações para os valores encontrados desse parâmetro através de equações desenvolvidas por diferentes pesquisadores e os fornecidos pelas normas internacionais, para um mesmo produto, isso porque cada norma apresenta certas particularidades e padrões diferentes das propriedades físicas dos produtos, por isso se destaca a importância da determinação experimental dessas propriedades sempre que possível.

Segundo Fank (2010), na maioria das recomendações para determinação do parâmetro K, utiliza-se apenas o ângulo de atrito interno para sua determinação, notando-se que em grande parte delas ainda há uma certa incerteza na determinação da relação de pressão, sendo esta dependente de inúmeros fatores. Já para Haaker (1998) citado por Freitas (2001), o problema nas propostas para obtenção desse parâmetro se encontra na hipótese que o material está em um estado de deslizamento e o atrito com a parede é mobilizado completamente, e estas hipóteses não são necessariamente cumpridas na parede vertical da célula.

Os valores de pressão vertical estática ( $P_{ve}$ ) na parede do silo secador, encontrados tanto para milho quanto para soja variam de  $0 \text{ kN m}^{-2}$  até  $17,34 \text{ kN m}^{-2}$  na posição máxima, porém, nas posições intermediárias dos grãos na célula (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m) o milho apresenta valores mais elevados ( $3,88 \text{ kN m}^{-2}$ ;  $7,75 \text{ kN m}^{-2}$ ;  $11,63 \text{ kN m}^{-2}$ ;  $15,50 \text{ kN m}^{-2}$ , respectivamente) em comparação aos valores da soja ( $3,75 \text{ kN m}^{-2}$ ;  $7,50 \text{ kN m}^{-2}$ ;  $11,25 \text{ kN m}^{-2}$ ;  $15,00 \text{ kN m}^{-2}$ , respectivamente). Esse fato está associado às propriedades físicas do milho, principalmente o peso específico, que apresenta valores mais elevados em relação aos da soja, proporcionando assim, maiores valores de  $P_{ve}$ .

Pela análise da Tabela 4 constata-se que as pressões horizontais estáticas ( $P_{he}$ ) sobre as paredes do silo secador, são maiores quando se armazena soja, variando entre  $0 \text{ kN m}^{-2}$  na menor posição dos grãos na célula, até  $7,60 \text{ kN m}^{-2}$  na posição máxima da célula; enquanto que para o milho a  $P_{he}$  atinge o máximo de  $5,78 \text{ kN m}^{-2}$  quando na maior posição. Isso ocorre principalmente pelo fato de a soja apresentar ângulo de repouso mais baixo, ocasionando pressões maiores.

Gomes (2000) em sua pesquisa realizada em um silo horizontal de concreto armado, utilizando as Teorias de Coulomb e de Rankine para determinação de pressão, verificou resultados médios para  $P_{he}$  de  $1,34 \text{ kN m}^{-2}$  a uma altura de 0,2 m, que são valores muito próximos aos encontrados na altura de 0,5 metros para milho e soja ( $1,29 \text{ kN m}^{-2}$  e  $1,64 \text{ kN m}^{-2}$  respectivamente). Freitas (2001) em uma análise de silos de baixa relação h/d e de fundo plano, utilizando a Teoria de Rankine-Calil, encontrou valores de  $P_{he}$  para o armazenamento de milho a uma altura de 2,94 metros de  $5,40 \text{ kN m}^{-2}$ .

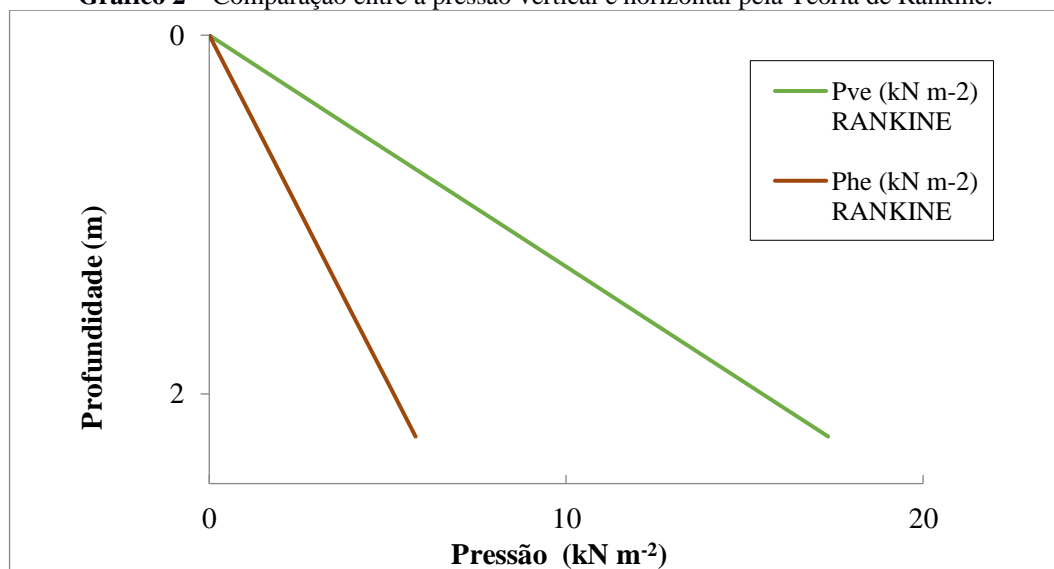
É importante ressaltar que as pressões dinâmicas (situação de armazenamento/descarga) de projeto ( $P_{vd} = C_d P_v$  e  $P_{hd} = C_d P_h$ ) são as mesmas que as pressões estáticas (carga), uma vez que o coeficiente de sobrepressão ( $C_d$ ) para produtos de fluxo livre é igual a um, sendo o caso do produto (grãos de milho ou de soja) para silos baixos.

Segundo Hezel (2007) as pressões horizontais mostram claramente a grande incerteza que existe para a previsão das pressões em silos de baixa relação altura/diâmetro e, portanto, há necessidade de uma avaliação experimental para a determinação das mesmas. A autora ainda afirma que o comportamento das pressões está condicionado pelas propriedades físicas dos produtos que serão armazenados, sendo desta forma, recomendado que para cada produto sejam realizados ensaios de caracterização de modo a se ter um dimensionamento e análise do silo a ser construído de forma mais correta, evitando possíveis erros de cálculo, gastos pelo superdimensionamento ou ainda, o sub dimensionamento de uma estrutura.

De maneira geral, para milho e soja, a  $P_{ve}$  apresenta valores mais elevados que a  $P_{he}$  ao longo da profundidade dos grãos na célula. Freitas (2001) afirma que quando uma massa granular é depositada em um silo, a pressão vertical tende a ser a maior pressão correspondendo ao que se denomina pressões estáticas ou iniciais. Quando a saída é aberta e o fluxo começa, a massa em movimento tende a se expandir verticalmente e a pressão vertical tende a se tornar a menor pressão, correspondendo às chamadas pressões dinâmicas ou de fluxo.

As pressões verticais ( $P_v$ ) e horizontais ( $P_h$ ) são as principais pressões em uma célula e qualquer uma delas pode ser a maior pressão. Quando  $P_v$  é a maior pressão, é dito que a massa de grãos se encontra em um estado ativo, e, quando  $P_v$  é a menor pressão, diz-se que a massa está em um estado passivo (FREITAS, 2001). O Gráfico 2 mostra a comparação entre as pressões  $P_{ve}$  e  $P_{he}$  calculadas.

**Gráfico 2** – Comparação entre a pressão vertical e horizontal pela Teoria de Rankine.



Fonte: O AUTOR.



### 4.3 Características construtivas

O projeto proposto, trata-se de um silo secador cilíndrico de alvenaria de bloco cerâmico, para a capacidade de 300 sacos de grãos, devendo ser construído sobre uma superfície em nível e impermeável. Alguns cuidados importantes devem ser tomados no momento da escolha do local para instalação do silo, sendo necessário uma cobertura para abrigá-lo, podendo ser um local já existente, como um galpão ou pode-se ainda construir uma cobertura própria. Além disso, deve-se fazer a limpeza do local para eliminar resíduos orgânicos, nivelar e compactar o terreno corretamente e somente após essas medidas dar início a construção do silo (RABELO *et al.*, 2014).

Após a preparação do terreno, faz-se a locação da base do silo secador. No local preparado deve ser espalhado uma camada de brita nº1 e sobre ela coloca-se uma malha de tela POP, com bitola de 4,2 mm, concreta-se a base com uma massa de traço 1:2,5:3 (cimento: areia: pedra britada). É necessário ainda, realizar a impermeabilização da base das paredes, neste caso indica-se o uso de uma manta líquida, com base de asfalto elastomérico. De acordo com Silva *et al.* (2005), a base do silo deve ser muito bem impermeabilizada, devendo-se tomar bastante cuidado na sua construção.

As paredes do silo secador foram projetadas, para blocos cerâmicos vazados tendo suas dimensões tabeladas de acordo conforme a NBR 15270-1:2017. Neste projeto, adotou-se as dimensões de 14 cm de largura, 19 cm altura e 29 cm comprimento, montados na posição de cutelo e assentados com o uso de argamassa polimérica (cola) apenas na posição horizontal, mantendo um distanciamento vertical de 1 cm entre as peças cerâmicas.

De acordo com as recomendações da EMATER/RS (2014) os silos de baixa relação h/d e em alvenaria armada, deverão ser construídos com tijolos sempre na posição cutelo, sendo eles maciços ou furados. O uso de tijolos maciços é recomendável para capacidades máximas de 750 sacos, quando de capacidade superior indica-se o uso de tijolos furados. Essa recomendação se deve apenas à economia de cola, uma vez que para tijolos maciços é necessário o uso de apenas um filete de cola enquanto que para tijolos furados, sendo eles de quatro, seis ou oito furos, são necessários dois filetes de cola.

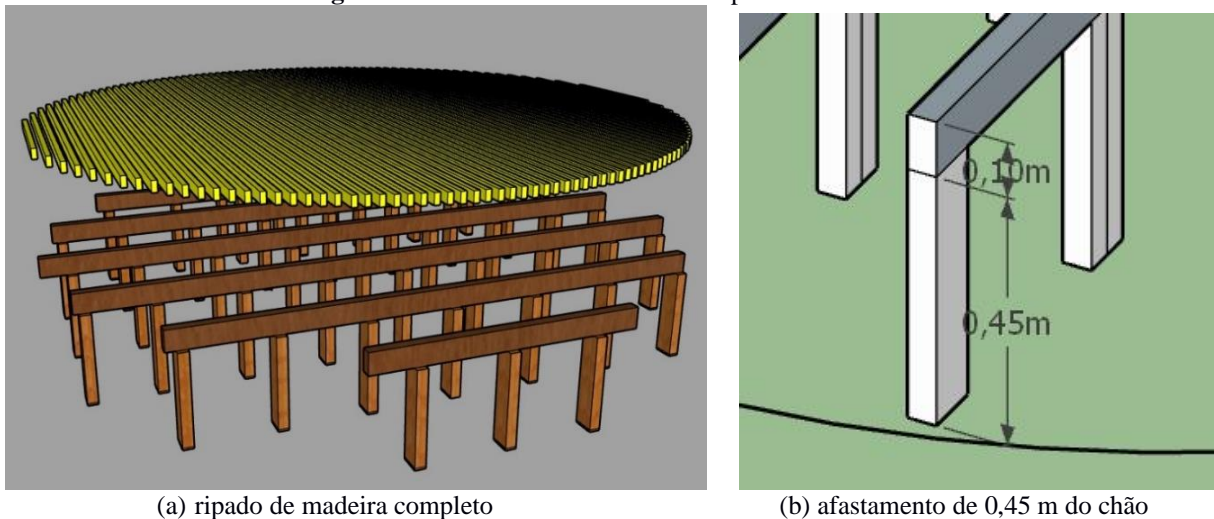
Além da economia de cola, o uso de blocos na posição de cutelo leva ainda a uma economia de mão de obra, redução no tempo de assentamento dos blocos, além de diminuir os custos com argamassa. Para Martins *et al.* (2013) existem várias vantagens no uso de argamassa polimérica para construção de silos em alvenaria, como a maior rapidez na elevação das paredes, realizando o serviço em um terço de tempo do sistema tradicional com argamassa e

sem a necessidade de um profissional especializado para erguer o sistema, a parede colada é 30% mais leve que a tradicional, além disso, usa-se menos cimento, areia e outros elementos de obra gerando maior economia.

Quando se faz o uso de tijolos furados ou maciços, pode-se ainda optar pelo uso da argamassa comum para o assentamento dos tijolos, aplicada somente na linha horizontal deixando na vertical um pequeno espaço de 2 mm entre os tijolos para a passagem dos arames para armação da tela POP interna à externa (EMATER/RS, 2014).

Enquanto a parede é levantada, de maneira a facilitar a construção do silo secador, faz-se a colocação do fundo falso ou câmara “plenum” de madeira, pois sua construção depois que as paredes estiverem inteiramente levantadas se torna mais difícil. O fundo falso conta com um lastro de madeira afastado do chão 45 cm, composto de ripas de eucalipto com dimensões 2,5 cm x 5 cm; caibros de eucalipto de 5 cm x 10 cm e pilares de eucalipto de 10 cm x 15 cm ou diâmetro de 15 cm (FIGURA 19). Silva *et al.* (2005) afirmam que, o fundo falso pode ser construído de várias formas e de diferentes tipos de materiais, porém devem ser feitos de maneira que possuam no mínimo 15% de área perfurada.

**Figura 19** – Detalhes construtivos do ripado de madeira.



Fonte: ARQUIVO PESSOAL.

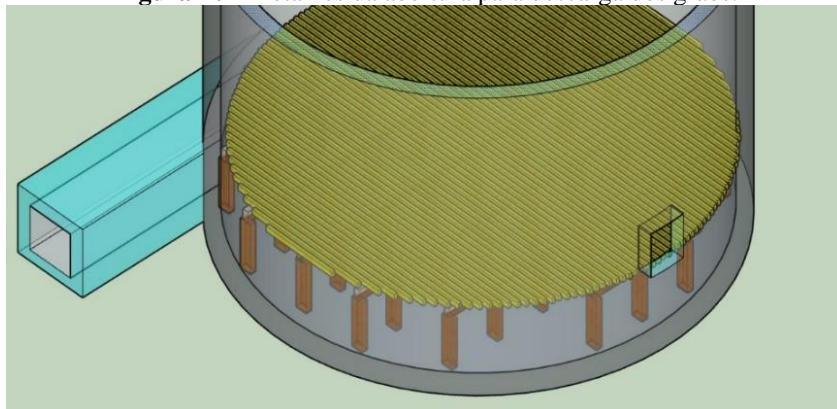
Juntamente com a construção das paredes, deve-se já ser providenciada a construção do duto de ar, com abertura de 0,40 cm e comprimento de 0,5 metros, que será responsável pela transmissão do ar de secagem do ventilador para a câmara “plenum”, a partir disso, já poderá ser providenciada a instalação do ventilador. De acordo com os cálculos realizados para dimensionamento da potência do ventilador para 300 sacas de grãos, encontrou-

se uma potência necessária de 0,49 cv, e pressão estática de 12,61 mmCA para milho e de 0,32 cv com pressão de 8,08 mmCA para soja. Desta forma, optou-se pelo uso de um ventilador modelo WLL 400, do fabricante WILPA, com potência de 1cv, vazão de ar de  $3.100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e 60 mmCA de pressão estática.

Nota-se que houve uma diferença de 0,17 cv entre a potência necessária para proporcionar a secagem da soja e do milho. Isso se deve ao fato de que o milho oferece uma pressão estática mais elevada que a soja, ou seja, o ar apresenta menor resistência ultrapassando a massa de grãos de soja, com isso a energia que o ventilador terá que transferir ao ar para vencer a resistência oferecida pela massa de grãos de soja é menor. EMATER/RS (2014) obteve resultados para potência de um ventilador igual a 0,48 cv para um silo com capacidade de 250 sacas de milho.

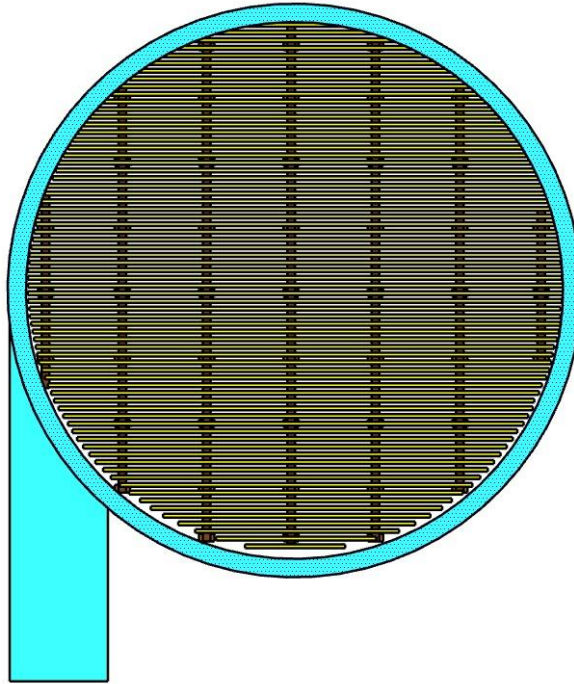
Acima do lastro de madeira será instalado uma tela do tipo peneira de 1x15 m de fio 28 M9, com o intuito de impedir a passagem dos grãos e permitir a passagem do ar de secagem proporcionado pelo ventilador. Além disso, imediatamente acima do ripado, na parede, é necessário deixar uma abertura lateral, com dimensões de 30x40 cm, tornando possível a descarga do silo (FIGURA 20). A Figura 21 mostra os detalhes construtivos da parede da base silo secador com fundo falso.

**Figura 20** – Detalhes da abertura para descarga dos grãos.



Fonte: ARQUIVO PESSOAL.

**Figura 21** – Detalhes construtivos da base e do fundo falso do silo secador em alvenaria.



Fonte: ARQUIVO PESSOAL.

Para suportar as pressões horizontais exercidas nas paredes do silo secador devido aos grãos armazenados, será necessário o uso de uma malha POP reforçada Q92 com distanciamento entre os fios de 15x15 cm, vergalhão CA-60 e bitola de 4,2 mm, que apresenta resistência de até 2 t m<sup>-2</sup>, de acordo com os dados do fabricante Açomais. Apesar de o uso da tela POP apresentar maior resistência e eficiência, serão colocadas barras de ferro horizontais de 5/16" (8 mm) com distâncias verticais de 50 cm entre elas, que serão amarrados à tela POP. É muito comum o uso de amarração do silo em alvenaria utilizando apenas arame, como é o caso do projeto de Rabelo *et al.* (2014).

**Tabela 5** – Características da Tela POP (2x3 metros) – Açomais.

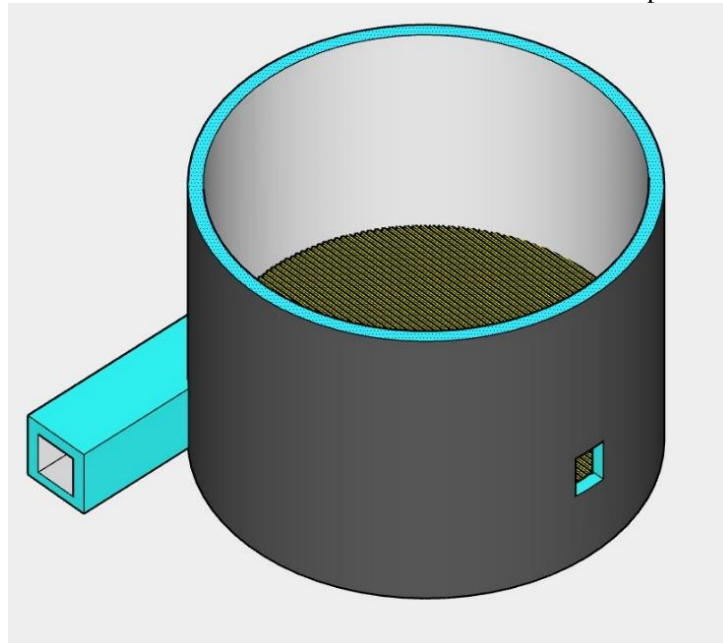
Designação	Características da tela POP				Características de Pressão		
	Espaçamento	Bitola	Resistência	Tipo de tela	Tipo de aço	P <sub>ve</sub> máxima Rankine	Pressão máxima suportada
	cm	mm	t m <sup>-2</sup>			kN m <sup>-2</sup>	kN m <sup>-2</sup>
Malha reforçada	15x15	4,2	2	Q92	CA60	17,34	19,61

Fonte: AÇOMAI, modificado pelo autor.

Após a última fiada de bloco na parede, será realizado a instalação de uma Vigota de concreto aramado com dimensões de 10x10 cm e traço de 1:2,5:3 (cimento: areia: pedra

britada), reforçando a superfície da parede do silo, para que não ocorra abertura. Após esse processo inicia-se o revestimento interno e externo, primeiramente o chapisco com traço 1:3 (cimento: areia grossa) e argamassa (emboço paulista) com traço 1:2:8 (cimento: cal: areia). As paredes são rebocadas tanto internamente quanto externamente para que não haja influência na massa de grãos de qualquer agente externo, protegendo assim o produto armazenado.

**Figura 22** – Detalhes construtivos do silo secador em alvenaria após o reboco.



Fonte: ARQUIVO PESSOAL.

#### **4.3.1 Custos da obra e equipamentos**

Um importantíssimo detalhe para a adoção desse tipo de sistema nas propriedades rurais são os custos de construção e instalação. De acordo com os resultados da pesquisa elaborada com os produtores (item 4.1) foi possível observar que grande parte deles apresentam interesse na construção de sistemas de armazenamento de grãos, mas acham a instalação e os sistemas muito caros, tendo em vista que geralmente os sistemas mais adotados são os grandes sistemas e que esses apresentam elevados custos de construção, instalação, manutenção e manejo.

Com o intuito de mostrar que a adoção desse silo em alvenaria armada é boa alternativa para o pequeno produtor rural, realizou-se um orçamento dos custos do projeto, para que o produtor consiga ter uma noção de quanto gastaria para desenvolver esse sistema em sua propriedade. A Tabela 6 mostra os detalhes dos elementos construtivos e o rendimento dos

materiais utilizados para que possa realizar a relação quantitativa desses materiais (TABELA 7).

**Tabela 6 –** Rendimento dos materiais construtivos.

Bloco cerâmico				Argamassa polimérica (cola)		Reboco paulista – Traço 1:2:8	Chapisco Traço 1:3
Largura	Altura	Comprimento	Juntas	Rendimento bisnaga de 3 kg	Rendimento Bisnaga 6 kg	Rendimento por um saco de cimento	Rendimento por um saco de cimento
cm	cm	cm	cm	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
14	19	29	1	1,58	3,16	17	30

Fonte: O AUTOR

**Tabela 7 –** Quantidade de materiais que são necessários para um silo secador de 300 sacos.

Área		Quantidade de materiais								
P	A	Blocos	Bisnaga 6 kg	Bisnaga 3 kg	Traço de reboco	Traço de chapisco	Traço para concreto armado	Ripas de eucalipto	Caibros de eucalipto	Pilares de madeira
m	m <sup>2</sup>	un.	un.	un.	traços	traços	m <sup>3</sup>	m	m	m
<b>MILHO</b>										
11,31	25,31	422	8,0	16,0	3,0	1,7	23,0	280	25	30
<b>SOJA</b>										
11,31	26,15	436	8,3	16,6	3,1	1,7	23,0	280	25	30

Fonte: O AUTOR.

É possível observar na Tabela 7, que o rendimento da bisnaga de 6 kg de argamassa polimérica é maior que a bisnaga de 3 kg, sendo assim a com melhor rendimento foi adotada para o orçamento. Na Tabela 8 estão dispostos os preços materiais e mão de obra que serão necessários para a construção do silo secador de 300 sacos, em alvenaria armada. Os valores utilizados no projeto foram orçados junto às empresas que atuam na região do município.

**Tabela 8** – Relação dos materiais e mão de obra necessários para a construção do silo secador de 300 sacos milho/soja.

Descrição dos itens	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Cimento	sacos	21	R\$ 27,90	R\$585,90
Areia	m <sup>3</sup>	5	R\$105,00	R\$525,00
Brita	m <sup>3</sup>	2,5	R\$108,00	R\$270,00
Cal (20 kg)	sacos	8	R\$11,50	R\$92,00
Argamassa polimérica 6 kg	bisnaga	11	R\$34,80	R\$382,80
Impermeabilizante (vedapren - manta líquida base asfáltica) - balde de 18 litros	unidade	1	R\$207,90	R\$207,90
Arame queimado nº 18	kg	0,5	R\$19,00	R\$9,50
Ferro 1/4" (6,4 mm) para vigota de concreto armado 10x10 cm	barras	4	R\$34,00	R\$136,00
Ferro 5/16" (8 mm) para reforço a cada 0,5 m	barras	7	R\$43,00	R\$301,00
Porta de descarga de aço galvanizado	unidade	1	R\$70,00	R\$70,00
Bloco cerâmico 14x19x29	milheiro	1,2	R\$1.400,00	R\$1.680,00
Tela para o fundo falso (metálica ou sombrite) - Tela peneira 1x15 m fio 28 M9	unidade	1	R\$520,00	R\$520,00
Tela POP Q92 Ø do fio 4,2 mm - 15X15 cm (tamanho: 2x3 m) - CA60	unidade	8	R\$150,00	R\$1.200,00
Ripas de eucalipto 2,5x5 cm	m linear	280	R\$2,14	R\$599,20
Caibros de eucalipto 5x10 cm	m linear	25	R\$12,62	R\$315,50
Pilares de madeira 10x15 cm ou Ø de 15 cm	m linear	30	R\$17,21	R\$516,30
Pregos 17x27	kg	2	R\$15,00	R\$30,00
Pregos 18x30	kg	3	R\$15,00	R\$45,00
Mão de obra - pedreiro	dias/hom em	9	R\$160,00	R\$1.440,00
Mão de obra - carpinteiro	dias/hom em	7	R\$160,00	R\$1.120,00
Ventilador - centrífugo 1 cv	unidade	1	R\$3.560,00	R\$3.560,00
<b>CUSTO TOTAL DO PROJETO - SILO SECADOR PARA 300 SACOS DE MILHO/SOJA</b>			<b>R\$ 13.606,10</b>	

Fonte: O AUTOR.

Através do orçamento na tabela acima, observa-se que os custos totais para adoção desse sistema na propriedade são iguais a R\$13.606,10. Santos (2019), analisa alguns tipos de silos de grãos e seus custos médios, segundo a autora a construção de silos metálicos projetados para uma capacidade de 100 mil sacas, apresentam custo médio de R\$ 2 milhões de reais, com durabilidade de cerca de 30 anos, variável conforme as condições ambientais. Já silos em concreto armado, que conservam os grãos por até quatro safras, com capacidade para 30 mil sacas podem apresentar um custo médio de R\$ 360 mil reais. Enquanto silos construídos em alvenaria com capacidade de armazenamento de até 600 sacas tem um custo médio de construção de R\$ 27 mil reais, mantendo a conservação dos grãos por cerca de 1 ano.



## 5 CONCLUSÃO

Na determinação das pressões, para os produtos analisados não houve diferença significativa das pressões para silo baixos e com fluxo de massa. Sendo assim, o projeto do silo secador para grãos, apresenta flexibilidade para armazenamento, tanto de soja quanto de milho. As características geométricas para os diferentes produtos, tem como diferença apenas sua altura total de armazenamento, em função do peso específico.

A partir do orçamento realizado, conclui-se que o custo de construção e instalação do tipo de silo secador proposto é relativamente baixo, quando comparado aos sistemas mais comuns de armazenamento. Sendo assim, construir um silo secador de baixo custo para o armazenamento de grãos nas pequenas propriedades, dá ao produtor maior poder de negociação do produto, mantendo assim a qualidade dos grãos. Desta forma a proposta de silo secador de baixo custo em alvenaria armada se mostra uma ótima opção para o pequeno produtor.



## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-1 Componentes cerâmicos. Parte 1: Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria.** ABNT: Rio de Janeiro, 2017.
- AÇOMASIS. Malha pop: como e por que utilizar na obra. Disponível em: <<https://acomais.com.br/malha-pop-como-utilizar/>>. Acesso em: 16 mar. 2020.
- AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento.** 2001. 373 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3774: loads on bulk containers.** Sydney, 1996. 78 p.
- AZEVEDO, Loianny, *et al.* **A capacidade estática de armazenamento de grãos no Brasil.** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro. 2008.
- BARROS, José Roberto Mendonça de. **A indústria e o agronegócio brasileiro.** IED- instituto de estudos para o desenvolvimento industrial. 2018.
- BIAGI, J. D., BERTOL, R.; CARNEIRO, M. C. **Armazéns em unidades centrais de armazenamento.** P.157-161 In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; **Armazenagem de grãos.** 2002.
- BÍBLIA. Deuteronômio. Português. *In:* A Bíblia sagrada: antigo e novo testamento. Tradução de João Ferreira de Almeida. Brasília: Sociedade Bíblica do Brasil. Cap. 31, vers. 8.
- BRANDÃO, F. **Manual do armazenista.** 2 ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1989. In: REGINATO, Maiara Perez *et al.* Boas práticas de armazenagem de grãos. **ANAIS DO ENIC,** n. 6, 2014.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York, Van Nostrand Reinhold, 1992, 450p. In: ALENCAR, Ernandes R. de *et al.* **Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições.** vol.13, n.5. 2009.
- BS EN 1991-4- Eurocode 1. Actions on structures. Silos and tanks. 112p. 2006.
- CALIL JÚNIOR, C; NASCIMENTO, J. W. B.; ARAÚJO E. C. Silos metálicos multicelulares. São Carlos: USP, 1997. 175 p. In: HEZEL, C. R. **Avaliação das pressões em silos verticais conforme diferentes normas internacionais.** 2007. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Univerdade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.
- CALIL JÚNIOR, C; NASCIMENTO, J. W. B.; ARAÚJO E. C. Silos metálicos multicelulares. São Carlos: USP, 1997. 175 p. In: FREITAS, E. G. A.; CALIL JR. C. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, v.7, n. 24, p. 1-34, 2005.

CALIL JÚNIOR, C; NASCIMENTO, J. W. B.; ARAÚJO E. C. Silos metálicos multicelulares. São Carlos: USP, 1997. 175 p. In: FREITAS, E. G. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano.** 2001. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

CALIL Jr., C. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos verticais cilíndricos de pequena relação altura/diâmetro.** In: Colloquia, Porto alegre, 1987. Anais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, V.3, p.229-243. 1987.

COGO. Armazenamento de grãos: déficit é recorde no Brasil em 2020. **Canal Rural**, São Paulo. 31 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/brasil-deficit-recorde-armazenamento-cogo/>>. Acesso em: 23 out. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos.** V. 7 - Safra 2019/20. Quarto levantamento. Brasília, p. 1-104. Janeiro. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos.** V.6 - Safra 2018/19. Décimo primeiro levantamento. Brasília, p. 1-45. Agosto. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Armazenagem Agrícola no Brasil.** 2005.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA - CNA. **Capacidade de armazenamento e escoamento da produção agrícola.** 2012.

COSTA, Daniella Fernandes da. **Armazenamento em propriedades rurais: diagnóstico e análise no estado de Mato Grosso do Sul.** 2017.

DECKERS, Hellen Pinto Ferreira. **Avaliação da aplicação da norma ACI-313: 1997 no dimensionamento de silos multicelulares elevados de concreto armado para café.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

DECKERS, Hellen Pinto Ferreira. **Estudo teórico de pressões em silos esbeltos prismáticos com descarga excêntrica.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

DESSBESELL, Ricardo. **Viabilidade da implantação de uma unidade de armazenamento de grãos.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2014.

DEVILLA, I. A. **Projetos de unidades armazenadoras.** Anápolis, Universidade Estadual de Goiás, abr. 2004. In: DESSBESELL, Ricardo. **Viabilidade da implantação de uma unidade de armazenamento de grãos.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2014.

ELIAS, Moacir Cardoso; OLIVEIRA, Maurício de; VANIER, Nathan Levien. **Manejo da aeração dos grãos na unidade armazenadora para preservar a qualidade dos grãos.** Anais da 7° CBP- Conferência Brasileira de Pós-Colheita. Londrina, PR. 2018.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de; VANIER, N. L. **Tecnologias de Pré-Armazenamento, Armazenamento e Conservação de Grãos.** Pelotas: UFPel, 2017.

ELIAS, Moacir Cardoso *et al.* **Eficiência na aeração de grãos durante a armazenagem.** Anais da 5° CBP- Conferência Brasileira de Pós-Colheita. Foz do Iguaçu – PR. 2010.

ELIAS, M.C. *et al.* **Manejo integrado no controle de pragas de grãos e derivados.** In: ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M. **Aspectos tecnológicos e legais na formação de auditores técnicos do sistema nacional de certificação de unidades armazenadoras.** Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2009.

ELIAS, M. C. **Armazenamento e Conservação dos Grãos.** Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul. Pelotas, p.1-83, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** Brasília - DF, 212 p. 2018.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO RIO GRANDE DO SUL - EMATER/RS. **Tutorial- Programa de silos secadores de alvenaria armada.** Rio Grande do Sul, 2014.

FANK, Marivone Zanella *et al.* **Determinação do coeficiente de transferência de cargas nas fundações de silos verticais cilíndricos de base semi-V.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2010.

FERNANDES, Queli Silvério *et al.* **Análise da capacidade estática de armazenagem de grãos no Brasil no período de 1980 a 2015.** Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Organizacional), Universidade Federal de Goiás, Catalão. 2016.

FERNANDES, Queli S.; ROSALEM, Vagner. **O cenário da armazenagem no Brasil.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 10, n. 19. 2014.

FARONI e SILVA, 2008 - FARONI, L. R. A.; SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. 2nd ed. Viçosa: Aprenda Fácil, p. 371-406, 2008.

FREITAS, E. G. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano.** 2001. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

FREITAS, E. G. A.; CALIL JR. C. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, v.7, n. 24, p. 1-34, 2005.

GAIOTO, N. **Estruturas de arrimo e empuxos de Terra.** Escola de Engenharia de São Carlos. Publicação, 40 p. 1979.

GIOVINE, Humerto; CHRIST, Divair. **Estudo sobre processos de armazenagem de grãos: um estudo de caso Região de Francisco Beltrão-PR.** Ciências Sociais Aplicadas em Revista, v. 10, n. 18, p. 139-152, 2010.

GOMES, Francisco Carlos. **Estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais.** 2000. 187 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2000.

HAAKER, G. **Wall friction and wear testing.** 1998. Cap 2. p 76-86. In: FREITAS, E. G. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano.** 2001. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

HEZEL, C. R. **Avaliação das pressões em silos verticais conforme diferentes normas internacionais.** 2007. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Univerdade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

LEIDENS, Luiz Felipe. **Armazenagem: investimento estratégico para o produtor no País.** **Revista Safra.** 22 out. 2019. Disponível em: <<http://revistasafra.com.br/armazenagem-investimento-estrategico-para-o-produtor-e-para-o-pais/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

LOPES, Tiago Consta Pinto. **Silos de concreto protendido utilizando cordoalhas engraxadas: cálculo e dimensionamento.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, departamento de Engenharia Civil, João Pessoa, 2016.

MADRONA, F. S. **Pressões em silos esbeltos com descarga excêntrica.** 2008. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MARCON, Murilo Correa; PELLEGRINI, André. **Silo Secador: uma alternativa de armazenamento de milho na propriedade familiar rural.** EMATER, Rio Grande do Sul, 349 p. 2014.

MARTINS, Ricardo Ramos *et al.* **A armazenagem sustentável como inovação para a pequena propriedade.** Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Porto Alegre, v. 6, n. 1/2, p. 8-25, 2013.

MARTINS, R.R. *et al.* **Armazéns para propriedade familiar.** 2002. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. **Armazenagem de grãos.** Campinas: Instituto Bio Geneziz, p.117-55. 2002.

PALMA, Giovano. **Pressões e fluxo em silos esbeltos ( $H/D \geq 1.5$ ).** 2005. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2005.

PALMA, Giovano; CALIL JÚNIOR, Carlito. **Pressões e fluxo em silos esbeltos ( $H/D \geq 1.5$ ).** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 10, n. 42, p. 129-150, 2008.

PELENTIR, Marli Gisiele da Silva Aquino; SANTOS, Verçulina Firmino dos. **Análise da estrutura física de armazenagem de soja em grãos na cooperativa Grão Norte no município de Boa Vista-RR.** Revista de Administração de Roraima-RARR, v. 6, n. 3, p. 718-737, 2016.

PHAM, L. Variability of bin loads due to bulk solids for structural design. **Civil Engineering Transactions**, Sydney, v. 27, n. 1, p. 73-78, 1983. In: DECKERS, Hellen Pinto Ferreira. **Estudo teórico de pressões em silos esbeltos prismáticos com descarga excêntrica.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

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

RABELO, Amaro Korb; FABRO, Janete Rosane; GRISA, Felipe. **Silo secador e armazenador de cereais: secagem e armazenamento de grãos na agricultura familiar camponesa.** Francisco Beltrão: ASSESOAR, 12 p. 2014.

RIBEIRO, D. M. **Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem.** 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003

SAFARIAN, S.S.; HARRIS, E.C. **Design and construction of silos and bunkers.** Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York. N.Y. 468p. 1985. In: FREITAS, E. G. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano.** 2001. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SANTOS, Rayssa Fernanda dos. Silos para grãos: quando vale a pena armazenar a produção, diferentes tipos de silos e seus custos. **Lavoura 10 – Aegro**, São Paulo. 8 nov. 2019. Disponível em <<https://blog.aegro.com.br/silos-para-graos>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL - SENAR. **Grãos: armazenamento de milho, soja, feijão e café.** Coleção SENAR 216, 100 p.; il. Brasília. 2018.

SILVA, Aion Angelu Ferraz; JARDIM, Carlos Henrique. Unidades climáticas em Unaí, noroeste do estado de Minas Gerais-Brasil: proposta preliminar. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 5, n. 1, p. 10-26, 2019.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. **Secagem e secadores.** Viçosa: Aprenda Fácil, p. 107-138. cap. 5. 2000.

SILVA, Juarez de Sousa e; FILHO, Adílio Flauzino e Lacerda; VIEIRA, Guimar. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas.** UFV. Viçosa: aprenda fácil. 2008.

SILVA, J. S.; NOGUEIRA, Roberta Martins; ROBERTO, Consuelo Domenici. **Tecnologias de Secagem e Armazenagem para a Agricultura Familiar.** ed. 1. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, v. 1. 138p 2005.

SILVA, Luís César da. **Secagem de Grãos.** Boletim Técnico. Universidade Federal do Espírito Santo. Revista Grãos Brasil: da semente ao consumo. Alegre, 2004.

SILVA, M. C. A. T. **Estudo da variabilidade pressões em silos**. 1993. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SITES DO BRASIL. Mesorregião Noroeste de Minas. 2008. Disponível em: <[http://www.sites-do-brasil.com/diretorio/index.php?cat\\_id=756&cat\\_id\\_thm=5](http://www.sites-do-brasil.com/diretorio/index.php?cat_id=756&cat_id_thm=5)>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SOUSA JUNIOR, J.R. *et al.* **Diagnóstico de armazenamento de grãos em pequenas propriedades do município de Pombal-PB**. Agropecuária Científica do Semiárido, v.7, n.3, p.36-40, 2011.

SOUZA, M. A. D. **Infraestrutura e logística brasileira para armazenagem e escoamento de grãos**. Palestra: Anais 5a Conferência Brasileira de Pós-Colheita. Foz do Iguaçu-PR. 2010.

VIEIRA, P. R. C. **Gestão agroindustrial**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.

WEBER, Érico Aquino. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Salles, 2005.

WEIRICH, Cintia Sabrina; SLONGO, Luís Henrique. **Modelo de controle para o processo de beneficiamento de sementes baseado em eventos discretos e teoria de controle supervísório**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.



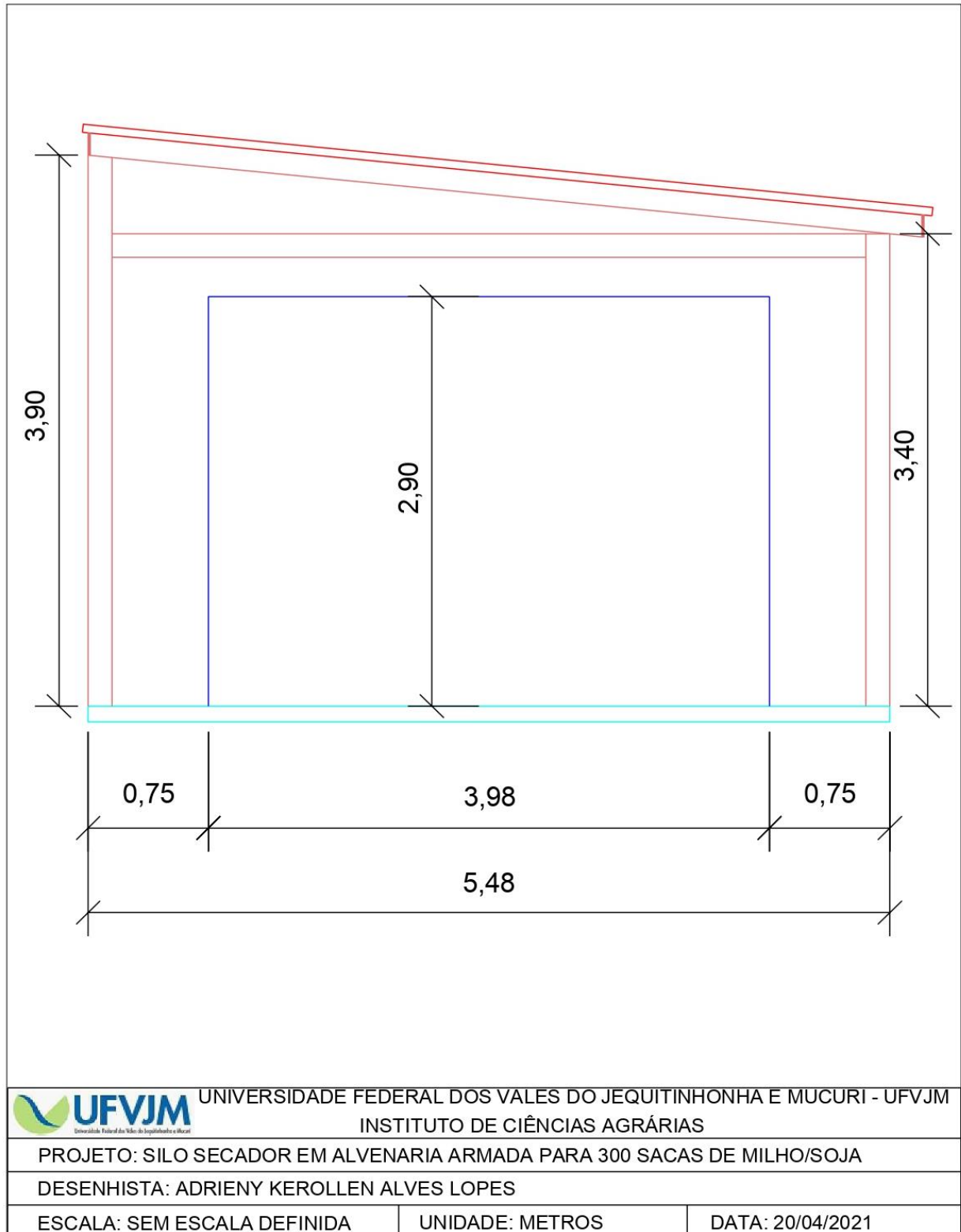
## APÊNDICE A

### ARMAZENAMENTO DE GRÃOS

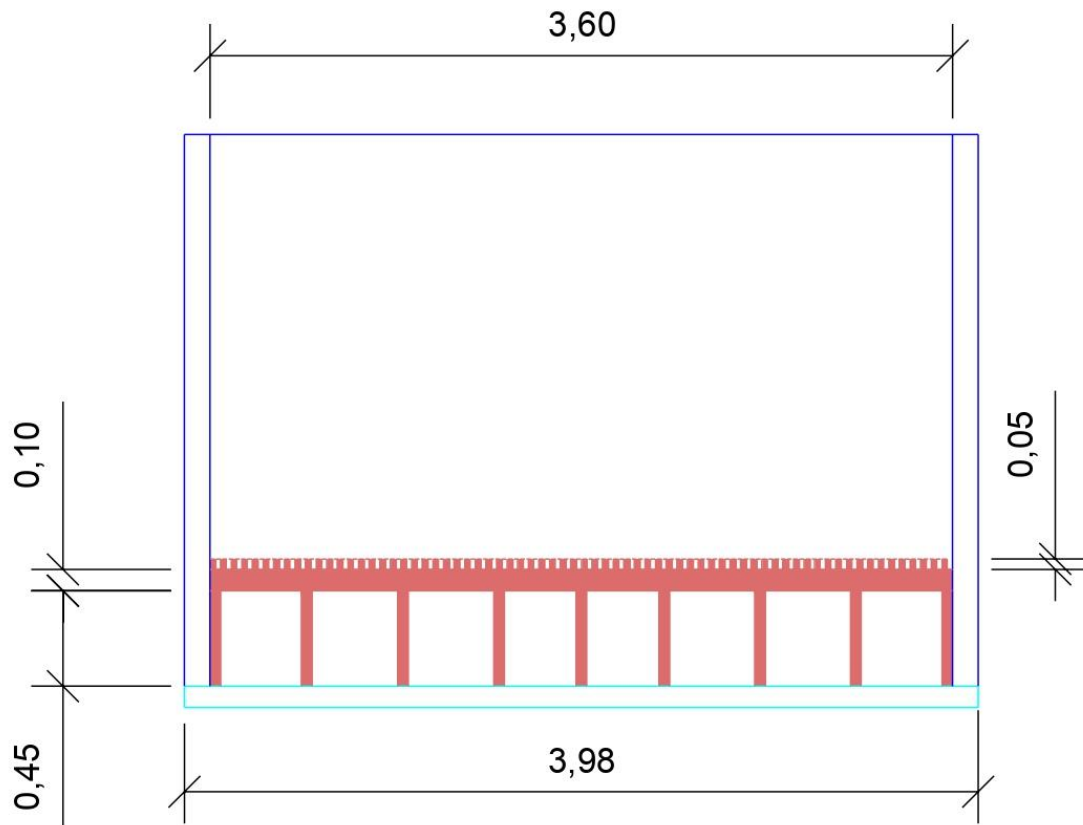
Formulário para levantamento de dados de pesquisa sobre armazenamento de grãos, em pequenas propriedades na Região Noroeste de Minas.

1. **Nome da Propriedade:** \_\_\_\_\_
2. **Proprietário (a):** \_\_\_\_\_
3. **Área total da propriedade (ha):** \_\_\_\_\_
4. **Localização:** \_\_\_\_\_
5. **Quais grãos são produzidos nesta propriedade?**
  - a) Milho
  - b) Feijão
  - c) Soja
  - d) Outros: \_\_\_\_\_
6. **Qual a finalidade da produção?**
  - a) Totalmente para comercialização
  - b) Totalmente utilizada dentro da propriedade. Ex.: alimentação de animais.
  - c) Uma parte é destinada a comercialização e outra utilizada na propriedade.
7. **Considerando as últimas safras, qual a quantidade em sacas, foi a produção?**
  - a) Dados da última safra: \_\_\_\_\_
  - b) Dados da penúltima safra: \_\_\_\_\_
8. **Faz compra de algum grão para complementar sua necessidade anual?**
  - a) Não.
  - b) Sim. Quais? \_\_\_\_\_
9. **A propriedade tem sistema de armazenamento para produção e/ou aquisição de grãos?**
  - a) Sim.
  - b) Não.
10. **Qual tipo de sistema de armazenamento tem na propriedade?**
  - a) Não tem sistema de armazenamento.
  - b) Silo-secador.
  - c) Silo armazenador.
  - d) Silo-secador armazenador.
  - e) Armazena em paióis.
  - f) Silo bolsa.
  - g) Outros tipos de armazenamento: \_\_\_\_\_
11. **Apresenta interesse em ampliar a capacidade de armazenamento da propriedade.**
  - a) Não tem sistema de armazenamento
  - b) Tem interesse em aumentar a capacidade de armazenamento.
  - c) Não tem interesse.
12. **Caso não tenha sistema de armazenamento. Apresenta algum interesse na instalação de sistemas de armazenamento?**
  - a) Tem interesse na construção de um sistema.
  - b) Tem interesse, porém acha muito caro.
  - c) Não tem interesse na construção desses sistemas na propriedade.
13. **Além de armazenar, tem interesse em também melhorar ou adicionar sistema de secagem dos grãos?**
  - a) Sim.

## APÊNDICE B







Corte do silo



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

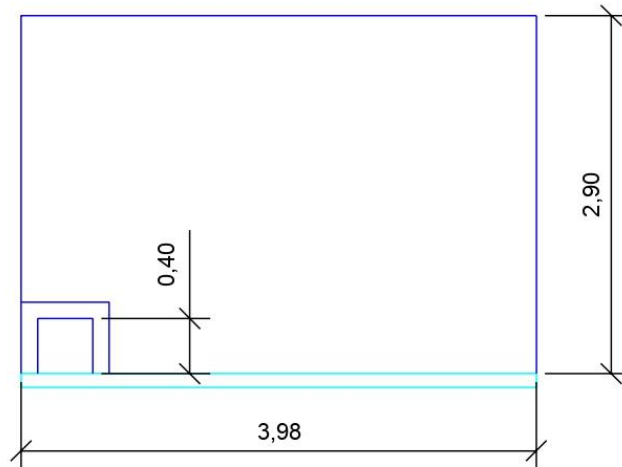
PROJETO: SILO SECADOR EM ALVENARIA ARMADA PARA 300 SACAS DE MILHO/SOJA

DESENHISTA: ADRIENY KEROLLEN ALVES LOPES

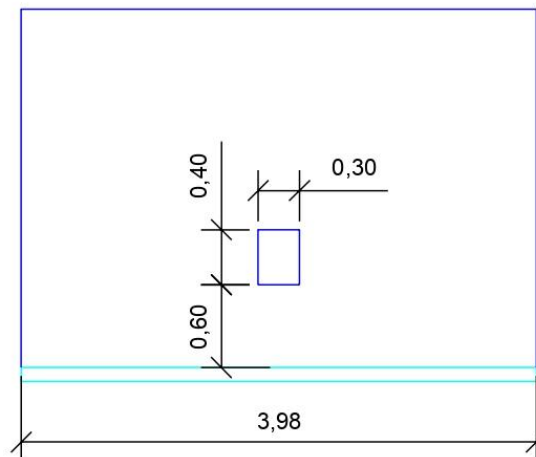
ESCALA: SEM ESCALA DEFINIDA

UNIDADE: METROS

DATA: 20/04/2021



Abertura para o ventilador  
centrifugo



Abertura para a retirada do  
produto



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

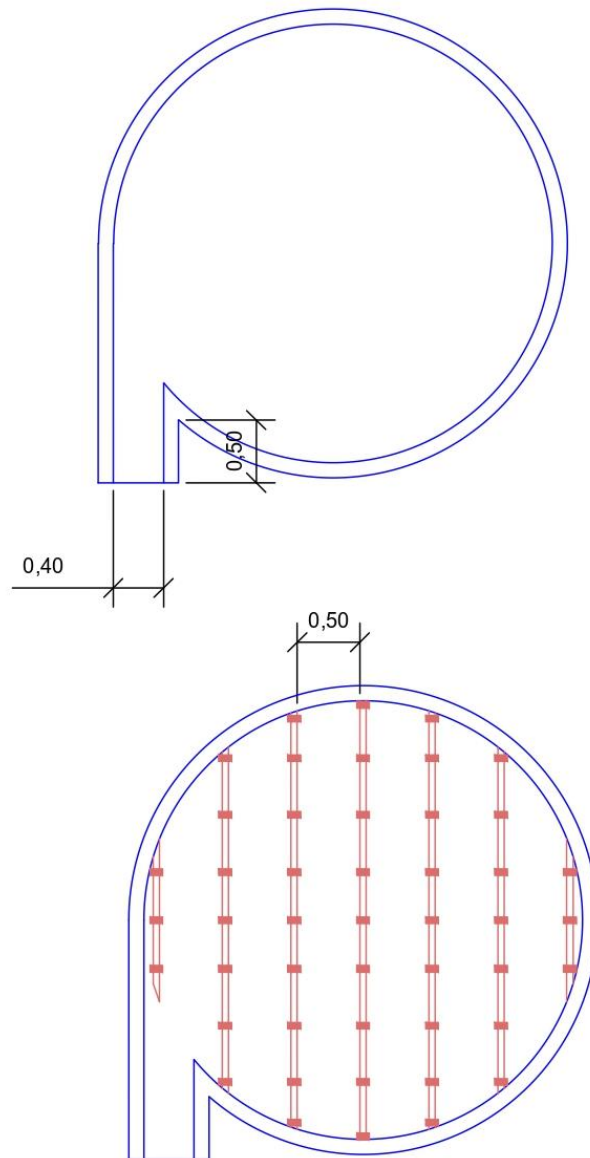
PROJETO: SILO SECADOR EM ALVENARIA ARMADA PARA 300 SACAS DE MILHO/SOJA

DESENHISTA: ADRIENY KEROLLEN ALVES LOPES

ESCALA: SEM ESCALA DEFINIDA

UNIDADE: METROS

DATA: 20/04/2021



30 Apoios  
(10x15cm ou diâmetro de 15cm)



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

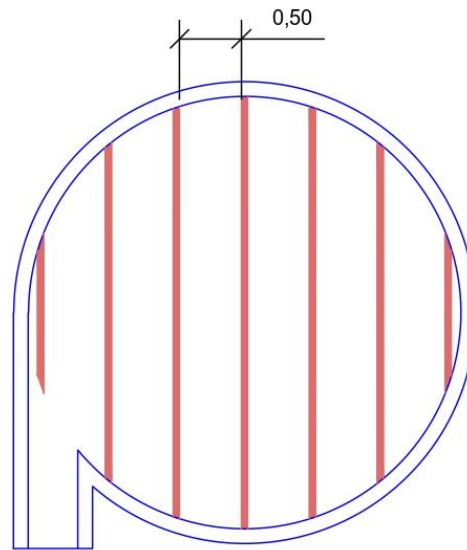
PROJETO: SILO SECADOR EM ALVENARIA ARMADA PARA 300 SACAS DE MILHO/SOJA

DESENHISTA: ADRIENY KEROLLEN ALVES LOPES

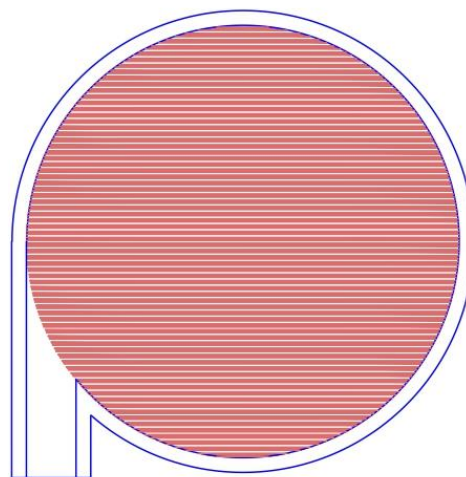
ESCALA: SEM ESCALA DEFINIDA

UNIDADE: METROS

DATA: 20/04/2021



25m de vigotas  
(5x10cm)



Ripas 2,5x5cm



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROJETO: SILO SECADOR EM ALVENARIA ARMADA PARA 300 SACAS DE MILHO/SOJA

DESENHISTA: ADRIENY KEROLLEN ALVES LOPES

ESCALA: SEM ESCALA DEFINIDA

UNIDADE: METROS

DATA: 20/04/2021

## ANEXO A

Table E.1: Particulate solids properties

Type of particulate solid <sup>d, e</sup>	Unit weight <sup>b</sup>		Angle of repose $\phi_r$	Angle of internal friction $\phi_i$			Lateral pressure ratio $K$		Wall friction coefficient <sup>c</sup> $\mu$ ( $\mu = \tan \phi_w$ )				Patch load solid reference factor $C_{op}$
	$\gamma_l$	$\gamma_u$		$\phi_r$	$\phi_{im}$	$a_\phi$	$K_m$	$a_K$	Wall type D1	Wall type D2	Wall type D3	$a_\mu$	
	Lower kN/m <sup>3</sup>	Upper kN/m <sup>3</sup>	degrees						degrees	Factor	Mean	Factor	Mean
Default material <sup>a</sup>	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0	
Aggregate	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4	
Alumina	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5	
Animal feed mix	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0	
Animal feed pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7	
Barley ☼	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5	
Cement	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5	
Cement clinker †	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7	
Coal ☼	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6	
Coal, powdered ☼	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5	
Coke	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6	
Flyash	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5	
Flour ☼	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6	
Iron ore pellets	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5	
Lime, hydrated	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6	
Limestone powder	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5	
Maize ☼	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9	
Phosphate	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5	
Potatoes	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5	
Sand	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4	
Slag clinkers	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6	
Soya beans	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5	
Sugar ☼	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4	
Sugarbeet pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5	
Wheat ☼	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5	

NOTE Where this table does not contain the material to be stored, testing should be undertaken.

<sup>a</sup> For situations where it is difficult to justify the cost of testing, because the cost implications of using a wide property range for the design are minor, the properties of the “default material” may be used. For small installations, these properties may be adequate. However, they will lead to very uneconomic designs for large silos, and testing should always be preferred.

<sup>b</sup> The unit weight of the solid  $\gamma_u$  is the upper characteristic value, to be used for all calculations of actions. The lower characteristic value  $\gamma_l$  is provided in Table E.1 to assist in estimating the required volume of a silo that will have a defined capacity.

<sup>c</sup> Effective wall friction for wall Type D4 (corrugated wall) may be found using the method defined in Annex D, D.2.

<sup>d</sup> Solids in this table that are known to be susceptible to dust explosion are identified by the symbol ☼

<sup>e</sup> Solids that are susceptible to mechanical interlocking are identified by the symbol †