

ARMAZENAGEM DE GRÃOS



ARMAZENAMENTO
E CONSERVAÇÃO

SISTEMA FAEP



SENAR – ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DO ESTADO DO PARANÁ

CONSELHO ADMINISTRATIVO

Presidente: Ágide Meneguette

Membros Titulares

Rosanne Curi Zarattini
Nelson Costa
Darci Piana
Marcos Junior Brambilla

Membros Suplentes

Livaldo Gemin
Robson Mafioletti
Ari Faria Bittencourt
José Amauri Denck

CONSELHO FISCAL

Membros Titulares

Sebastião Olímpio Santaroza
Paulo José Buso Junior
Carlos Alberto Gabiatto

Membros Suplentes

Ana Thereza da Costa Ribeiro
Ciro Tadeu Alcântara
Aparecido Callegari

Superintendente

Carlos Augusto C. Albuquerque

FLÁVIO LUIS BUENO HEMING

**ARMAZENAGEM DE GRÃOS:
ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO**



2016

Depósito legal na CENAGRI, conforme Portaria Interministerial n. 164, datada de 22 de julho de 1994, e junto a Fundação Biblioteca Nacional e Senar-PR.

Autor: Flávio Luis Bueno Heming

Coordenação técnica: Leandro Alegransi CREA PR - 125189/D

Coordenação metodológica: Patrícia Lupion Torres

Normalização: Rita de Cássia Teixeira Gusso – CRB 9. /647

Coordenação gráfica: Adilson Kussem

Ilustrações: Kepler Weber e Sincronia Design

Diagramação: Sincronia Design

Capa: Adilson Kussem

Catálogo no Centro de Editoração, Documentação
e Informação Técnica do SENAR-PR.

Heming, Flávio Luis Bueno.

Armazenagem de grãos : armazenamento e conservação / Flávio Luis Bueno
Heming. – Curitiba : SENAR - Pr., 2016. – 1 v.

ISBN 978-85-7565-133-9

1. Agricultura. 2. Armazenagem. 3. Silos. 4. Conservação de grãos. 5. Termometria.
6. Aeração. 7. Transilagem. I. Título.

CDU631.4
CDD633

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio,
sem a autorização do editor.

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA



APRESENTAÇÃO

O SENAR Nacional – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – é uma instituição prevista na Constituição Federal e criada pela Lei n. 8.315, de 23/12/1991. Tem como objetivo a formação profissional e a promoção social do homem do campo para que ele melhore o resultado do seu trabalho e, com isso, aumente sua renda e a sua condição social.

No Paraná, o SENAR é administrado pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná – FAEP – e vem respondendo por amplo e diversificado programa de treinamento.

Todos os cursos ministrados por intermédio do SENAR são coordenados pelos Sindicatos Rurais e contam com a colaboração de outras instituições governamentais e particulares, prefeituras municipais, cooperativas e empresas privadas.

O material didático de cada curso levado pelo SENAR é preparado de forma criteriosa e exclusiva para seu público-alvo, a exemplo deste manual. O intuito é assegurar que os benefícios dos treinamentos se consolidem e se estendam. Afinal, quanto maior o número de trabalhadores e produtores rurais qualificados, melhor será o resultado para a economia e para a sociedade em geral.



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	ARMAZENAMENTO	9
2.1	FINALIDADE DOS SILOS	9
2.2	TIPOS DE SILOS.....	10
2.3	COMPONENTES PRINCIPAIS DOS SILOS.....	12
2.4	SILOS DE FUNDO PLANO E SILOS DE FUNDO ELEVADO.....	22
2.5	OPERAÇÃO (CARGA E DESCARGA).....	22
2.5.1	Verificações iniciais	22
2.5.2	Carregamento do silo.....	23
2.5.3	Descarregamento do silo.....	25
2.5.4	Descarga lateral.....	26
2.6	CUIDADOS ESPECIAIS.....	28
2.7	LIMPEZA.....	28
2.7.1	Locais e frequência de limpeza.....	29
2.8	MANUTENÇÃO	31
2.9	CUIDADOS QUE DEVEM SER TOMADOS COM A SEGURANÇA EM SILOS.....	32
3	CONSERVAÇÃO DE GRÃOS	35
3.1	PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO DE GRÃOS.....	36
3.2	FENÔMENOS QUE OCORREM NA MASSA DE GRÃOS ARMAZENADOS.....	39
3.2.1	Correntes de convecção.....	40
3.2.2	Foco de aquecimento.....	41
3.2.3	Desenvolvimento de insetos	42
3.2.4	Desenvolvimento de fungos	42
3.2.5	Desenvolvimento de ácaros.....	44
3.2.6	Respiração dos grãos	45
3.2.7	Quebra técnica	47
3.2.8	Aquecimento e formação de água na massa de grãos.....	49
3.3	TEMPO PARA ARMAZENAGEM SEGURA	51
3.4	TERMOMETRIA.....	52
3.5	AERAÇÃO.....	55
3.5.1	Tipos de aeração.....	58
3.5.2	Objetivos da aeração	60
3.5.3	Aplicação de fumigantes.....	65
3.5.4	Seca-aeração.....	66

3.6	TRANSILAGEM.....	66
3.7	QUANDO AERAR	69
3.8	EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO (SECAGEM X REUMIDIFICAÇÃO)	71
3.9	RECOMENDAÇÕES IMPORTANTES.....	74

REFERÊNCIAS.....	77
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Neste volume, são apresentados os processos de armazenamento e conservação dos grãos vegetais, mostrando os procedimentos corretos para carregamento e descarregamento dos silos. Além disso, também são abordados os fenômenos que ocorrem em uma massa de grãos armazenados e que podem levar à sua deterioração e os métodos utilizados para conservar o produto e evitar perdas qualitativas e quantitativas.

Apresentam-se diversos tipos e modelos de equipamentos utilizados para armazenagem, focando nos silos metálicos que são largamente utilizados para esse fim, e também como devem ser realizadas as regulagens, a operação, a manutenção e a limpeza dos silos e seus acessórios.

Os princípios aqui apresentados são gerais e servem para qualquer modelo comercial de silo. Dessa forma, este manual pode ser utilizada como um guia geral para equipamentos de diversos tipos, porte e fabricantes diferentes, sendo que os procedimentos operacionais e demais temas abordados se aplicam a qualquer equipamento semelhante existente em operação no país.

Salienta-se que no Brasil existem condições climáticas diferentes de outros países produtores de grãos, como Estados Unidos e países europeus, e isso faz com que seja preciso estar muito mais atento aos fenômenos que ocorrem com os grãos durante o período de armazenagem. Isso também implica cuidados especiais e manejos diferenciados que devem ser adotados no uso dos sistemas de monitoramento e controle.

Com o provável aumento da capacidade estática de armazenagem em futuro próximo, os produtos ficarão armazenados por mais tempo antes da venda ou exportação.

Se, por um lado, isso é muito interessante por permitir um planejamento da venda do produto e, assim, um maior ganho aos produtores e ao país, por outro lado esse tempo maior de armazenagem carrega um risco maior na conservação desses grãos, especialmente nas grandes regiões produtoras que possuem clima mais quente.

Espera-se que as informações aqui contidas possam ser de grande utilidade nas unidades de recebimento e armazenagem de grãos vegetais, servindo para que os profissionais envolvidos tanto na operação direta e na manutenção dos equipamentos, gerentes, chefias e demais pessoas que participam do dia a dia dessas unidades utilizem estes equipamentos com a maior eficácia possível, minimizando as perdas qualitativas e quantitativas dos grãos, prolongando a vida útil dos equipamentos, reduzindo custos operacionais e de manutenção, e com um cuidado especial no que se refere à **segurança** de todos.

2 ARMAZENAMENTO

Neste capítulo, serão apresentadas as alternativas de equipamentos que se destinam à guarda dos grãos e as operações que se referem ao seu carregamento e descarregamento.

As Figuras 1 e 2 apresentam modelos de silos metálicos típicos, normalmente encontrados nas unidades de recebimento e armazenagem de grãos.

Figura 1 – Silo metálico fundo plano.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Figura 2 – Silo metálico fundo elevado.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

2.1 FINALIDADE DOS SILOS

Os grãos vegetais que serão utilizados para fins de alimentação humana ou animal normalmente necessitam ser armazenados por longos períodos de tempo antes de serem utilizados.

Para garantir que os grãos manterão suas qualidades físicas, fisiológicas e nutricionais, é preciso armazená-los em locais que ofereçam condições adequadas para isso.

Nesse sentido, os silos metálicos são uma excelente alternativa, pois, além de resguardar os grãos dos efeitos da natureza (chuva, ataque de animais, entre outros), ainda possibilitam que se façam procedimentos preventivos e corretivos que podem prolongar o tempo de armazenagem mantendo suas condições originais.

Princípios de conservação de grãos

Na armazenagem de produtos vegetais como grãos, o máximo que se consegue fazer é manter as suas qualidades originais, de antes da armazenagem.

Para isso, o controle de alguns fatores é de fundamental importância e, nos silos de armazenagem, podem-se conseguir as condições adequadas, desde que todo o sistema seja bem dimensionado e operado.

Aspectos como qualidade inicial dos grãos, presença de insetos, fungos, umidade e temperatura dos grãos são muito importantes nesse processo. Para que se consigam manter esses fatores dentro dos recomendados, precisa-se ter um equipamento de qualidade que impeça a entrada e proliferação de animais (roedores, pássaros, entre outros), que permita manusear os grãos de forma adequada e realizar os procedimentos preventivos e corretivos necessários, como aeração ou até transilagem.

É importante lembrar que a armazenagem **nunca** melhorará a qualidade do produto.

2.2 TIPOS DE SILOS

Ao longo do tempo, já foram utilizadas várias formas para estocagem de grãos. Tem-se registros de que há mais de 3 mil anos, no Egito, já havia sistemas para armazenagem de trigo.

Esses sistemas evoluíram, passando de depósitos rudimentares para paióis, celeiros, sacaria, entre outros, até a armazenagem moderna a granel em silos metálicos verticais.

Figura 3 – Silo primitivo no México.



Fonte: Wikipedia, 2015.

Além dos silos, também são utilizados os armazéns graneleiros que se denominam armazenagem horizontal, os quais também oferecem uma armazenagem relativamente segura, mas que possuem uma série de desvantagens em relação aos silos verticais.

Figura 4 – Armazém graneleiro horizontal.



Fonte: Terminais Portuários brasileiros, TGG Santos, 2011.

Silos verticais de concreto também são usuais, porém seu alto custo de construção limita sua aplicação.

Figura 5 – Silo vertical de concreto.



Fonte: Wikipedia, 2015.

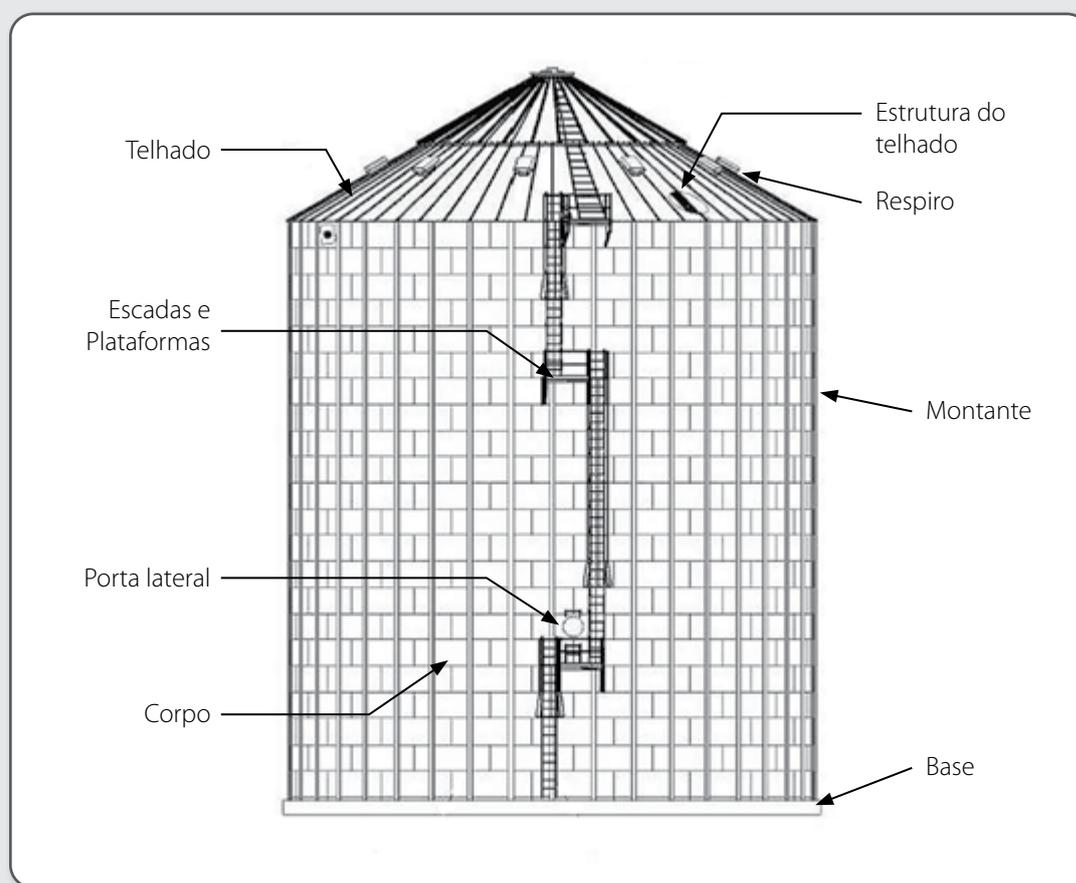
Como padrão atual de mercado, tem-se os silos metálicos verticais, sendo que atualmente existem silos com capacidade desde poucas toneladas de produto até silos para 33.000 toneladas.

O diâmetro máximo de silo metálico com telhado autoportante existente atualmente é de aproximadamente 60 m. A altura máxima da parede lateral pode chegar a 25 m, dependendo do diâmetro do silo.

2.3 COMPONENTES PRINCIPAIS DOS SILOS

A Figura 6 demonstra um desenho esquemático em que aparecem esses principais componentes.

Figura 6 – Componentes de um silo metálico.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Base

A base é feita em alvenaria sendo que o concreto é o material mais utilizado. Ela serve para sustentar a estrutura do silo e o peso dos grãos e ainda para acomodar os canais de aeração e transportador que retira o produto do silo.

Corpo

O corpo é composto por chapas metálicas corrugadas e colunas de montantes aparafusados entre si, e é responsável por conter o produto.

Telhado

O telhado realiza a proteção contra intempéries, ataques de pássaros, entre outros e suporta os cabos de termometria e o espalhador de grãos. No topo do telhado é feita a alimentação de produto e carregamento do silo.

O telhado possui portas de inspeção e escadas para acesso ao interior do silo. As portas de acesso, escadas e plataformas servem para operação e manutenção do equipamento.

Portas de acesso

Os silos são dotados de portas que servem para permitir a entrada de pessoas no interior do silo, realizar inspeções, limpeza, manutenção e promover a retirada de algum componente interno.

Essas portas são localizadas na lateral e no telhado e são projetadas de forma que não podem ser abertas se existir produto (grãos) pelo lado de dentro naquele nível. São compostas de uma folha externa que abre para fora e que possui função de proteger contra intempéries, e outra folha interna com abertura para dentro e que retém o produto.

Deve-se tomar muito cuidado para manter a folha interna devidamente fechada e travada antes do enchimento do silo, pois se a mesma ficar aberta ocasionará vazamento de produto e até um possível **colapso estrutural**.

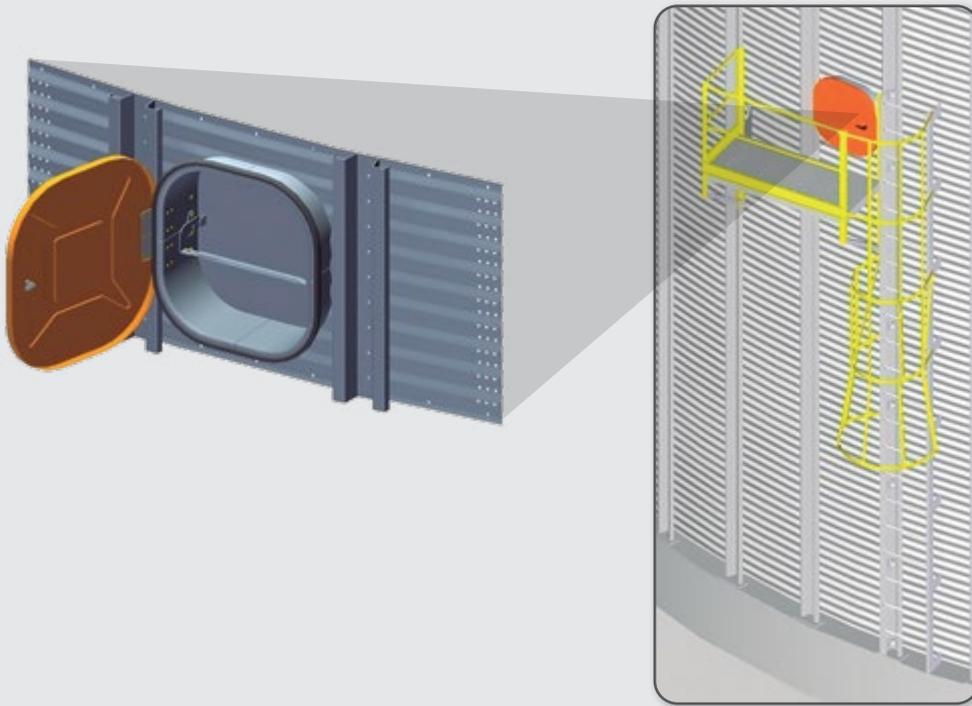
As portas laterais são posicionadas em um nível logo acima do nível do talude invertido do produto, que se forma quando o silo é esvaziado pelo registro central.

Somente após o produto haver escoado pela ação da gravidade, o que se verá mais adiante em “descarregamento”, é que a porta lateral pode ser aberta.

As tampas de acesso no telhado servem para inspeção e acesso quando o silo estiver cheio, porém a entrada no silo deve seguir todos os procedimentos de segurança recomendados conforme descrito no final deste capítulo, e seguindo as orientações das NR 33 e NR 35 (BRASIL, 2012).

A Figura 7 apresenta a porta lateral de um silo metálico. Esta fica posicionada em uma altura da parede de forma que, após o esvaziamento do silo pelo registro central, pela ação da gravidade, o nível máximo do talude interno de produto fica logo abaixo dessa porta, permitindo assim a entrada no silo. Dessa forma, é possível acessar a rosca varredora e poder terminar de esvaziar o silo.

Figura 7 – Porta lateral do silo.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Escadas e plataformas

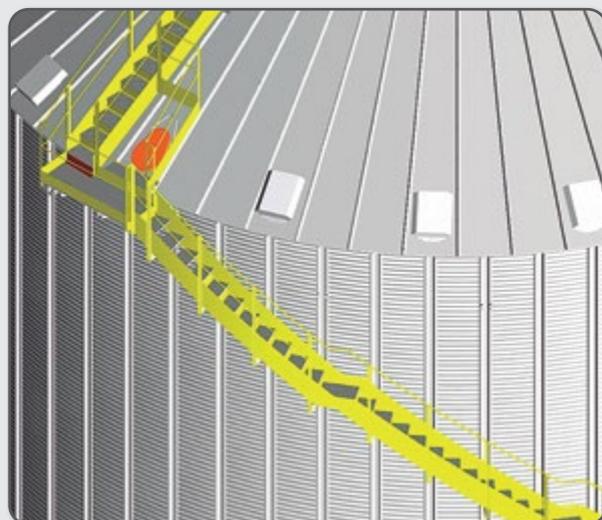
Os silos são dotados de escadas plataformas que permitem acesso a diversos pontos da estrutura pra realização de inspeção, limpeza, manutenção e para acesso às portas citadas.

Da mesma forma que colocado anteriormente com relação às portas, o acesso às escadas e plataformas deve ser realizado seguindo todos os procedimentos de segurança recomendados e observando as recomendações das NR 33 e NR 35 (BRASIL, 2012).

Normalmente, as escadas existentes nos silos metálicos são do tipo marinheiro, com plataformas intermediárias para descanso, no entanto existem escadas (opcionais) inclinadas em forma de helicóide, colocadas na lateral do silo e que permite um acesso mais fácil e seguro ao telhado.

Na Figura 8 há um exemplo de escada helicoidal externa para acesso ao telhado.

Figura 8 – Escada lateral externa helicoidal.

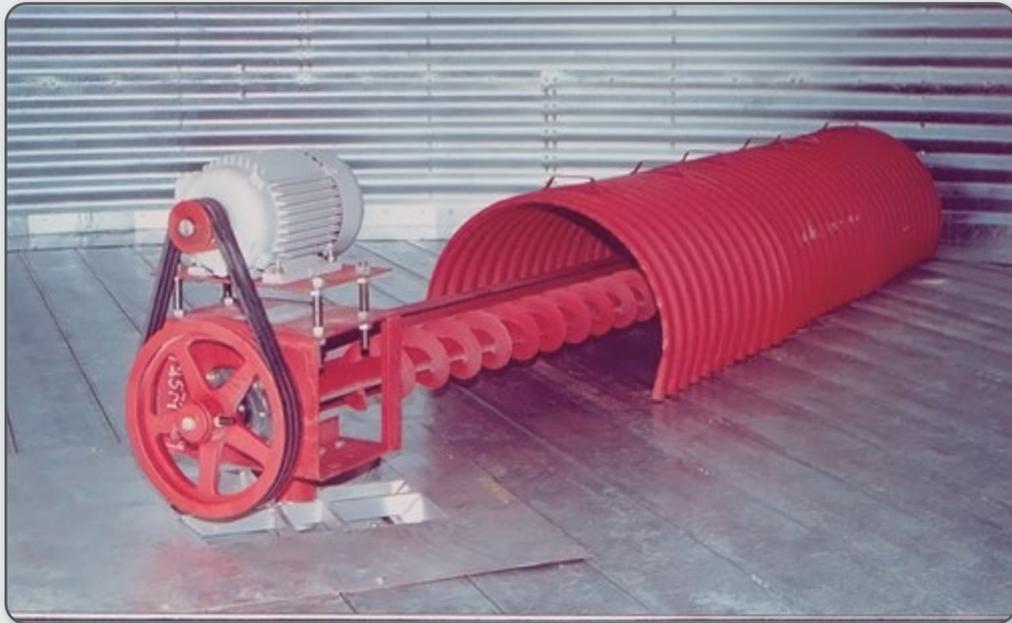


Fonte: Kepler Weber, 2013.

Rosca varredora

A Figura 9 apresenta uma rosca varredora típica com cobertura metálica.

Figura 9 – Rosca varredora em um silo metálico.

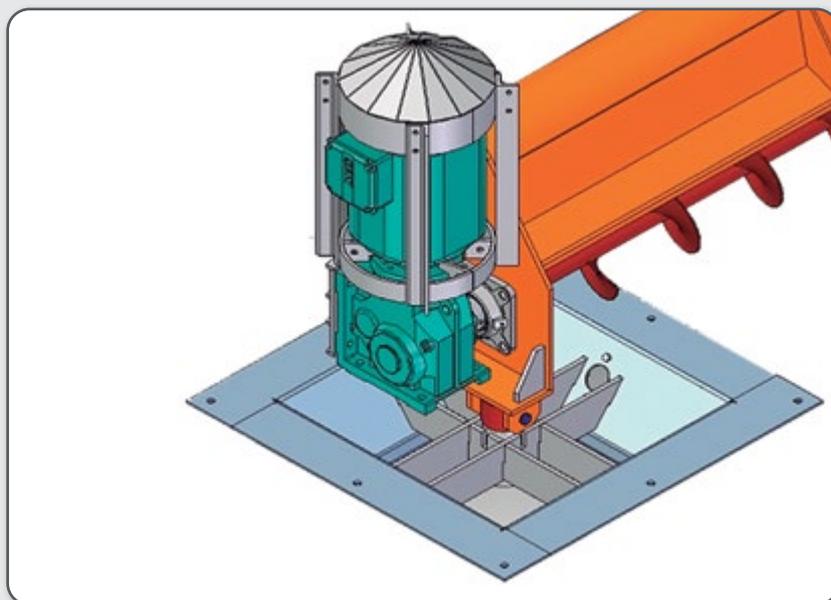


Fonte: Kepler Weber, 2013.

A sua função é a de retirar o produto que fica no fundo do silo após ter sido feita a descarga por gravidade.

O movimento de rotação da rosca é realizado pelo acionamento na extremidade que fica ancorada no centro do silo.

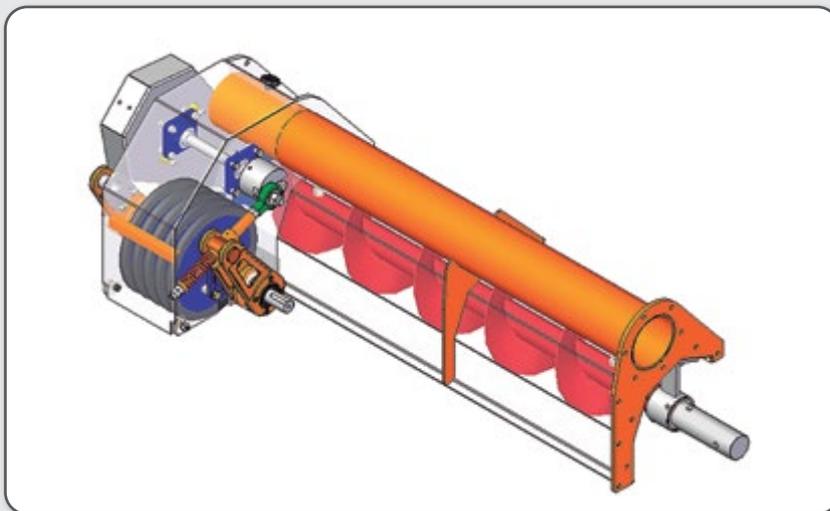
Figura 10 – Exemplo de rosca varredora com acionamento por motorreductor.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Para "varrer" o produto no fundo do silo a rosca possui um sistema de translação, conforme mostrado na figura abaixo.

Figura 11 – Exemplo de sistema de translação de rosca varredora.

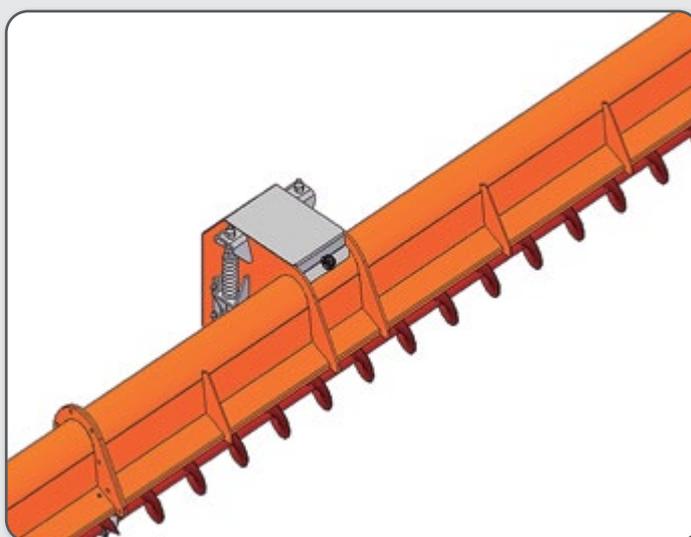


Fonte: Kepler Weber, 2013.

Esse sistema é composto por uma roda emborrachada acionada pelo próprio eixo da rosca por meio de um dispositivo de catracas que faz a rosca se deslocar até encontrar produto no fundo do silo. Ao encontrar a resistência do talude de produto a catraca pára a rotação da roda emborrachada e interrompe o movimento de translação.

Além do modelo mostrado acima, existem outros mais modernos conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Rosca varredora com sistema de tração intermediária.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

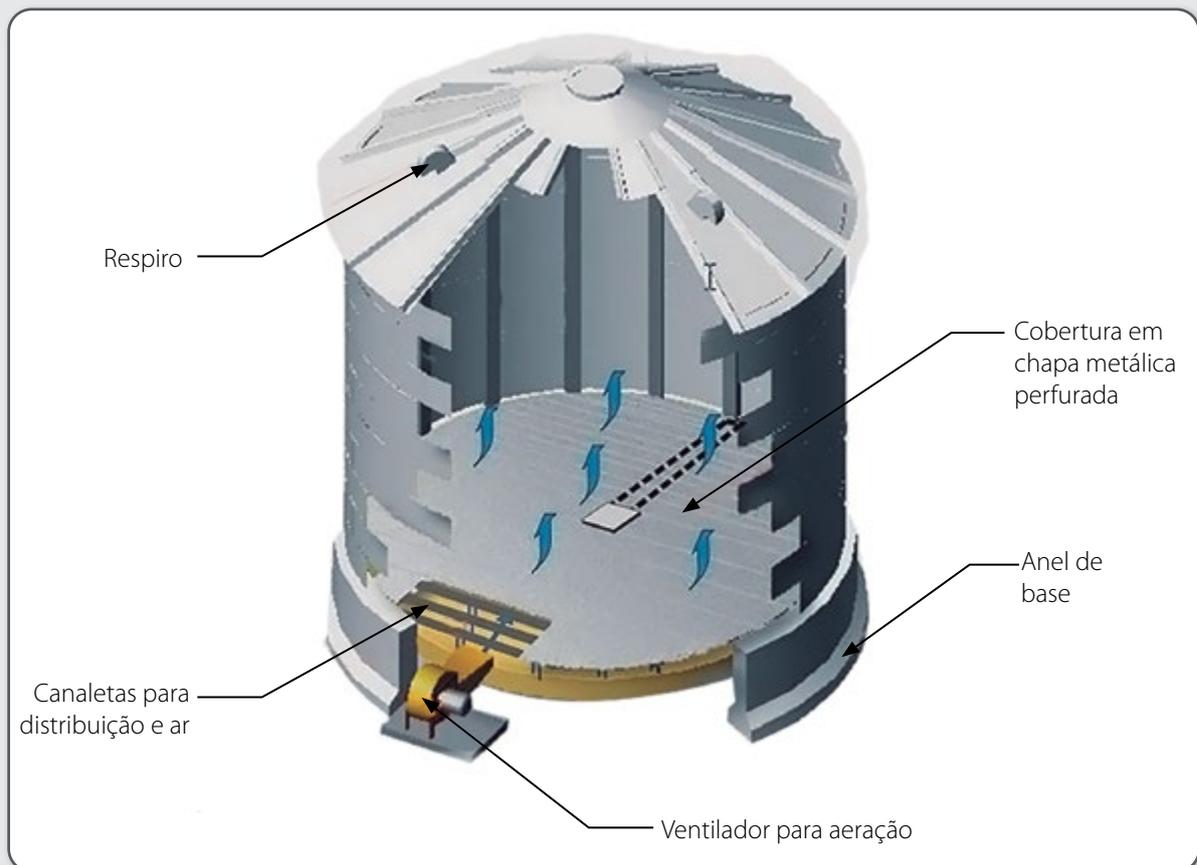
Na seção referente ao descarregamento do silo, será visto como deve ser feita a sua operação.

Aeração

Além desses itens que compõem o silo em si, é normal que exista um sistema de aeração de grãos.

Na Figura 13, tem-se um exemplo de sistema de aeração em silo metálico.

Figura 13 – Sistema de aeração de silo.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

A aeração é composta basicamente por um ventilador e um sistema de distribuição de ar com canaletas na base do silo cobertas de chapas metálicas perfuradas. Esse conjunto promove a passagem de ar pela massa de grãos armazenada sendo que, após isso, o ar sai pelos respiros existentes no telhado.

A operação e uso correto da aeração serão vistos em detalhes no capítulo referente à conservação dos grãos.

Acessórios

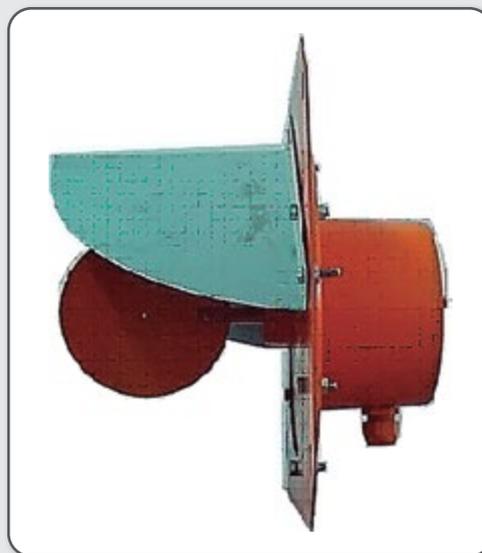
Entre os acessórios, incluem-se controle de nível, espalhador de grãos, termometria, respiros, entre outros. A seguir, descrevem-se esses itens com as suas respectivas funções e observações sobre seu funcionamento.

Controle de nível

Um item muito importante é o controle de nível do silo. Ele fica posicionado na última chapa da lateral, contando de baixo para cima, logo abaixo da borda superior da chapa. A sua função é sinalizar quando o produto atingir o nível máximo de enchimento dentro do silo.

Ele pode ser conectado aos equipamentos de transporte, de forma a interromper o abastecimento do silo quando for acionado. Os modelos mais simples são os de membrana, no entanto estes podem apresentar deficiência operacional, não respondendo quando cobertos pelo produto, por isso recomenda-se a utilização do modelo com pá rotativa, conforme o exemplo mostrado na Figura 14.

Figura 14 – Controle de nível de silo com atuação por pá rotativa.



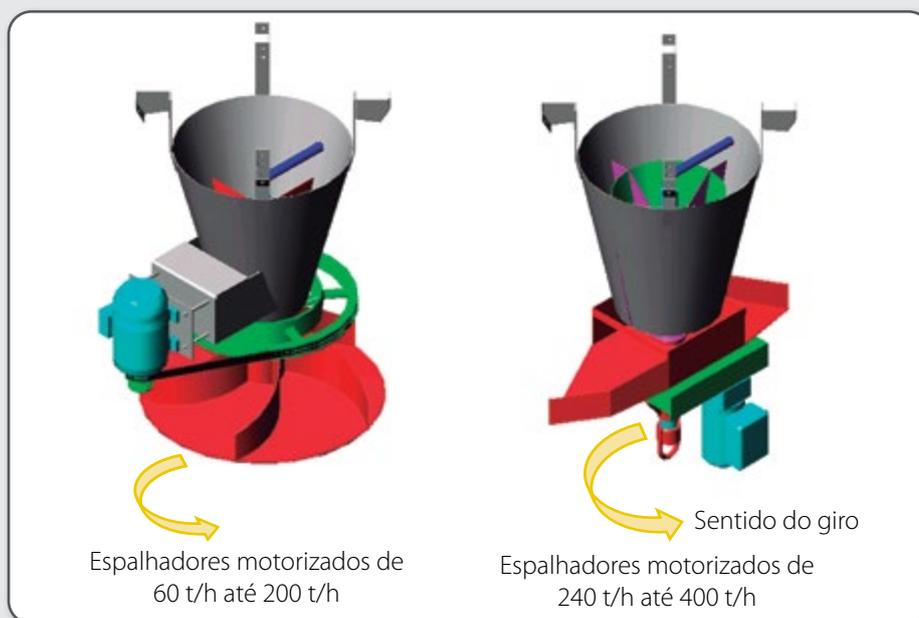
Fonte: Kepler Weber, 2013.

Espalhador de grãos

O espalhador de grãos tem a função de evitar que as impurezas presentes na massa de grãos fiquem concentradas em determinados pontos. Ele fica localizado no topo do telhado, no ponto onde ocorre a alimentação dos grãos, e por um movimento de rotação eles projetam os grãos que entram no topo do silo, fazendo então uma melhor distribuição de grãos e impurezas.

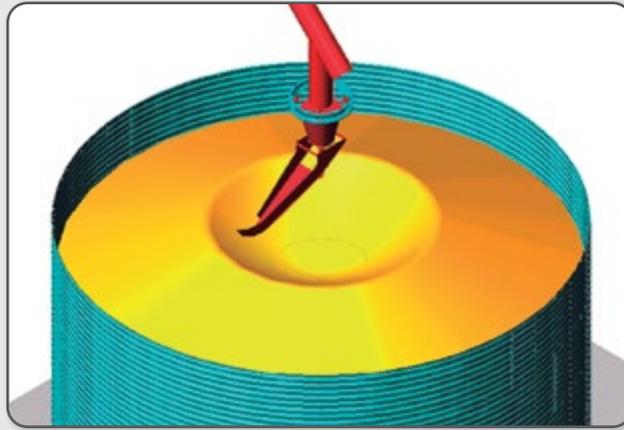
Existem basicamente dois tipos de espalhadores, os motorizados e os inerciais.

Figura 15 – Espalhadores de grãos motorizados.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Figura 16 – Espalhador inercial.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

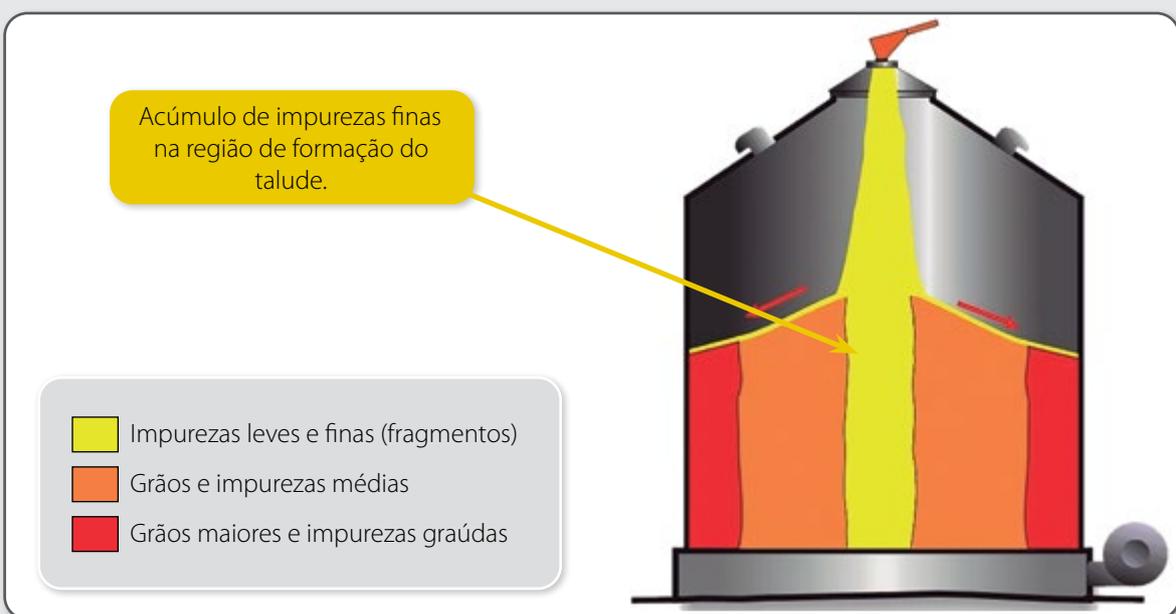
O espalhador inercial, também chamado de cinético não possui motorização, sendo que o movimento de giro é conseguido pela energia cinética dos próprios grãos que chegam ao silo já com uma determinada velocidade.

Tanto o sistema motorizado como o sistema inercial possuem vantagens e desvantagens.

O sistema motorizado requer manutenções e tem custo mais elevado, já o sistema inercial não depende de energia elétrica para seu funcionamento, porém só possui um bom desempenho se o fluxo de grãos for regular, não funcionando muito bem para baixas capacidades. O importante é que se evite que ocorra acúmulo e concentração de impurezas na massa de grãos.

A Figura 17 nos mostra o que ocorre com a massa de grãos e impurezas quando não se utiliza de forma correta o espalhador de grãos.

Figura 17 – Silo carregado sem a utilização do espalhador.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

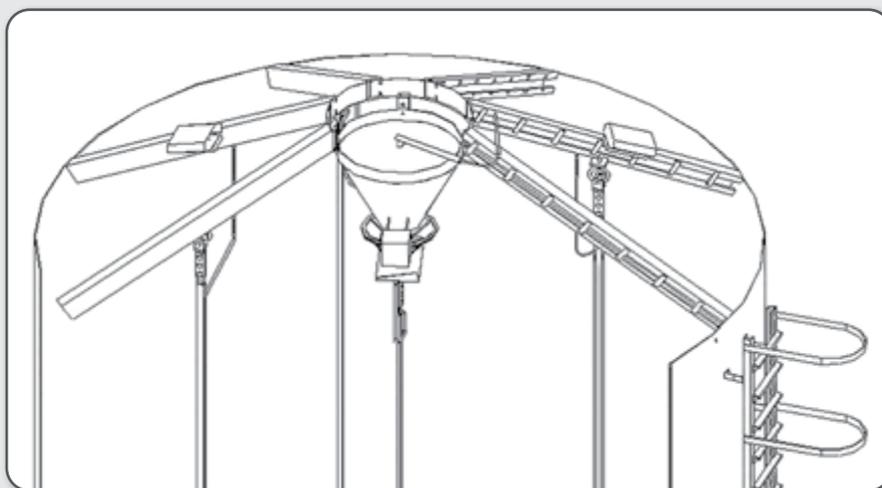
Termometria

A termometria é o sistema utilizado para auxiliar a verificar as condições dos grãos armazenados. Isso se faz por meio da leitura da temperatura dos grãos em vários pontos distribuídos dentro do silo.

Essa leitura pode ser feita localmente acoplando uma unidade de medição aos cabos existentes em cada silo, ou pode ser feita de forma remota, na sala de comando da unidade.

Os sistemas de termometria e aeração podem ser integrados visando à automatização do processo de gerenciamento das condições do produto armazenado. Os pontos de leitura (sensores) são compatíveis com o tipo de estrutura, sendo o mínimo de utilização 1 ponto a cada 150 m³ de capacidade estática. A fixação dos cabos é realizada na estrutura do telhado do silo.

Figura 18 – Fixação dos cabos de termometria.

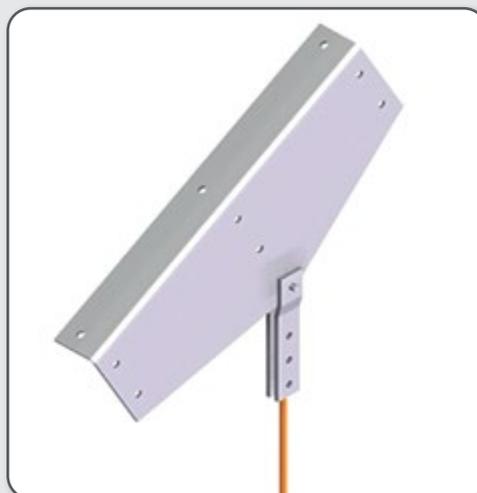


Fonte: Kepler Weber, 2013.

Figura 19 – Cabo de termometria típico como é enviado pelo fabricante para instalação, e a forma de fixação no telhado.



Fonte: Kepler Weber, 2013.



Alguns cuidados especiais devem ser tomados com relação aos cabos de termometria, conforme listado abaixo:



VERIFICAR

- antes de colocar produto no silo, fixar o cabo pendulo no piso por meio de uma corda de nylon de 4 mm, não utilizar arame;
- ao retirar o produto, não ligar a rosca varredora sem primeiro soltar a corda de fixação do cabo pêndulo;
- não enrolar e não dar nó no cabo pêndulo, pois isso danifica os sensores de temperatura e o próprio cabo.

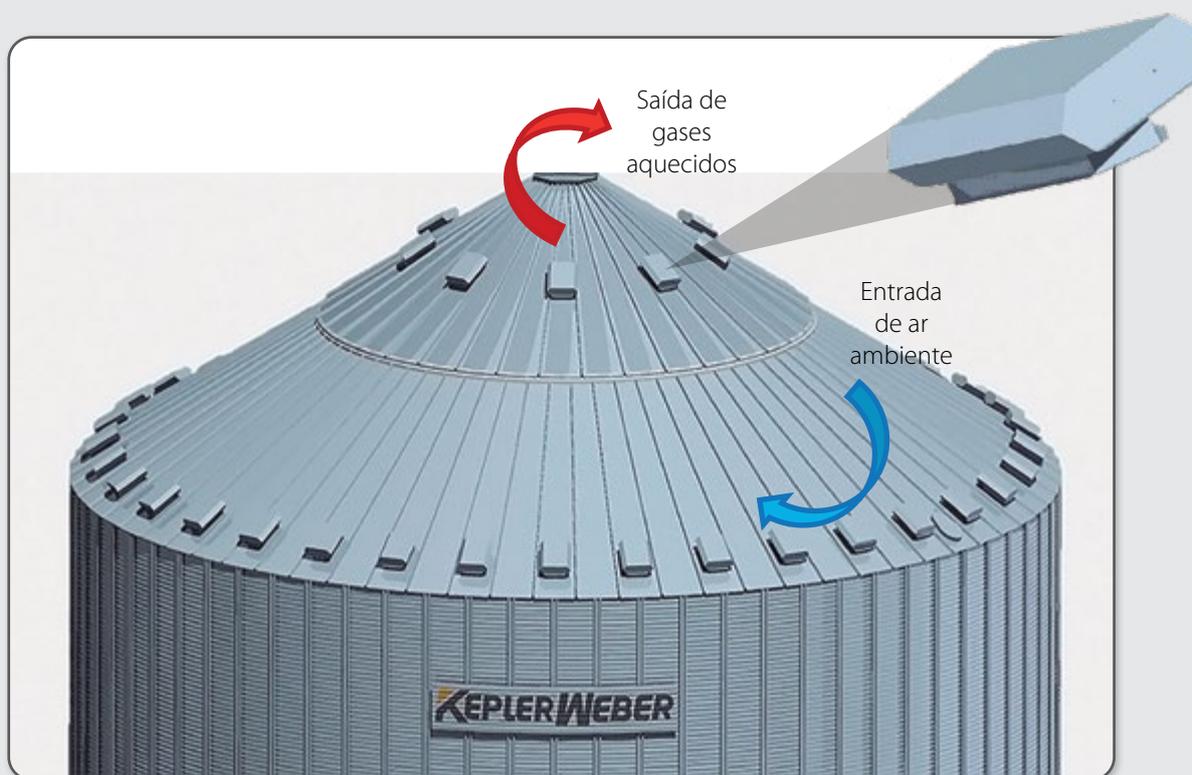
Respiros

Os respiros são instalados no telhado dos silos e servem para permitir a saída do ar aquecido que se concentra acima dos grãos e embaixo do telhado, fazendo a renovação desse ar, e também para permitir a saída (ou entrada) do ar da aeração.

No capítulo 3, que trata da conservação dos grãos, serão abordados alguns fenômenos que ocorrem na massa armazenada (página 50) e a utilidade dos respiros para auxiliar a controlar estes fenômenos.

A Figura 20 mostra a instalação de respiros no telhado de silos metálicos e mostra as correntes de ar que ocorrem devido à convecção natural.

Figura 20 – Respiros de ar e correntes de convecção.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

2.4 SILOS DE FUNDO PLANO E SILOS DE FUNDO ELEVADO

Nos silos metálicos, existem duas grandes famílias, a dos silos com fundo plano e a dos silos com fundo elevado. Apesar de ambos servirem para a guarda dos grãos, eles possuem funções distintas em uma unidade armazenadora.

Os silos com fundo plano são utilizados para a armazenagem em si por longos períodos. Os silos elevados são também chamados de silos de processo ou silos pulmão e são normalmente utilizados para abastecer os equipamentos existentes no fluxo da unidade, sendo que os grãos ficam retidos apenas por pequenos períodos. Nesses silos, o produto flui de forma constante, não ficando resíduos de grãos acumulados.

Os silos de armazenagem definitiva, além do tradicional fundo plano, podem possuir um fundo na forma de tronco de cone ou fundo tipo "Mellita" que aumentam sua capacidade estática de estocagem e facilitam a descarga. A opção por esses outros tipos de fundo de silo deve levar em consideração o tipo de terreno e os custos adicionais dos outros equipamentos, especialmente transportadores e canalizações.

2.5 OPERAÇÃO (CARGA E DESCARGA)

A seguir, são feitas recomendações para a execução das operações básicas relacionadas com os silos metálicos, especialmente no que se refere aos procedimentos de carga e descarga, e os cuidados que devem ser tomados.

2.5.1 Verificações iniciais

Antes de iniciar o carregamento do silo, é preciso realizar uma checagem geral.



VERIFICAR

- estado geral e limpeza do equipamento;
- verificar vedações e possíveis pontos de entrada de água, principalmente no telhado;
- verificar se os respiros estão desobstruídos;
- verificar funcionamento dos componentes do sistema de carregamento, especialmente do espalhador de grãos;
- verificar funcionamento do controle de nível;
- verificar fixação e funcionamento dos componentes do sistema de termometria como cabos, ligações, equipamento de medição, entre outros;
- verificar funcionamento dos componentes do sistema de aeração como ventiladores, especialmente o seu sentido de giro;
- verificar estado das chapas de aeração, se não existem empenamentos ou deformações e entupimento dos orifícios de saída de ar;
- verificar existência de corpos estranhos ou produto acumulado nos pontos de carga e descarga ou dentro dos condutos de ar;

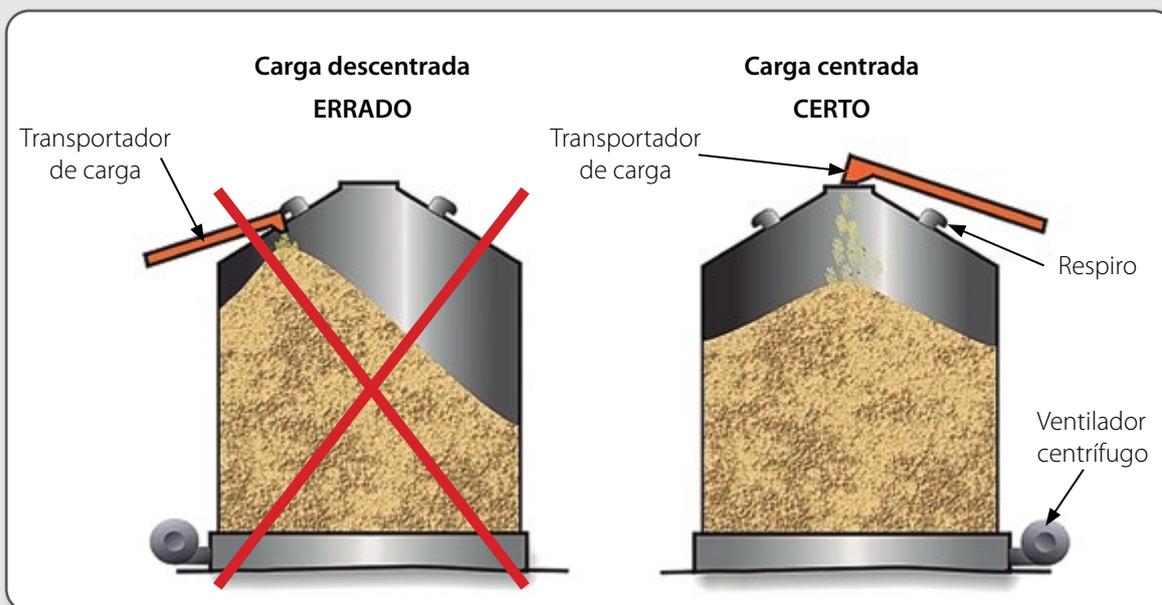
- verificar estado dos dispositivos de acesso como escadas, plataformas e portas de inspeção, inclusive a vedação das mesmas e se estão fechadas de forma correta;
- verificar funcionamento e posicionamento dos componentes do sistema de descarga como registros, roscas varredoras, entre outros.

2.5.2 Carregamento do silo

Abaixo, coloca-se uma sequência de procedimentos recomendados para realizar o carregamento do silo de forma segura e eficiente:

1. com os equipamentos de descarga desligados;
2. realizar as “verificações iniciais”;
3. verificar e prender os cabos de termometria no piso;
4. ligar elevador de carga;
5. se o produto vier direto do secador, ligar aeração no modo “insuflação”;
6. ligar demais equipamentos de transporte, conforme sequência do fluxo de carregamento;
7. encher o silo observando o nivelamento e distribuição do produto e das impurezas;
8. cuidar o nível de produto para que não ocorra transbordamento.

Figura 21 – Carregamento recomendado.



Fonte: Kepler Weber, 2013.



IMPORTANTE

No capítulo 3, referente à conservação de grãos, ver o assunto “Aeração de resfriamento” (página 75), que contém informações adicionais sobre procedimentos de carregamento do silo quando o produto vier direto do secador.

A Figura 22 mostra um silo real com ponto de carregamento em local **errado!**

Figura 22 – Carregamento errado, fora do centro do silo.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Como já mencionado, o uso de espalhador de grãos no carregamento do silo é muito importante. Ele evita a formação de regiões com maior quantidade de impurezas e concentração dos "finos" no centro do silo.

Impurezas na massa de grãos

O nível máximo admitido de impureza para uma boa conservação dos grãos é da ordem de 1%. Além da quantidade de impurezas na massa, é muito importante observar a sua distribuição na mesma, por isso o uso de espalhadores de grãos eficientes e bem regulados é de fundamental importância.

O pó e finos tendem a se concentrar no centro do silo, e isso impede a passagem do ar de aeração e, da mesma forma, outras concentrações de impurezas podem causar "bolsões" de aquecimento e deterioração.

Aliado a isso, as impurezas normalmente possuem níveis de umidade bem mais elevados que os grãos o que contribui para o rápido aquecimento da massa armazenada.

Aeração

Para que se tenha uma armazenagem segura mantendo as qualidades dos grãos, é muito importante que os silos estejam equipados com sistemas de aeração bem dimensionados, e que eles sejam operados de forma correta.

No item “Conservação”, serão vistos mais detalhes sobre os procedimentos para um bom uso da aeração. Neste momento, apenas salienta-se que, para obter o máximo desempenho do sistema, é fundamental que seus componentes mecânicos e as ligações elétricas estejam revisados e funcionando perfeitamente.

Devem ser verificados possíveis vazamentos de ar, obstruções ou qualquer anomalia que impeça o ar de passar pelos grãos. É importante também verificar se os ventiladores de aeração estão girando para o lado certo.

2.5.3 Descarregamento do silo

Da mesma forma que para a carga, abaixo coloca-se uma sequência de procedimentos recomendados para realizar a descarga do silo de forma segura e eficiente, salientando que a descarga é muito mais crítica e possui muito mais riscos que a carga:

1. com os equipamentos de descarga desligados;
2. realizar uma verificação geral nos equipamentos do fluxo de descarga;
3. ligar o transportador abaixo do silo;
4. ligar demais equipamentos, conforme sequência de descarregamento;
5. abrir **somente** o registro central de saída do silo;
6. observar se o produto chega ao seu destino sem nenhum problema
7. esvaziar o silo pelo registro central até a formação do “talude invertido”;
8. após o produto terminar de sair pelo registro central, abrir os registros embaixo da rosca varredora (RV), iniciando pelos mais próximos ao centro;
9. após descobrir a RV soltar e enrolar cabos de termometria;
10. ligar a RV **estacionada** e aguardar até esgotar o produto no centro do silo;
11. **desligar** a RV para retirar as coberturas e, depois de retiradas, ligar a RV novamente;
12. após toda a RV estar descoberta, acionar sistema de translação existente;
13. proceder a retirada do produto do fundo do silo com a utilização da rosca varredora.

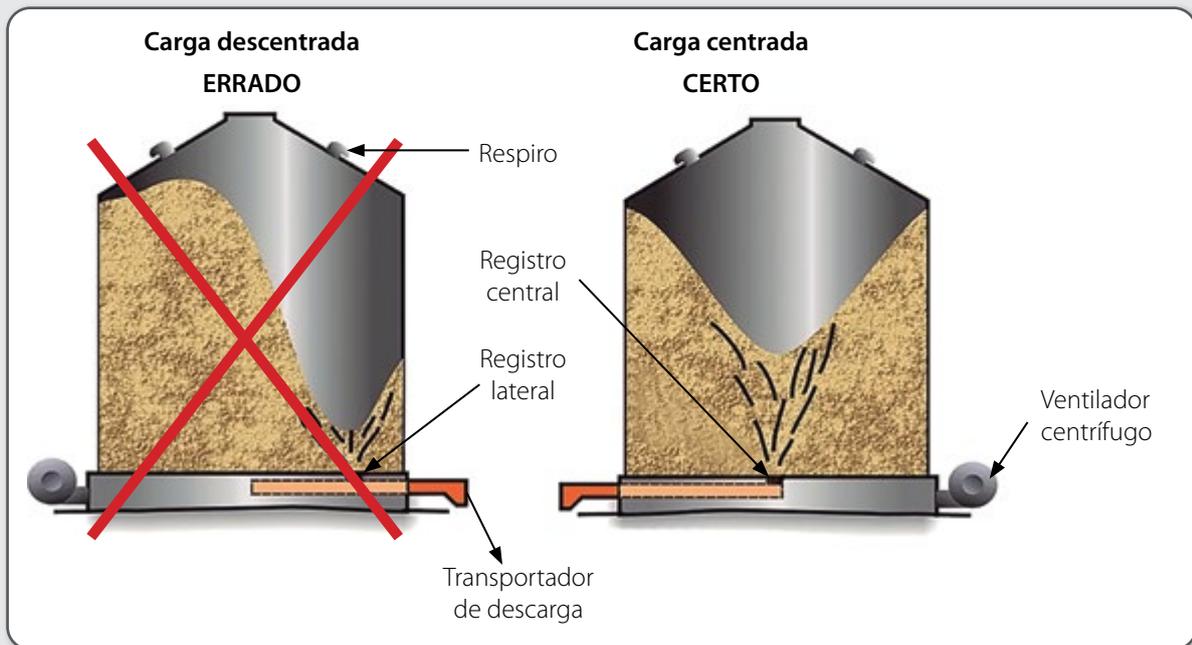
Obs. Caso a rosca varredora não possua coberturas removíveis, pular os passos 11 e 12.



IMPORTANTE

- nunca entrar no silo durante o descarregamento por gravidade;
- nunca se aproximar da rosca varredora com esta em funcionamento, mesmo que estacionada;
- nunca realizar descarga descentrada de produto, a não ser quando o silo possuir dispositivo especificamente projetado de descarga lateral;
- nunca entrar sozinho no silo.

Figura 23 – Forma correta de descarregamento do silo.



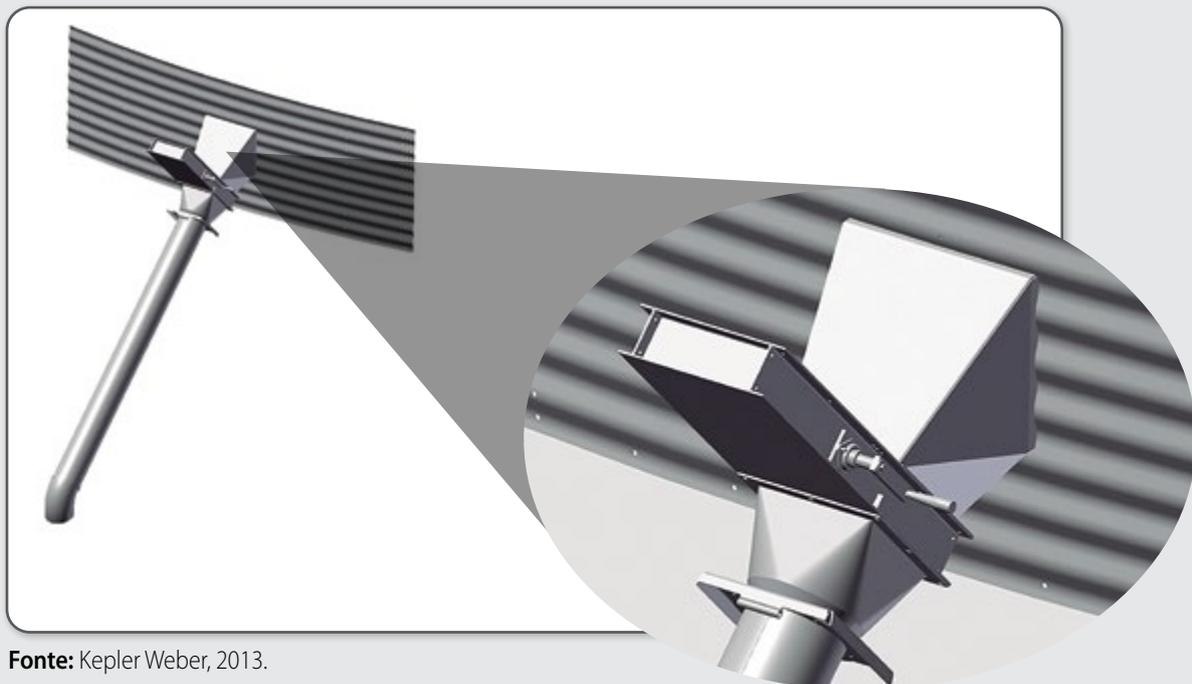
Fonte: Kepler Weber, 2013.

2.5.4 Descarga lateral

Como citamos na seção anterior, **nunca** se deve proceder à descarga de um silo fora do seu centro. A não ser que disponha de um dispositivo especialmente projetado e instalado para realizar a descarga pela lateral.

A Figura 24 mostra um detalhe desse sistema instalado em um silo metálico.

Figura 24 – Vista externa de descarga lateral.



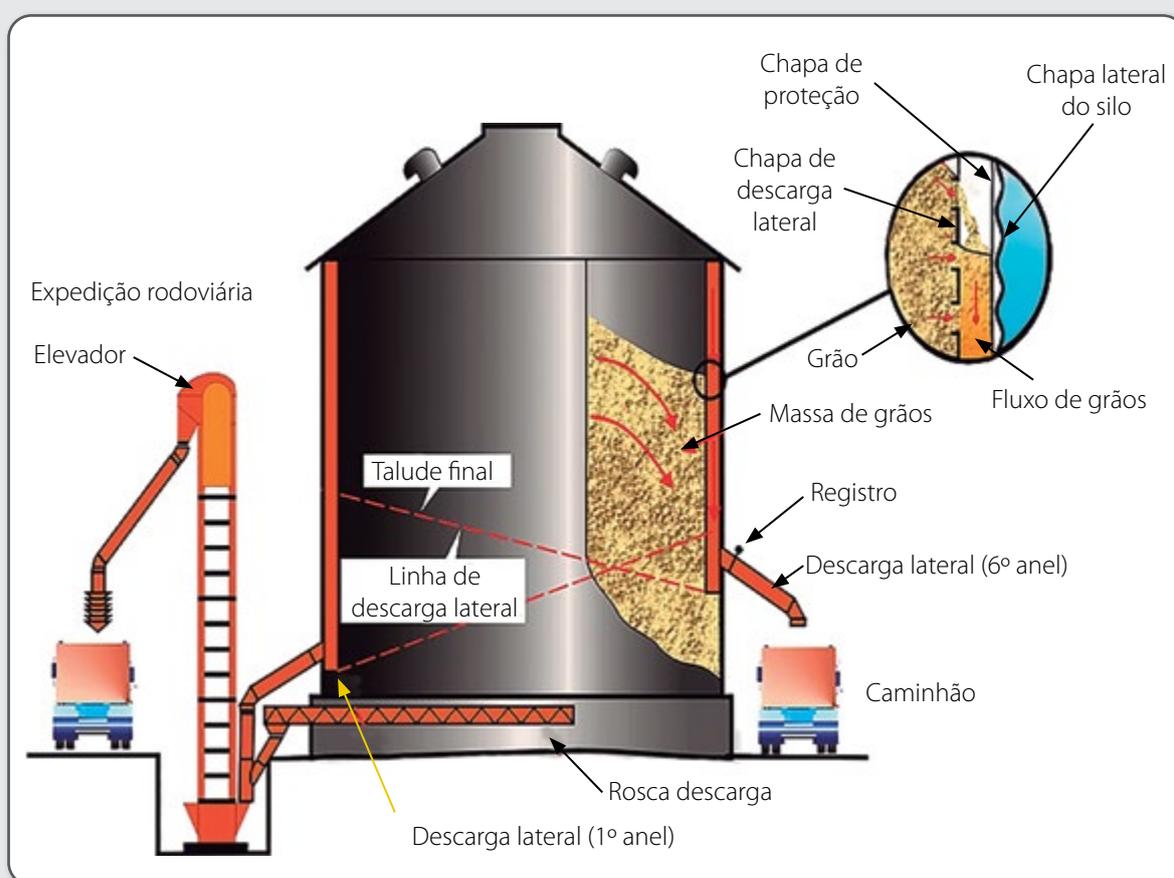
Fonte: Kepler Weber, 2013.

Porém, deve-se salientar que a descarga lateral não se limita aos elementos externos visíveis. Os componentes fundamentais para seu funcionamento estão dentro do silo, colocados ao longo da parede lateral. Sem esses elementos, a descarga lateral não terá o funcionamento adequado com sérios riscos de **queda** do silo se for utilizada.

Também salienta-se que o silo deve ser calculado, projetado e construído de forma a poder receber qualquer sistema de descarga lateral.

A instalação desse recurso em silos existentes só poderá ser feita após consulta técnica ao fabricante do silo e aprovada por ele.

Figura 25 – Opções de descarga lateral dos silos que pode ser direta no caminhão, sem a utilização do transportador, ou no pé do elevador de descarga.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Com o descarregamento lateral sendo realizado diretamente no caminhão, pode-se descarregar até 40% do volume do silo sem a utilização dos transportadores.

2.6 CUIDADOS ESPECIAIS

No Quadro 1, listam-se os problemas que normalmente podem ocorrer nos silos metálicos de grãos, suas prováveis causas e soluções recomendadas.

Quadro 1 – Situações anormais em silos metálicos de grãos .

PROBLEMA	CAUSA PROVÁVEL	AÇÃO CORRETIVA RECOMENDADA
Distribuidor de grãos não espalha	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presença de impurezas ▪ Correias frouxas ▪ Rolamentos “travados” ▪ Ligações elétricas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar e limpar. ▪ Esticar correias. ▪ Verificar/lubrificar/trocar. ▪ Revisar circuito e alimentação.
Vazamentos de grãos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transbordamento ▪ Canalizações mal 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar controle de nível. ▪ Verificar / corrigir vedações
Produto não descarrega	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Empedramento” na entrada do registro ▪ Registro emperrado ▪ Formação de pontes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desobstruir registro de saída sem entrar no silo (por baixo somente se tiver túnel). ▪ Verificar linguetas dos registros. ▪ Abrir um pouco e brevemente registro logo alo lado do central, até começar a fluir novamente. Fechá-lo imediatamente.
Entrada de água no telhado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Telhas amassadas / mal vedadas ▪ Problemas na vedação dos respiros ▪ Tampa aberta ou mal vedada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trocar telhas / refazer vedações. ▪ Revisa/refazer vedações. ▪ Verificar tampas de acesso.
Descarga desnivelada ou desparelha	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Registro errado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fechar registros fora do centro e abrir o central.
Aeração não liga	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ventilador com rotor “emperrado” ▪ Problema elétrico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar ventiladores. ▪ Verificar circuitos e ligações elétricas.
Termometria não funciona	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Problemas nas ligações dos cabos ▪ Problema na central de leitura 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisar ligações/cabos rompidos. ▪ Revisar central.
Termometria com pontos de temperatura muito elevados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pontos de leitura fora da massa de grãos ▪ “Bolsões” de impurezas e deterioração ▪ Umidade do produto muito elevada ▪ Má operação da aeração 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar pontos e descartar. ▪ Intensificar aeração, caso não resolva, transilar o produto. ▪ Ressecar produto. ▪ Verificar procedimentos conforme orientado em “Conservação”.

2.7 LIMPEZA

A limpeza dos silos é um tema de fundamental importância, mas que muitas vezes não é tratado de forma adequada, tanto internamente como em seu entorno.

Os silos, são utilizados como depósito de grãos por longos períodos e precisam estar sempre o mais limpo possível. A limpeza é muito importante para a conservação desses produtos armazenados no seu interior.

A limpeza adequada dos silos ou de qualquer equipamento é de fundamental importância para o seu bom funcionamento, durabilidade e principalmente para a **segurança**.

A falta de uma limpeza adequada nos silos é um dos principais fatores de causa de **perda de produto e acidentes!**

Listados a seguir, estão os **problemas potenciais causados por sujeira, pó, impurezas**:

- redução da vida útil do equipamento;
- mal funcionamento;
- contaminação do produto;
- mistura de produtos diferentes;
- má qualidade da armazenagem;
- aumento da ocorrência de insetos, ácaros e fungos;
- redução da qualidade dos grãos;
- perda de grãos;
- aumento no consumo de energia elétrica com a necessidade de mais horas de aeração;
- acidentes.



IMPORTANTE

Sempre antes de qualquer limpeza interna no equipamento, desligar os equipamentos de carga e descarga e retirar os fusíveis do quadro de comando.

Também deve-se avisar aos colegas e colocar cartazes no quadro de comando indicando que o equipamento não deve ser ligado em nenhuma hipótese.

O ideal é colocar cadeados que impeçam que qualquer pessoa ligue o equipamento inadvertidamente.

2.7.1 Locais e frequência de limpeza

Quanto a frequência da limpeza, recomenda-se que, sempre que houver o seu esvaziamento, antes de colocar novo produto, seja feita uma limpeza criteriosa no equipamento, porém, além disso, alguns locais devem ser limpos diariamente.

A seguir, serão relacionados os locais que devem ser mantidos limpos e em qual frequência sugere-se que a limpeza deva ocorrer.

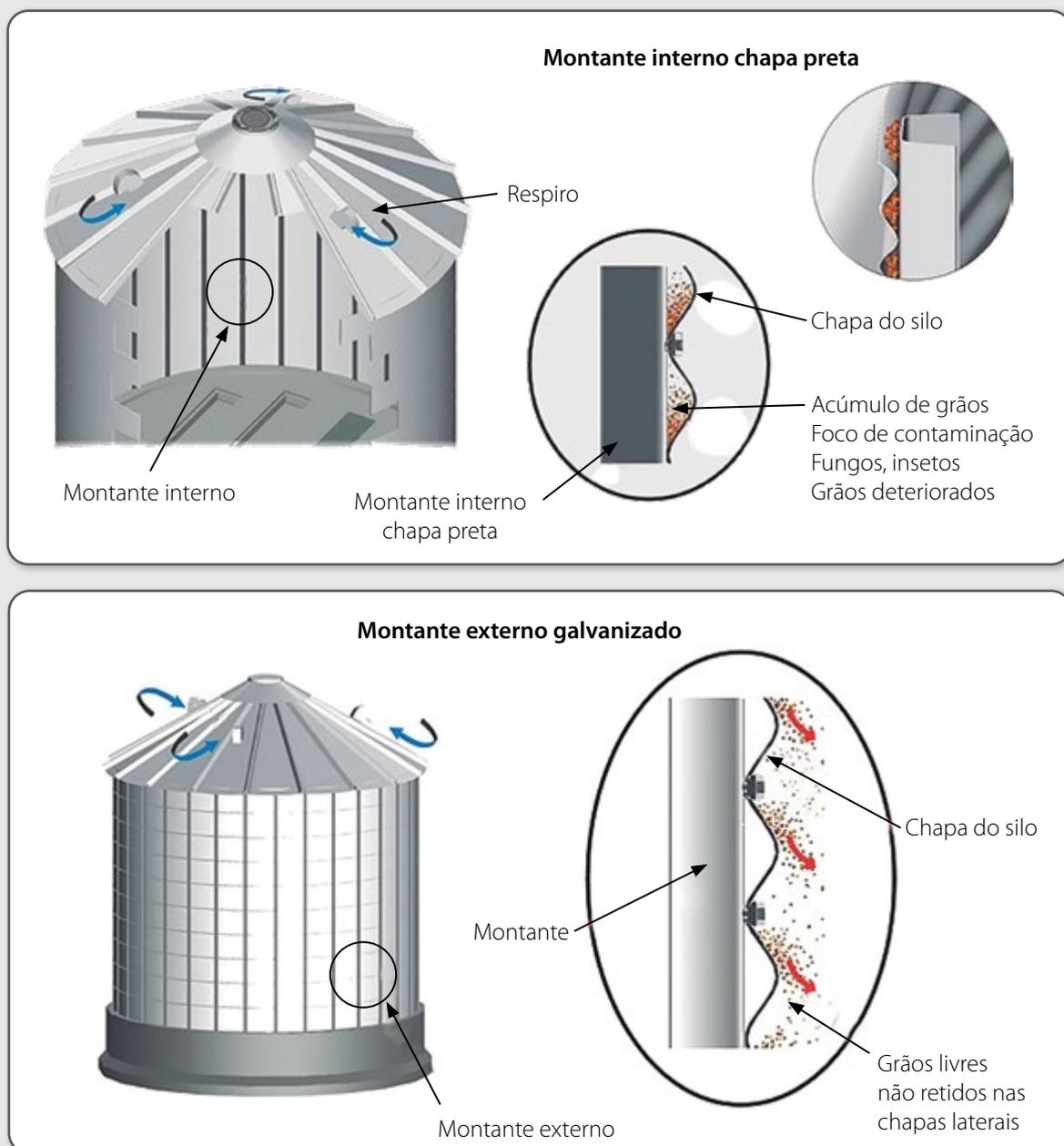
Locais a serem verificados e limpos diariamente

- em torno dos silos;
- túnel inferior;
- ventiladores de aeração;
- passadiços e passarelas.

Locais a serem verificados e limpos periodicamente

- limpeza **total** do interior do silo **sempre** que esvaziá-lo, ou antes de um novo carregamento;
- espalhador de grãos;
- telhado (**Cuidado! Observar normas de segurança**);
- rosca varredora;
- registros de saída;
- transportadores.

Figura 26 – Pontos de acúmulo de produto em silo com montantes internos (a) e silo com montantes externos (b), e que devem ser limpos após o descarregamento.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

2.8 MANUTENÇÃO

Uma manutenção adequada, utilizando peças originais de reposição e serviço autorizado aumenta a vida útil dos silos e de qualquer equipamento e, além disso, minimizam-se a probabilidade de ocorrerem “surpresas” desagradáveis durante os períodos em que o equipamento é mais que é durante a safra de grãos.

É imprescindível que se realize a leitura do “Manual do Proprietário” antes de operar com o equipamento, e também que se sigam as orientações nele contidas com relação à manutenção.

Quando ocorrer a quebra de algum componente deve-se investigar e corrigir a sua **causa**, e não apenas consertar ou substituir o item danificado.

Locais e componentes que devem ser revisados na manutenção preventiva

Quadro 2 – Pontos de verificação durante a manutenção preventiva.

COMPONENTE	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
Estrutura em geral (corpo, telhado, parafusos, montantes, entre outros)	<ul style="list-style-type: none">▪ Parafusos frouxos, a mesma verificação deverá ocorrer após a primeira carga e descarga, caso encontre parafusos frouxos, deverão ser apertados.▪ Montantes, ver o alinhamento e também se não houve deformações bem como sobreposições.▪ Inspeccionar o silo externamente e internamente observando o nível de oxidação das chapas, corrigindo se houver alguma anomalia nelas.▪ Nichos e nivelamento.
Mancais de rolamentos (todos)	<ul style="list-style-type: none">▪ Verificar estado geral dos rolamentos e caixas com relação a ruídos, folgas, vibrações, temperatura, trincas (nas caixas), entre outros.▪ Realizar a troca caso algum componente apresente sinais de desgaste ou qualquer anomalia.▪ Se estiver tudo correto, proceder a relubrificação do conjunto seguindo as orientações do Manual do Proprietário.
Borrachas e vedações	<ul style="list-style-type: none">▪ Examinar o estado geral das borrachas, se não estão danificadas ou ressecadas.▪ Proceder a substituição caso apresente qualquer anomalia.
Escadas e plataformas de manutenção	<ul style="list-style-type: none">▪ Verificar se os guarda-corpos estão em bom estado, sem sinais de corrosão e com todos os parafusos de fixação devidamente apertados.▪ Verificar se os pisos não apresentam desníveis ou “buracos” que podem causar sérios acidentes.▪ Proceder as devidas correções caso apresente qualquer anomalia.
Ventilador(es)	<ul style="list-style-type: none">▪ Verificar se os componentes internos não sofreram desgaste devido ao atrito com pó e impurezas.▪ Verificar se o rotor está balanceado.▪ Verificar vedações e possíveis fugas de ar.▪ Proceder a correção caso algum componente apresente qualquer anomalia.
Descarga	<ul style="list-style-type: none">▪ Verificar se o sistema funciona sem qualquer impedimento ou obstrução, e se as linguetas dos registros se deslocam normalmente▪ Verificar o estado das linguetas, se não apresentam deformações, empenamentos ou desgaste excessivo.▪ Verificar se os cilindros pneumáticos dos registros funcionam normalmente.▪ Verificar os rolamentos e partes girantes.▪ Verificar todos os equipamentos de descarga.▪ Proceder a correção caso algum componente apresente qualquer anomalia.

COMPONENTE	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
Espalhador de grãos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar se os componentes não sofreram desgaste devido ao atrito com grãos. ▪ Verificar se o rotor está balanceado. ▪ Verificar motor, rolamentos e correias. ▪ Proceder à correção caso algum componente apresente qualquer anomalia.
Rosca varredora	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar a união das calhas. ▪ Verificar o desgaste do caracol e da roda emborrachada. ▪ Verificar se o caracol não está com muita flecha (torto/empenado). ▪ Verificar o nível de óleo da caixa redutora. ▪ Proceder à correção caso algum componente apresente qualquer anomalia.
Termometria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar uma revisão geral de todo o sistema sempre antes de carregar o silo. ▪ Verificar se todos os pontos acusam leitura. ▪ Proceder à correção caso algum componente apresente qualquer anomalia.

2.9 CUIDADOS QUE DEVEM SER TOMADOS COM A SEGURANÇA EM SILOS

Sempre antes de qualquer atividade em altura ou espaços confinados, observar as normas de segurança.

Também deve-se avisar aos colegas e colocar cartazes no quadro de comando indicando que o equipamento não deve ser ligado em nenhuma hipótese. O ideal é colocar cadeados que impeçam que qualquer pessoa ligue o equipamento inadvertidamente.

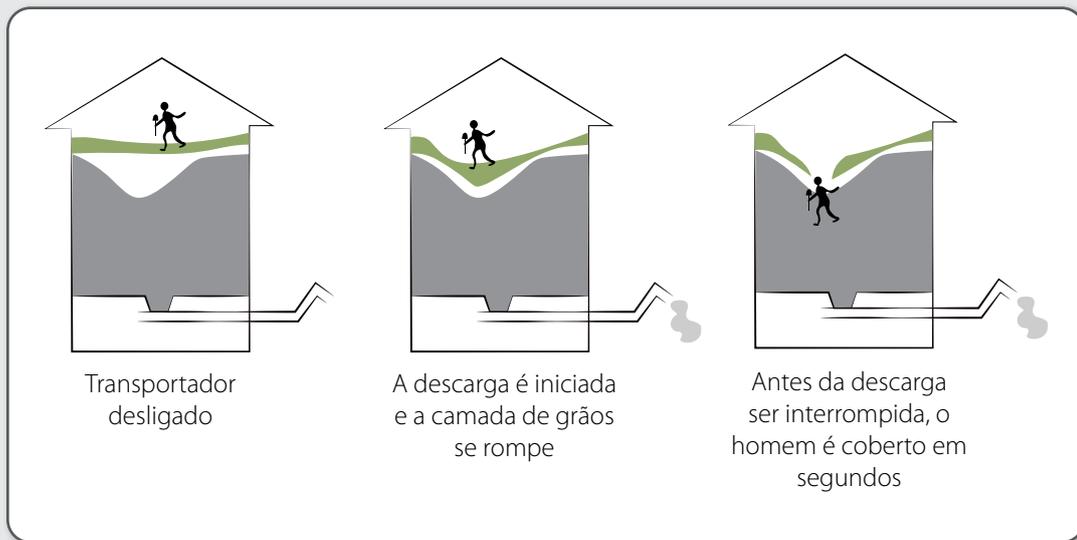
Qualquer imprudência pode causar graves acidentes. Um acidente, por menor que seja, pode trazer sérias consequências para o resto da vida.

Devido ao elevado número de acidentes, fatais inclusive, que infelizmente ainda ocorrem nos silos de grãos, salienta-se novamente alguns aspectos operacionais muito importantes ligados diretamente com a **segurança**.

Cuidados ao entrar no silo:

- desligue todos os equipamentos elétricos;
- assegure o não acionamento dos equipamentos de carga/descarga enquanto da presença de pessoas no interior do silo.
- buscar conhecer o histórico de descargas do silo:
- verificar a presença de resíduos de fumigantes e se já foi realizada a devida aeração;
- evite a parte central do silo, sob risco de quedas em “falsas pontes”;
- evite caminhar sobre a massa de grãos, caso seja imprescindível, usar cinto de segurança;
- nunca entre em um silo em condições inseguras para recolher sondas de grãos ou ferramentas de trabalho enquanto o sistema de descarga estiver ligado.

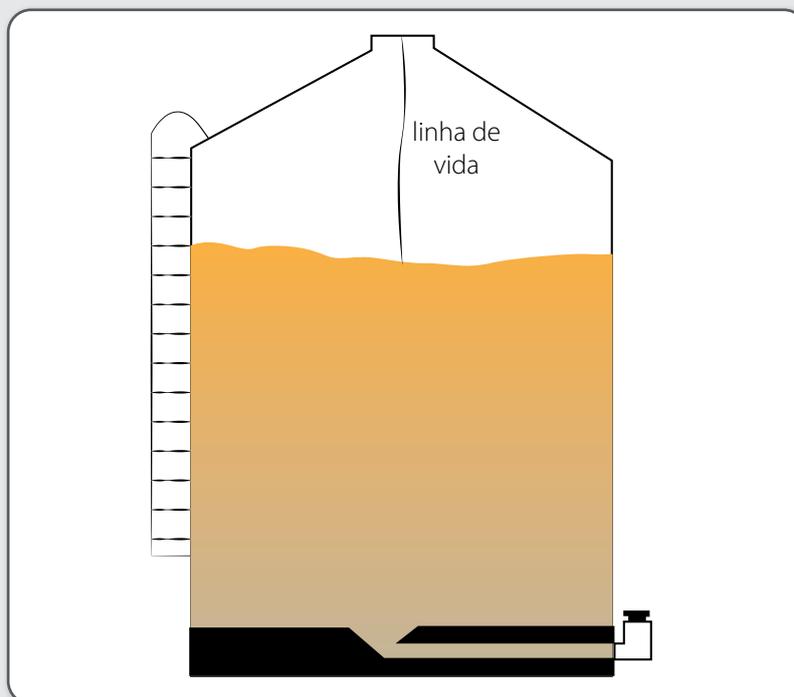
Figura 27 – Situações perigosas e procedimentos **incorretos**.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

É obrigatório seguir as exigências descritas na Norma Regulamentadora 33 (NR 33) para entrada no silo, pois o interior do silo é um espaço confinado.

Figura 28 – Procedimento correto para entrar em um silo.



Fonte: Kepler Weber, 2013.



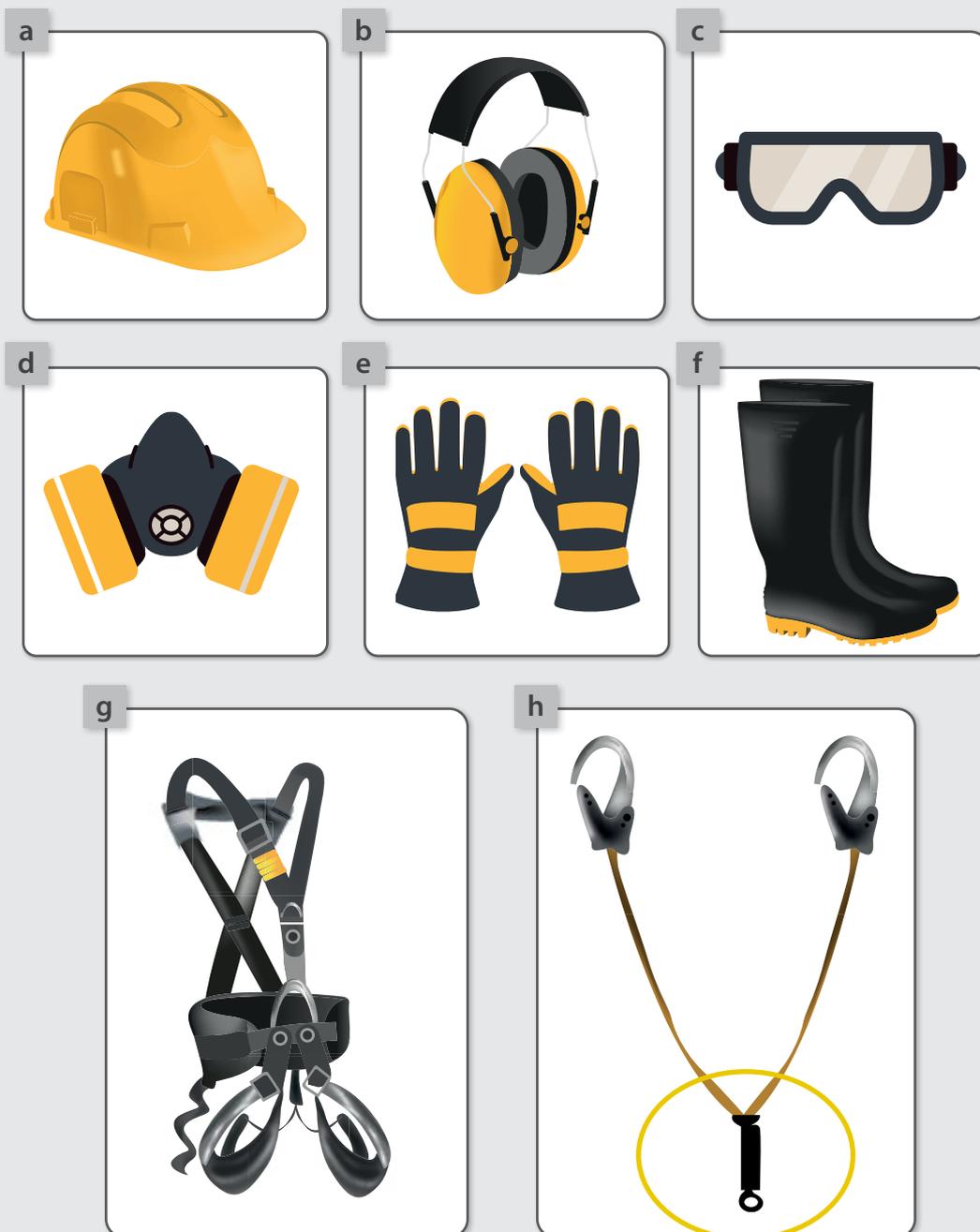
IMPORTANTE

Evitar ao máximo entrar no silo com produto. Fazer isso apenas em último caso e tomar todas as providências de segurança necessárias.

Sempre utilize os EPIs indicados para o trabalho específico, como:

- cintos, trava-quedas, entre outros, para trabalhos em altura;
- botinas, luvas e óculos de segurança (em todos os trabalhos);
- máscaras para espaços confinados;
- protetores de ouvido para locais com ruído.

Figura 29 – EPIs recomendados para trabalhos em silos: capacete (a), protetor auricular (b), óculos de segurança (c), respirador (d), luvas (e), botas de segurança (f), cinto de trabalho em altura (g) e talabarte (h).



Fonte: Kepler Weber, 2013.

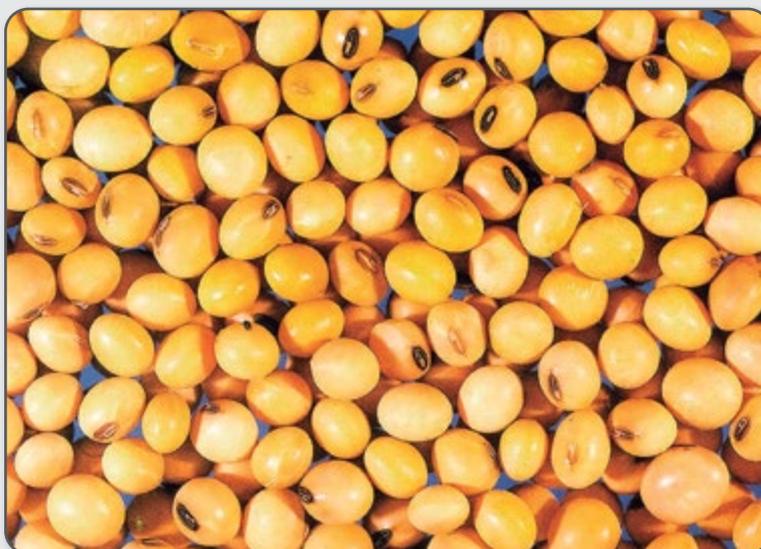
3 CONSERVAÇÃO DE GRÃOS

Este capítulo trata dos aspectos referentes aos processos que ocorrem em uma massa de grãos armazenada, assim como, das ferramentas e procedimentos recomendados para conservar os grãos com a melhor qualidade possível, mais próxima daquela de quando foram recebidos.

Serão apresentados os equipamentos que se destinam à guarda dos grãos e as operações que se referem à sua conservação.

As Figuras 30 e 31 apresentam grãos com qualidade diferente, sendo que o desafio é fazer com que, ao final do tempo de armazenagem, os grãos estejam nas condições semelhantes aos da Figura 30.

Figura 30 – Grãos saudios.



Fonte: Razêra, 2007.

Figura 31 – Grãos com sinais de deterioração.



Fonte: Razêra, 2007.

3.1 PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO DE GRÃOS

Na armazenagem de produtos vegetais, como grãos, o máximo que se consegue fazer é manter as suas qualidades originais, de antes da armazenagem, e para isso, o controle de alguns fatores é de fundamental importância.

Nos silos de armazenagem, podem-se conseguir as condições adequadas, desde que todo o sistema seja bem dimensionado e operado. Aspectos como qualidade inicial dos grãos, presença de insetos, fungos, umidade e temperatura dos grãos são muito importantes nesse processo.

Para que se consigam manter esses fatores dentro dos desejados, é preciso ter uma unidade de recebimento e armazenagem devidamente dimensionada, projetada e construída conforme recomenda a boa técnica. Não se pode imaginar que equipamentos deficientes e de baixa qualidade darão o resultado final esperado para o produto.

Todo o processo desde a recepção nas moegas, passando pelos equipamentos de transporte, limpeza e secagem e por fim a armazenagem nos silos requer cuidados especiais e pessoal treinado e habilitado, pois de outra forma não se conseguirá assegurar que ao final do período de armazenamento, que o grão tenha a mesma qualidade inicial de quando foi recebido.

Quanto aos silos, já colocamos que devem ser equipamentos de boa qualidade que impeçam a entrada e proliferação de animais (roedores, pássaros, entre outros), e que também nos permitam manusear os grãos de forma adequada, e realizar os procedimentos preventivos e corretivos necessários como aeração ou até transilagem.

Outro fator muito importante e já citado é a limpeza e higienização de toda a unidade, pois o acúmulo de produto, sujeiras, são fatores extremamente nocivos servindo de criadouro e multiplicador de insetos, roedores, fungos, aves, entre outros.

Ou seja, a limpeza de uma unidade de armazenagem de grãos é um dos itens mais importantes em todo o processo.

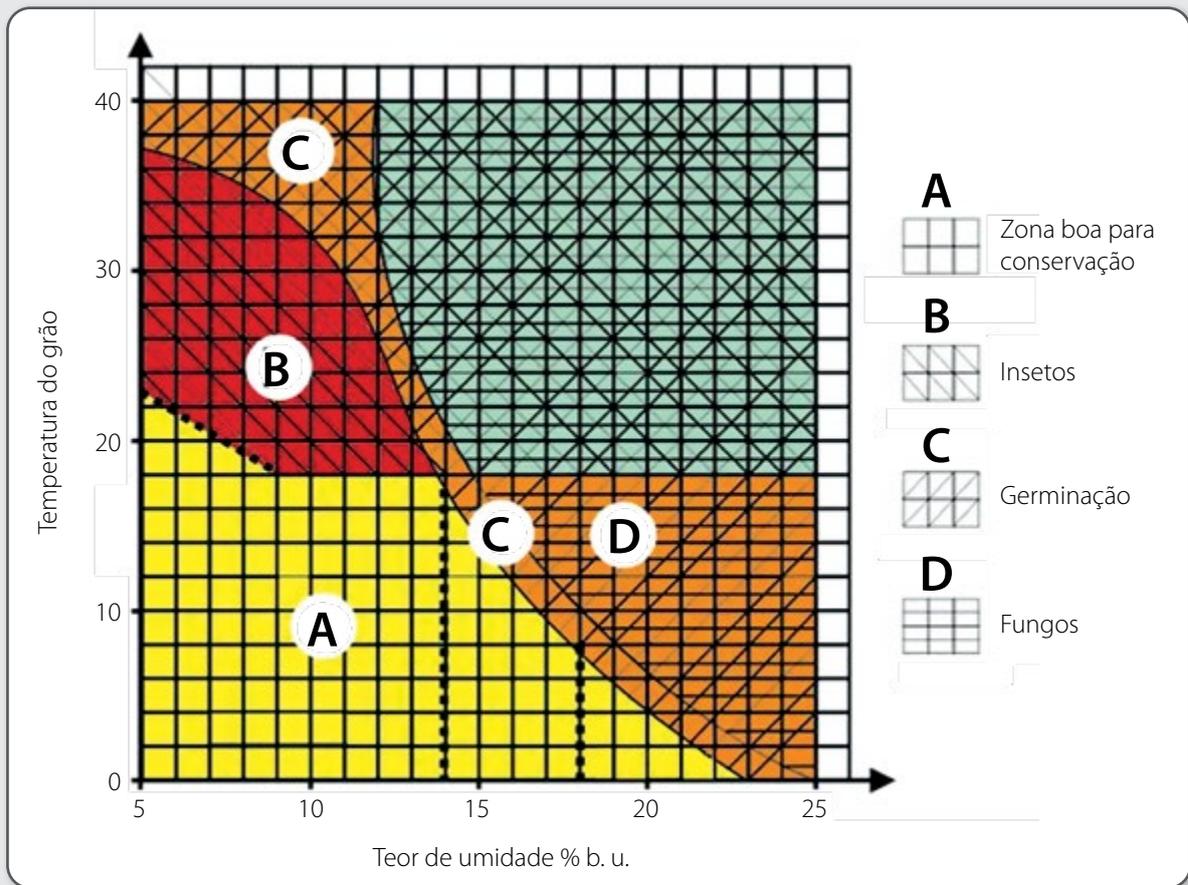
É importante lembrar que a armazenagem **nunca** melhorará a qualidade do produto.

Partindo do princípio que a unidade armazenadora está conforme os padrões colocados acima e que os grãos não sofreram danos nos processos anteriores de transporte, limpeza e secagem, apresentam-se os aspectos que julgamos os mais importantes para uma boa armazenagem. Esses aspectos são:

- condições iniciais dos grãos no que se refere à sua qualidade inicial, umidade, conteúdo de impurezas e temperatura da massa de grãos;
- condições ambientes durante a safra e nos períodos durante a armazenagem, e incluem temperatura ambiente e umidade relativa.

A partir do exposto, apresenta-se um gráfico que mostra o relacionamento entre alguns destes fatores e que é fundamental para orientar uma boa armazenagem.

Figura 32 – Gráfico condições de armazenagem.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Analise-se o que este gráfico informa: no eixo "x" tem-se o teor de umidade da massa de grãos expressa em % base úmida (b.u.), e no eixo "y" a temperatura em °C.

A zona "A" na cor amarela representa as condições ideais para uma boa conservação dos grãos. Chama-se a atenção para o ponto de interseção em que se tem a temperatura dos grãos com 18 °C e teor de umidade de 14%.

Pode-se ver que em condições em que se tenha menor umidade que 14% e temperatura abaixo dos 18 °C se está na região recomendável. Isso ajuda a explicar porque 14% de umidade é um parâmetro de comercialização como já citado no início desta cartilha.

Salienta-se que mesmo para umidades maiores que 14% é possível ficar dentro da zona recomendada de boa conservação, porém isso só ocorre se houver uma diminuição na temperatura da massa de grãos.

Por exemplo, pelo que esse gráfico mostra, até se poderia armazenar grãos com 18% de umidade, desde que a sua temperatura fosse inferior a 8 °C.

Porém, já nesse ponto vamos ressaltar que não se recomenda a armazenagem de grãos por longos períodos com teores de umidade acima de 14%, mesmo com temperaturas mais baixas, e mais adiante será explicado o porquê disso.

Pode-se até afirmar que 14% já seria um teor de umidade alto em demasia para armazenagem segura de muitos grãos.

Em países de clima frio, onde as temperaturas após a colheita da safra de grãos ficam muito baixas e até mesmo negativa, as preocupações com a conservação são bem menores do que em países de clima tropical e subtropical, como é o caso do Brasil.

Continuando a análise, percebe-se que a zona "B" é onde ocorre o desenvolvimento de insetos. Não se limita à região em cor vermelha, mas sim toda a região do gráfico hachurada, conforme a legenda.

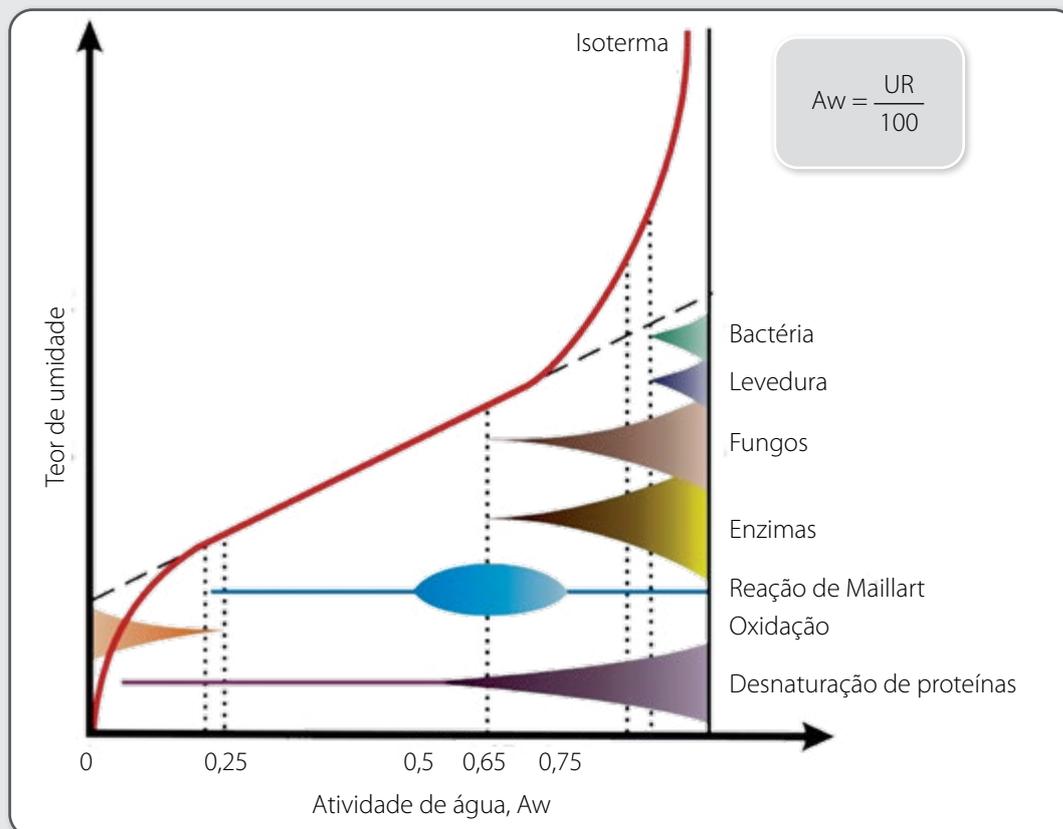
Para massas de grãos armazenados que se encontram nas condições da zona "C", ocorrerá o início o processo de germinação desses grãos o que não é desejado durante a armazenagem.

Já para os grãos na zona "D" ocorrerá o desenvolvimento de fungos.

Salienta-se que as zonas "B", "C" e "D" não são limitadas pela cor no gráfico (vermelho, laranja e verde), mas sim pelas hachuras conforme a legenda.

O gráfico apresentado na Figura 33 mostra o que ocorre com os grãos armazenados de acordo com o critério de "atividade de água" (A_w).

Figura 33 – Deterioração de grãos x atividade de água.



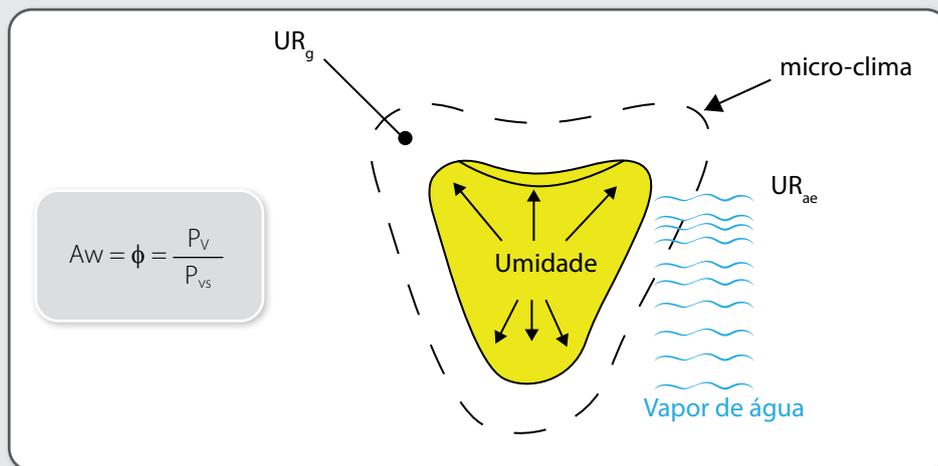
Fonte: Kepler Weber, 2013.

Atividade de Água ou Atividade Aquosa (A_w) é um índice utilizado para expressar a disponibilidade de água na camada delgada de ar junto à superfície de produtos de origem animal ou vegetal.

Matematicamente, a atividade aquosa é a razão entre a pressão de vapor do microclima e a pressão de vapor de saturação à temperatura de bulbo seco.

Reação de Maillard é a reação de escurecimento não enzimático.

Figura 34 – Representação do referido microclima em volta de um grão e a equação da atividade de água.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Pode-se observar na Figura 33 que quanto maior a atividade de água, maior será a deterioração dos grãos, por diversos fatores.

Esse conceito que utiliza a atividade de água é bem mais recente do que o gráfico da Figura 32.

Porém, por questões práticas, vai-se utilizar como base o gráfico da Figura 32 que nos parece de entendimento mais fácil e que ainda é válido e amplamente utilizado.

3.2 FENÔMENOS QUE OCORREM NA MASSA DE GRÃOS ARMAZENADOS

Quando se tem uma grande quantidade de grãos reunidos em um local ou recipiente de armazenagem, o comportamento dessa massa passa a ser diferente do que seria se houvesse apenas um ou até mesmo alguns poucos grãos reunidos.

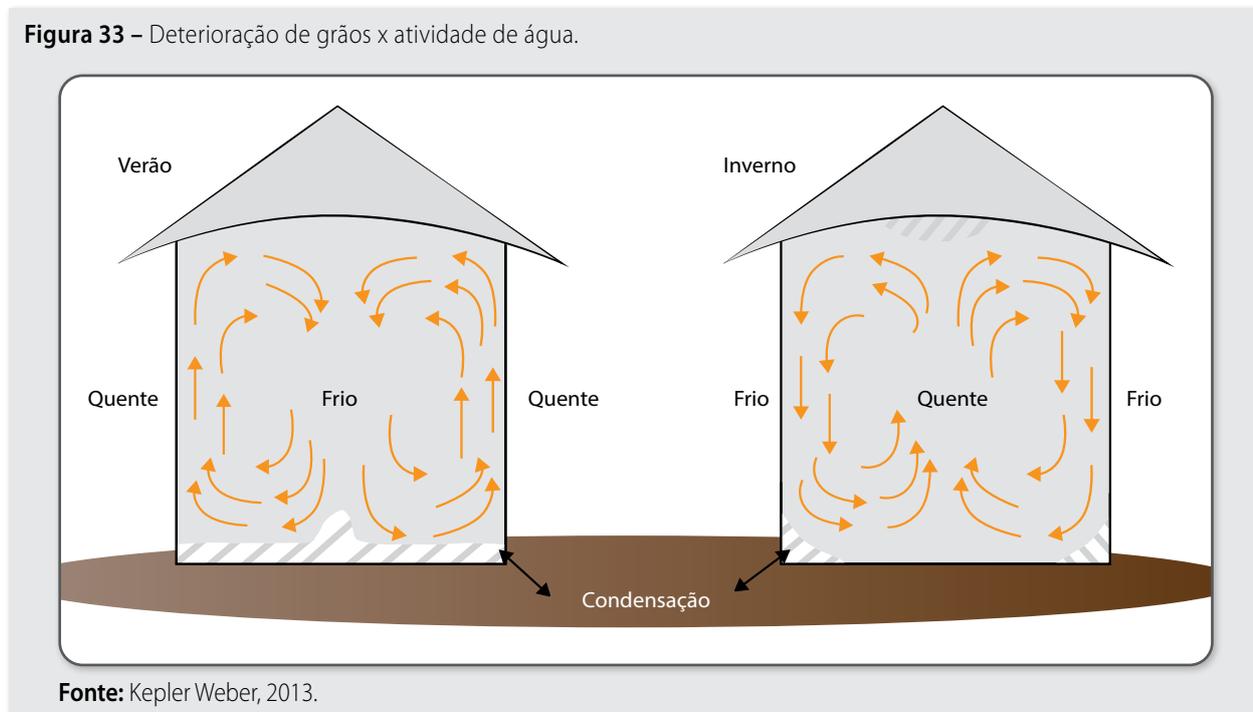
Nesta seção, mostram-se quais fenômenos podem ocorrer quando se coloca essa grande quantidade de grãos dentro de silos ou armazéns, e como eles interagem com o ambiente.

Neste momento, são descritos os fenômenos que ocorrem e os problemas que podem acarretar. Posteriormente, serão indicadas quais ações podem e devem ser tomadas para evitar os referidos problemas.

3.2.1 Correntes de convecção

A Figura 35 mostra o que acontece com o ar e umidade dentro de silos que contém grãos conforme as diferenças de temperaturas entre grãos no interior do silo e o ar ambiente externo.

Figura 35 – Representação das correntes de convecção em um silo.



No silo da direita, tem-se uma situação em que o ambiente está mais frio que a massa de grãos, o que ocorre normalmente no inverno. No silo da esquerda, tem-se a situação oposta, em que os grãos no interior do silo estão com temperatura mais baixa que o ar ambiente.

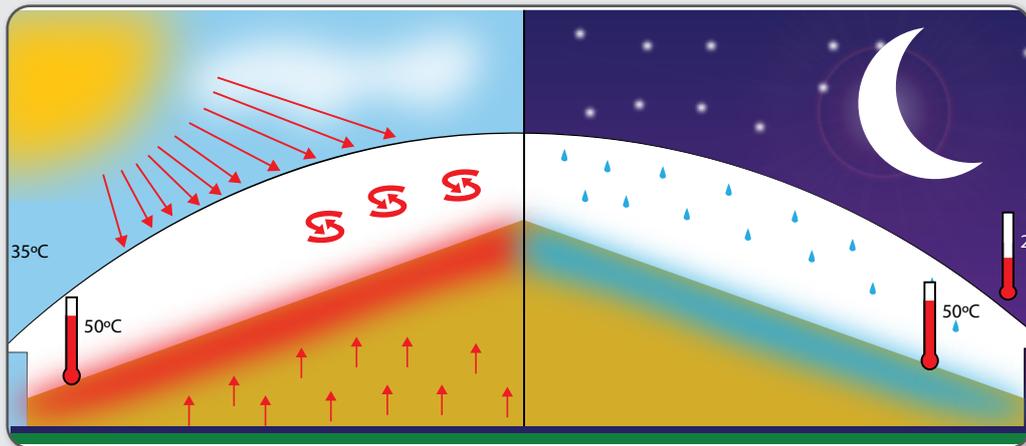
Como se sabe que o ar frio desce e o ar quente sobe, fica fácil entender que esses gradientes de temperatura, tanto em um caso como no outro, criam correntes de convecção de ar dentro dos silos.

Essas correntes de ar são indesejadas, pois elas carregam umidade na forma de vapor, o qual quando encontra uma superfície ou região mais fria se condensa tornando-se água em estado líquido. Isso causa uma série de problemas aos grãos armazenados.

Se for considerado que esse aumento da presença de água, em certas regiões do silo representa um umedecimento dos grãos e aumento da atividade de água, pode-se entender que estas são regiões extremamente suscetíveis à deterioração.

A Figura 36 ilustra o mesmo fenômeno, porém representando um armazém graneleiro e, em vez de inverno e verão, tem-se as condições do ambiente para dia e para noite.

Figura 36 – Condensação em armazéns graneleiros.



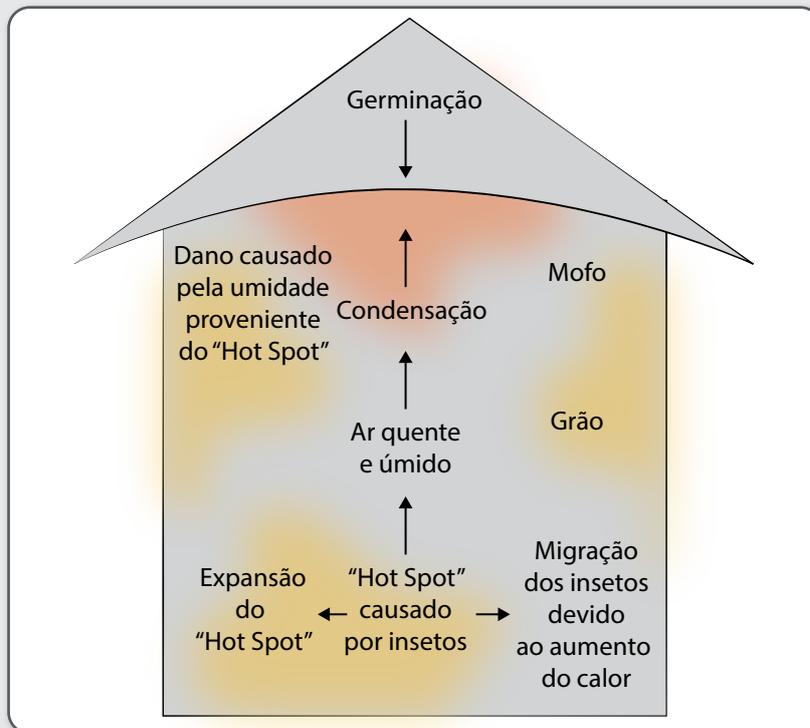
Fonte: Kepler Weber, 2013.

Na Figura 36, pode-se observar que literalmente "chove" dentro do armazém no período noturno. Isso devido ao fato de que o ar existente entre o talude de grãos e o telhado do armazém fica carregado de umidade durante o dia, umidade esta trazida pelas correntes de convecção.

À noite, quando a temperatura ambiente cai, a umidade contida nesse ar se condensa na parte interna do telhado e se precipita sobre os grãos.

3.2.2 Foco de aquecimento

Figura 37 – O que pode ocorrer em um silo de grãos quando se tem um foco de aquecimento.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

A Figura 37 indica que o foco de aquecimento (*hot spot*) foi causado pela atividade de insetos. Porém, salienta-se que esse aquecimento pode ter outras causas sendo que uma delas pode ser a própria atividade biológica dos grãos, como se verá adiante.

O que se deseja salientar nesse caso é que um ponto de aquecimento na massa poderá causar diversos fatores colaterais indesejados, e isso se propagar para outros pontos dentro do silo.

3.2.3 Desenvolvimento de insetos

Figura 38 – Exemplos de inseto em grãos armazenados e de grãos danificados por insetos.



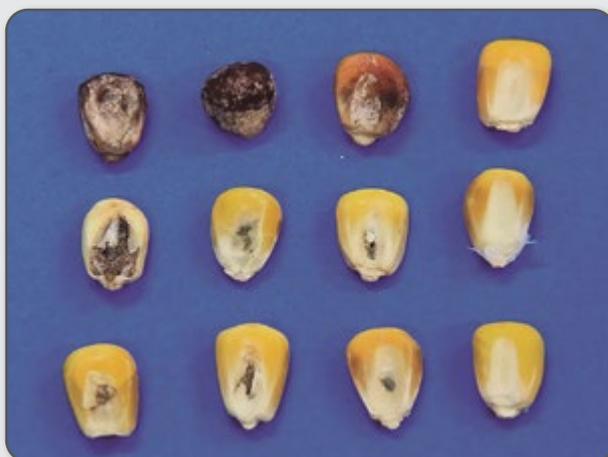
Fonte: Razêra, 2014.

Em uma massa de grãos armazenada, muitas vezes tem-se as condições necessárias e até ideais para promover o desenvolvimento de insetos. A presença de alimento abundante, aliada a determinadas condições de temperatura e umidade, é um fator que estimula o seu desenvolvimento.

3.2.4 Desenvolvimento de fungos

Da mesma forma que a massa de grãos é ambiente propício para proliferação de insetos, ela pode ser também um excelente hábitat para os fungos.

Figura 39 – Exemplo de dano causado por fungos em grãos armazenados (grãos mofados).



Fonte: Razêra, 2014.

Deve-se salientar que os fungos e insetos que se desenvolvem na armazenagem são espécies diferentes dos fungos e insetos que ocorrem no campo antes da colheita. Porém, se os grãos já sofreram danos devido à presença de fungos ou insetos no campo, estes danos serão um caminho que poderá levar à grandes perdas de qualidade durante a armazenagem.

Além da perda do produto em si, um problema grave que pode ocorrer com o desenvolvimento de fungos é a contaminação dos grãos por micotoxinas, que são as toxinas produzidas pelos fungos. Um exemplo disso é a aflatoxina, que causa a aflatoxicose e é produzida pelos fungos da família dos *Aspergillus*, como *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* e *Aspergillus parasiticus*.

A aflatoxina foi descoberta em 1960 na Inglaterra quando ocorreu uma elevada mortalidade de aves (perus) que haviam sido alimentados com produtos derivados do amendoim e que estavam contaminados com aflatoxina.

A exposição a altas concentrações de aflatoxinas produz graves danos no fígado tais como necrose, cirrose hepática, carcinoma ou edema. A capacidade de absorção e processamento de nutrientes é gravemente comprometida.

A exposição crônica a níveis subcríticos de aflatoxina aumenta a probabilidade de desenvolvimento de câncer hepático.

A Tabela 1 mostra o desenvolvimento dos fungos conforme o teor de umidade dos grãos armazenados.

Tabela 1 – Desenvolvimento fúngico do trigo em umidade constante e temperatura variável.

Umidade grãos %	Colônias de fungos %
12,3	0,05
13,6	0,1
13,8	0,1
14,5	0,4
15,4	4,8
16,3	209,0
18,5	2.275,0
20,8	11.300,0
25,2	37.500,0
30,5	63.500,0

Fonte: Milner e Geddes, 1947.

Percebe-se que, de acordo com a Tabela 1, conforme aumenta o teor de umidade dos grãos, também aumenta a quantidade de colônias de fungos. Se, por exemplo, a umidade se elevar de 12,3% para 13,6%, que significa 0,9% a mais de umidade, as colônias **dobram** de quantidade saindo de 0,05% para 0,1%.

Porém, se for comparada a quantidade de colônias de fungos para as umidades de 14,5% e 15,4%, novamente uma diferença de 0,9%, as colônias aumentam de 0,4% para 4,8%, o que significa uma diferença de **12 vezes** mais.

Seguindo na análise dos dados da Tabela 1, observa-se que grãos com 16,3% de umidade teriam 209% de colônias, o que representa uma diferença de mais de **40 vezes** em relação a grãos com 15,4% de umidade.

Com isso, quer-se ressaltar que a umidade dos grãos armazenados é um fator de suma importância no desenvolvimento dos fungos, e que valores acima de 13% já são extremamente perigosos.

3.2.5 Desenvolvimento de ácaros

Os ácaros estão presentes em grande número em praticamente todos os ambientes. Estudos mostraram que em um grama de pó doméstico pode haver mais de 15.000 ácaros. Eles possuem tamanho microscópico e se alimentam de resíduos bastante pequenos como o pó dos grãos.

Normalmente, a massa de grãos contém uma quantidade de pó, oriunda das partes dos grãos que se desprendem durante seu manuseio. Porém, se houver uma proliferação de insetos na massa, isso causará um aumento de resíduos desse tipo, na forma de pó e esses servirão de alimento aos ácaros.

Figura 40 – Fotos de ácaros tiradas com o uso de microscópio.



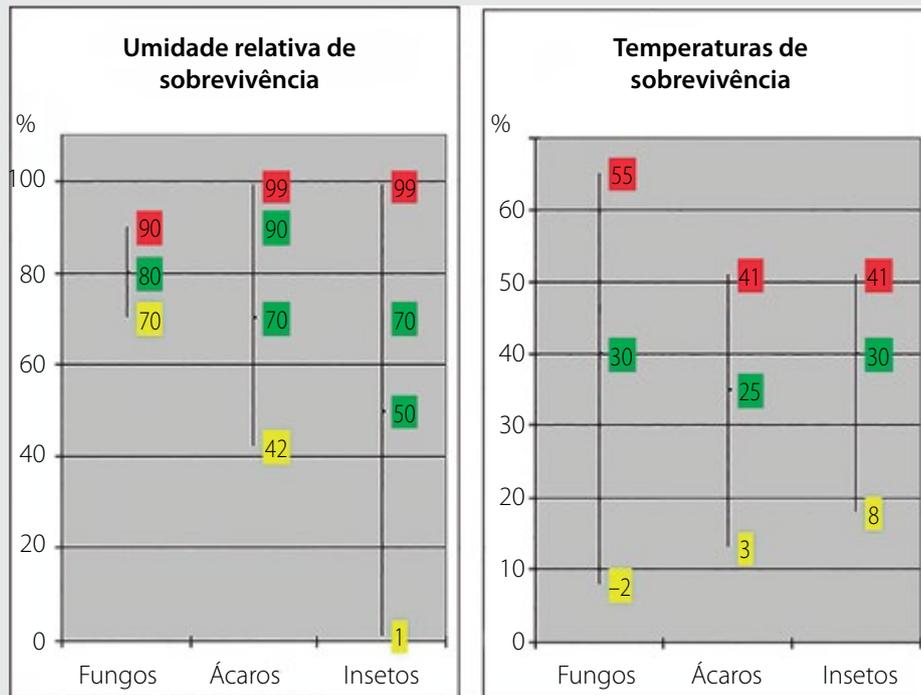
Fonte: Kepler Weber, 2013.

Até o momento, não se conhece nenhum estudo que mensure os danos diretos que os ácaros causam aos grãos armazenados. Porém, a sua presença pode servir para indicar que a armazenagem não está sendo conduzida adequadamente.

Com relação à saúde humana, sabe-se que os ácaros estão relacionados com diversos tipos de alergias e, nesse sentido, deve-se evitar sua proliferação.

Na Figura 41, veem-se as condições de sobrevivência para insetos, ácaros e fungos.

Figura 41 – Relação entre as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar e o desenvolvimento e proliferação de fungos, insetos e ácaros .



Fonte: Kepler Weber, 2013.

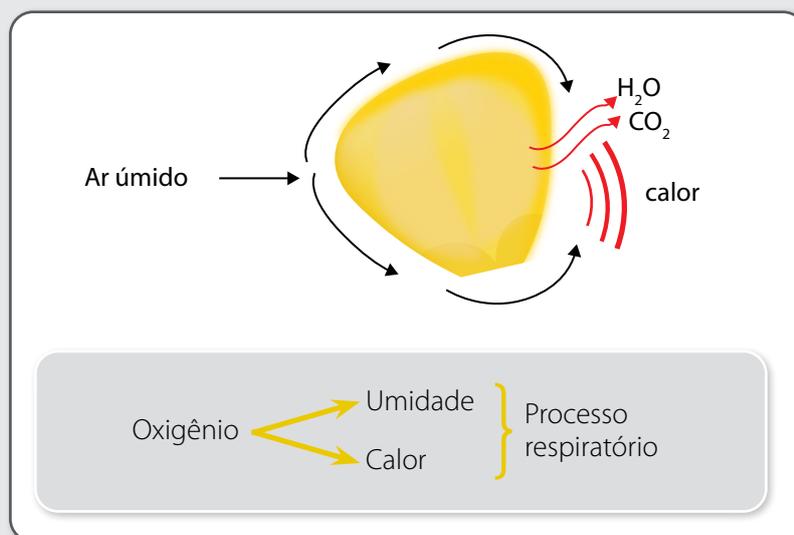
Os valores destacados com as cores amarela e vermelha indicam os limites mínimos e máximos para sobrevivência, e os valores destacados em verde indicam a condição ideal para o desenvolvimento e proliferação.

3.2.6 Respiração dos grãos

Por serem organismos "vivos" os grãos possuem atividades biológicas.

Pode-se definir respiração como a absorção pelos grãos de oxigênio e liberação de calor, gás carbônico e água.

Figura 42 – Fenômeno da respiração dos grãos.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

A seguir, mostra-se uma série de dados que relacionam as condições dos grãos com as condições ambientais e seus efeitos sobre a respiração dos grãos.

A Tabela 2 apresenta a relação entre a temperatura dos grãos e a intensidade respiratória, que nesse caso é representada pela emissão de gás carbônico (CO_2).

Esses valores se referem a produto soja com 18,5% de umidade b.u.

Tabela 2 – Atividade respiratória dos grãos de soja em umidade constante e temperatura variável.

Temperatura °C	Respiração mg CO_2 /24h
25	33,6
30	39,7
35	71,8
40	154,7
45	13,1

Fonte: Milner e Geddes, 1947.

Na Tabela 2, pode-se observar que a atividade respiratória dos grãos se intensifica bastante em temperaturas entre 30°C e 40°C, praticamente dobrando seu valor para cada aumento de 5°C na temperatura.

Já na Tabela 3 mostra-se uma relação semelhante, mas entre umidade dos grãos e respiração, em temperatura constante.

Os valores se referem a produto trigo.

Tabela 3 – Atividade respiratória dos grãos de trigo em temperatura constante e umidade variável.

Umidade grãos %	Respiração mg CO ₂ /24 h
12,3	0,07
13,6	0,11
13,8	0,23
14,5	0,57
15,4	2,53
16,3	23,35
18,5	111,00
20,8	604,90
25,2	1.282,00
30,5	1.724,8

Fonte: Milner e Geddes, 1947.

Infelizmente, não foi encontrada a informação sobre a temperatura dos grãos com a qual foi realizado o estudo apresentado na Tabela 3, porém, o mais importante é ter-se a relação entre aumento de umidade e aumento exponencial da respiração.

A emissão de CO₂ em si não representa problema, o que se quer demonstrar é que com o aumento da temperatura ou da umidade dos grãos ocorre um aumento significativo na sua atividade biológica.

Na Tabela 3, verifica-se um incremento na respiração dos grãos, conforme o aumento da sua umidade. Pode-se observar para que um pequeno aumento na umidade, como ocorre de 13,6% para 13,8% (b.u.) a respiração **dobra** a sua intensidade.

E quando se passa de uma umidade de 14,5% para 15,4%, ou seja, um incremento menor que 1%, a respiração se intensifica **quatro** vezes. E também, de 15,4% para 16,3% o aumento na atividade respiratória é de quase **dez** vezes.

Isso mostra claramente que o teor de umidade dos grãos é um fator fundamental que interfere de forma expressiva e direta na sua atividade biológica.

3.2.7 Quebra técnica

A respiração dos grãos se constitui na absorção de oxigênio do ar com a consequente liberação de gás carbônico (CO₂), calor e água, e esse processo ocorre pela queima (oxidação) das suas reservas nutricionais.

Chamamos de perda de matéria seca ou de "quebra técnica", ou seja, a quebra técnica nada mais é do que a redução de peso, pela diminuição da matéria seca dos grãos devido à atividade biológica própria.

A Tabela 4 mostra a relação entre essa perda de matéria seca e a temperatura, onde se presume que os grãos estão em equilíbrio com a temperatura do ambiente.

O produto é milho e foi armazenado por 30 dias com umidade de 15%.

Tabela 4 – "Quebra técnica" dos grãos de milho em umidade constante e temperatura variável.

Condições ambientais	Perda de matéria seca
Temperatura alta 35°C	0,54%
Temperatura média 25°C	0,12%
Grãos resfriados 10°C	0,02%

Fonte: Heinrich Brunner (1989).

Se em 30 dias tivemos as perdas citadas acima podemos concluir que em 100 dias de armazenagem, ou seja, pouco mais de 3 meses estas perdas seriam de:

- temperatura 35°C = 1,8%
- temperatura 25°C = 0,4%
- temperatura 10°C = 0,06%

E para 6 meses de armazenagem (180 dias):

- temperatura 35°C = 3,24%
- temperatura 25°C = 0,72%
- temperatura 10°C = 0,12%

Pode-se ver que os grãos com temperatura de 10°C levariam 180 dias para terem a mesma perda de matéria seca que os grãos a 25°C teriam em 30 dias (0,12%).

Porém, um fato importante deve ser destacado. As perdas mostradas são para produto que estiver em uma condição constante, o que normalmente não ocorre na prática, ainda mais se a umidade dos grãos e as temperaturas forem elevadas, ou seja, a atividade biológica dos grãos aliada a ataques e desenvolvimento de insetos e fungos, em conjunto certamente farão a massa toda se aquecer mais e dessa forma estimular um incremento na atividade biológica (respiração) e, conseqüentemente, aumentar a quebra técnica.

A Tabela 5, elaborada por outros autores, mostra o efeito em conjunto da umidade e temperatura na perda de matéria seca.

Tabela 5 – "Quebra técnica" em percentual dos grãos por dia de armazenagem em condições de umidade e temperatura variáveis.

Temperatura °C	Umidade do grão não oleaginoso (BU)			
	15%	20%	25%	30%
4,5	0,0003	0,0033	0,0098	0,0173
15,5	0,0010	0,0106	0,0312	0,0553
26,5	0,0034	0,0338	0,0994	0,1766
38,0	0,0101	0,1074	0,3165	0,5622

Fonte: Harris e Lindbland.

Na Tabela 5, observa-se que as perdas aumentam não só em função da temperatura, mas também em função do aumento da umidade dos grãos.

Nela verifica-se que grãos com 15% de umidade em baixas temperaturas (4,5 °C) a cada 110 dias de armazenagem ocorreria uma perda de 0,03% do peso dos grãos, o que insignificante.

Porém, esse mesmo grão com 15% de umidade, se armazenado pelo período de 100 dias a uma temperatura de 38 °C teria uma perda de mais de 1% de seu peso, o que já é bastante significativo.

Da mesma forma, um grão que possua 20% de umidade, armazenado com 38 °C, em 100 dias apresentaria uma redução de peso superior a 10%, isso referindo apenas à quebra técnica, e cabe lembrar que grãos com umidade e temperatura elevada, além da quebra técnica citada, certamente apresentariam outros problemas e perdas devido ao rápido e intenso desenvolvimento de fungos e insetos.

3.2.8 Aquecimento e formação de água na massa de grãos

Viu-se até aqui que os grãos possuem atividade biológica e respiram, e que essa respiração provoca liberação de CO₂, água e energia. Mostrou-se também a relação que existe entre temperatura e umidade dos grãos com a taxa respiratória, representada pela emissão de CO₂. Também se viu que essa respiração causa perda de matéria seca dos grãos e sua consequente e indesejada perda de peso.

Agora, nas tabelas 6 e 7 apresenta-se o que acontece com a temperatura da massa de grãos ao longo de um período de armazenagem de acordo com as suas condições iniciais e às condições do ambiente.

Tabela 6 – Tempo em horas para aumento de 5°C na massa de várias espécies de grãos armazenados, conforme temperatura inicial e umidade.

Grãos	Umidade %	Temperatura inicial em °C				
		5	10	15	20	25
Milho	16	1500	750	400	170	100
	20	540	270	145	60	36
	24	360	180	100	40	24
	35	175	90	150	20	12
Trigo/cevada	16	4100	2000	1000	480	280
	20	1200	600	300	145	75
Colza	10	11500	2000	700	170	50

Fonte: Lasseran, 1995.

A Tabela 6 mostra dados muito interessantes. Analisem-se os produtos milho e trigo/cevada com conteúdo de 16% de umidade.

Se esses produtos forem armazenados a 5°C, eles necessitam respectivamente de 1.500 e 4.100 horas para aumentarem em 5°C sua temperatura e chegarem aos 10°C. Ora, 1.500 h são aproximadamente 62 dias e 4.100 h equivalem a 170 dias. Suponha-se que não se tome nenhuma ação e se deixe os grãos chegarem a 10°C após os períodos mencionados. Com 10°C de temperatura estes mesmos grãos necessitariam de 750 h e de 2.000 h respectivamente para elevarem sua temperatura em mais 5°C. Ou seja, o tempo necessário para chegar de 10°C a 15°C cairia pela metade.

De acordo com a Tabela 6, observa-se o que aconteceria com estes grãos a 15°C de temperatura. Pode-se observar que eles precisariam de apenas 400 h no caso do milho e de 1000 h no caso do trigo ou cevada para aumentarem novamente 5°C em sua temperatura e chegam aos 20°C. Novamente, esse tempo é a metade do necessário no estágio anterior.

O mesmo ocorre até se chegar em 25°C, e nesse patamar de temperatura seriam necessárias apenas 100 h (aproximadamente 4 dias) para o milho e de apenas 240 h (10 dias) para o trigo ou cevada para atingir uma temperatura de 30°C, ou seja, o aquecimento dos grãos acontece de forma exponencial, conforme a temperatura de armazenagem aumenta.

Já se afirmou que umidades acima de 14% não são, de forma alguma, recomendadas para a conservação dos grãos, e essa tabela está reforçando isso. Porém, já se mostraram diversos dados que evidenciam o aquecimento espontâneo dos grãos armazenados e, nesse ponto, explica-se como e por que isso ocorre, e para poder explicar esse fenômeno é preciso que colocar um pouco de química e física nesta cartilha.

Os grãos possuem em sua composição amidos, açúcares, gorduras, proteínas. Um dos açúcares presentes nos grãos é a glicose, sendo que a fórmula química da glicose é: $C_6 H_{12} O_6$

Já colocou-se que, por meio da respiração, os grãos consomem oxigênio e liberam gás carbônico (CO_2) e calor.

Pois bem, essa reação de oxidação ocorre da seguinte forma:



onde:

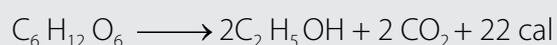
180 g de glicose + 134,4 L de oxigênio resultam em
134,4 L de CO_2 + 180 g de água + 677,2 kcal.

Para cada 180 g de glicose, combinadas com 134,4 L de oxigênio, está-se produzindo 677,2 kcal de energia e também 180 g de **água!**

Aqui há duas coisas muito importantes. A primeira é que a energia produzida não é nada pequena, e também que a respiração dos grãos produz **água!** E essa água não tem nada a ver com a umidade dos grãos ou umidade do ar ambiente. É simplesmente **água nova** que foi criada a partir da respiração dos grãos.

Além da reação aeróbica, devido à respiração, ocorre ainda uma reação anaeróbica, de fermentação da glicose.

Essa reação é a seguinte:



ela mostra a transformação da molécula de glicose em etanol (álcool) que empresta um cheiro característico ao produto ao fermentar.

A quantidade de energia produzida nesse caso é menor do que no processo aeróbico, mas além de se somar àquela outra citada, ainda temos uma queda de qualidade do produto devido ao odor.

Ora, viu-se até agora que a temperatura e a umidade dos grãos são fatores críticos para uma armazenagem segura e devem ser mantidos em níveis muito baixos, a simples atividade biológica dos grãos pela respiração e fermentação, além de consumir sua matéria seca ainda está prejudicando as condições de armazenagem.

Os efeitos do aumento da umidade e da temperatura são muito drásticos e prejudiciais para a armazenagem. Também se deve pensar que esses fatores se potencializam mutuamente, ou seja, cria-se uma espiral de efeitos indesejados que se auto alimentam.

Salienta-se que além da respiração e fermentação dos grãos existem outros fatores importantes presentes na prática. Por exemplo, o aquecimento dos grãos devido à atividade de insetos e a proliferação de fungos na massa armazenada, ou mesmo a presença de impurezas, também contribuem para prejudicar as condições do ambiente dos grãos armazenados.

3.3 TEMPO PARA ARMAZENAGEM SEGURA

É temeroso afirmar com absoluta precisão quanto tempo um grão pode ser armazenado de forma segura. Isso porque, como já se apresentou até aqui existem inúmeras variáveis envolvidas no processo e muitas vezes não temos um controle absoluto ou até mesmo conhecemos todas.

No entanto, partindo do princípio que estamos trabalhando com grãos sadios, com teores de impureza dentro dos limites recomendados e que a estrutura de armazenagem seja composta de equipamentos de boa qualidade, pode-se sugerir qual umidade máxima recomendada para vários produtos conforme o tempo que se deseja armazená-los.

Tabela 7 – Teores de umidade recomendados para armazenagem.

Teor de umidade (%) para armazenagem sem risco de deterioração			
Produto	Colheita	Armazenagem até 1 ano	Armazenagem maior que 1 ano
Amendoim	15-18,0	8,00	7,00
Arroz em casca	18-20,0	13,0 (14,0)	12,0
Aveia	15-20,0	12,0 (13,0)	11,0
Cevada	18-20,0	13,0	12,0
Feijão	16-18,0	13,0 (14,0)	12,0
Girassol	15-18,0	8,5 (8–9,0)	7,5
Milho	24-32,0	13,0 (14,0)	12,0
Algodão Sem.	15-18,0	11,0	10,0
Soja	15-18,0	12,0 (13,0)	11,0
Sorgo	28-32,0	12,0 (13,0)	11,0
Trigo	18-20,0	13,0 (14,0)	12,0

Fonte: Embrapa, 2015.

Na Tabela 7, pode-se verificar que, além da umidade para armazenagem, a Embrapa também sugere umidades ideais para colheita. Isso porque, conforme a umidade dos grãos no momento de serem colhidos, poderão ocorrer danos mecânicos a eles e isso prejudicar a qualidade da armazenagem futura.

Mas volta-se a salientar que, se os grãos não estiverem nas condições adequadas ou se por qualquer motivo ocorrer o aquecimento da massa ou de alguma região dela, os tempos citados acima perdem seu sentido.

3.4 TERMOMETRIA

No capítulo referente aos silos, observou-se o que é e para que serve um sistema de termometria. Neste capítulo vai-se enfatizar que **todo** silo ou armazém de grãos deve possuir um sistema de leitura de temperatura da massa.

O uso correto da termometria serve para informar os operadores da unidade sobre as condições da massa de grãos armazenados. Pelo que já foi visto sobre atividade biológica, respiração, insetos, fungos, entre outros, e a velocidade com que esses fenômenos acontecem, não conseguimos pensar em uma unidade armazenadora, ou até mesmo um pequeno silo de armazenagem de grãos sem um sistema de termometria confiável.

Recomenda-se que a leitura das temperaturas seja realizada em cada ponto no mínimo uma ou de preferência duas vezes ao dia.

A primeira leitura deve ser realizada logo cedo pela manhã e a segunda antes do final do dia, sendo que o intervalo em horas entre as medições deve ficar entre 6 e 8 horas.

Lembrar que a aeração deve ser desligada alguns minutos antes da leitura para que o ar ambiente não distorça as informações.

Se nessas medições for percebido que existe(m) algum(ns) ponto(s) fora/acima da média do silo, fazer a leitura desse silo a intervalos menores, e tomar as medidas corretivas necessárias, que serão descritas adiante.

Como observado anteriormente, quanto menor for a temperatura da massa de grãos melhor será a qualidade da armazenagem.

Salientou-se que grãos, mesmo secos com umidade abaixo de 14%, não deveriam ficar armazenados com temperaturas acima de 18 °C.

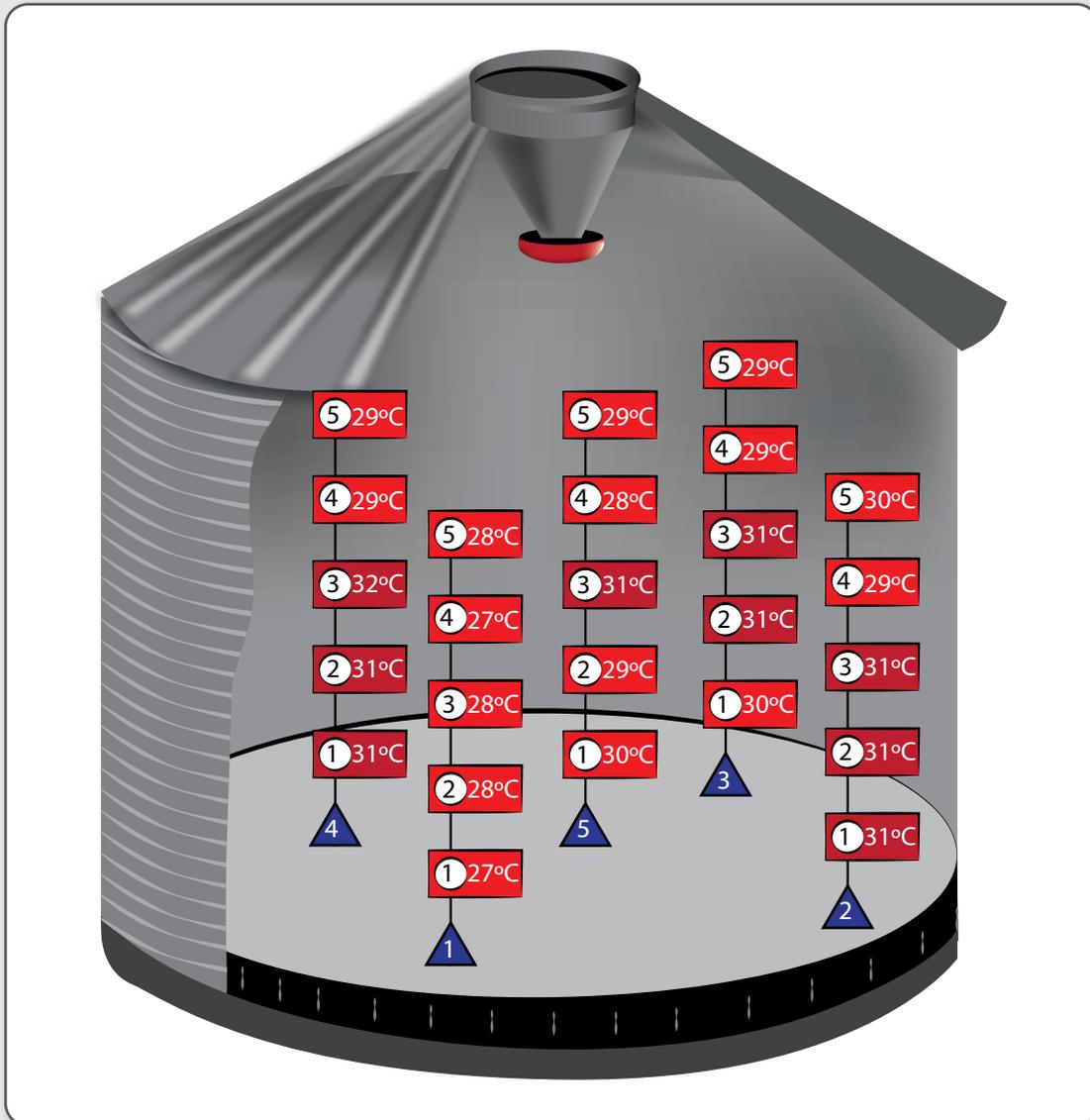
Na seção referente à aeração mostraremos o que e como fazer para se alcançar e manter as temperaturas, de preferência ainda mais baixas que 18 °C.

É importante salientar que se houver algum ponto de medição da temperatura que não esteja dentro da massa de grãos, quando por exemplo, o silo não estiver completamente cheio, é normal que este apresente uma leitura de temperatura bem diferente dos outros pontos.

Normalmente, durante o dia este ponto fora da massa acusa temperaturas superiores às dos grãos, podendo ficar com temperatura inferior à dos grãos à noite, conforme as condições climáticas.

Na Figura 43 observa-se uma vista interna em perspectiva de um silo de armazenagem com os cabos de termometria representados e seus respectivos pontos de medição.

Figura 43 – Distribuição de cabos e pontos de medição de temperatura dentro de um silo.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Como já colocado no capítulo sobre os silos, deve haver um ponto de medição para cada 150 m³ de capacidade estática no mínimo.

Salienta-se que a medição da temperatura é uma amostragem estatística, sendo que a medição é feita em pontos específicos da temperatura da massa de grãos, onde se encontram os sensores.

Os grãos são isolantes e não conduzem calor até os pontos de medição. Isso significa que, ainda que com pouca probabilidade, podem existir pontos com temperatura diferente das mostradas nas leituras.

Porém, como já se viu sobre os *hot spots* (pontos de aquecimento), eles tendem a crescer de tamanho e até se deslocar dentro da massa de grãos e, com isso, em determinado momento serão percebidos pela medição da termometria.

A leitura das temperaturas pode ser realizada de duas maneiras, de acordo com o projeto da instalação.

Uma das formas é junto ao próprio silo utilizando um equipamento portátil, ou na outra opção ser realizada na sala de controle da unidade, quando então é chamada de leitura remota.

A utilização de um ou outro sistema é definida em função do investimento inicial e tamanho e quantidade de silos da unidade.

O equipamento portátil é bem mais barato, mas, por precisar ser conectado a um silo de cada vez e após a leitura daquele silo precisar ser deslocado para outro, exige mais tempo e mão de obra para ser operado. Isso representa um tempo maior para realização das leituras e também apresenta o inconveniente de o operador ficar exposto às intempéries.

Ou seja, em dias de chuva ou dias de forte calor a leitura poderá ser postergada ou até mesmo deixar de ser realizada e isso pode trazer riscos à conservação dos grãos.

Ambos os sistemas possuem memória que registra as medições realizadas, ou seja, mesmo após a realização das leituras os dados de temperatura poderão ser analisados e comparados.

A comparação pode ser feita entre os pontos em si, em um determinado dia e horário, como também a de um mesmo ponto com leituras em diferentes dias e horários. Isso é muito importante pois permite fazer um acompanhamento da evolução das temperaturas no silo, ponto a ponto, ao longo do tempo de armazenagem.

Nesse acompanhamento, poderá ser visualizado se a massa de grãos está diminuindo ou aumentando sua temperatura como um todo, e também se um determinado ponto está "fugindo" da média dos outros pontos.

Essas informações são preciosas para um acompanhamento das condições dos grãos e servem, em conjunto com as informações ambientais, para tomada de decisão sobre procedimentos que devem ser adotados, especialmente sobre quando ligar o sistema de aeração, ou mesmo acerca de alguma outra medida necessária.

Em resumo, o sistema de termometria é primordial para que se saibam as condições dos grãos armazenados e devem estar presentes e serem utilizadas de forma correta **sempre**.

Além da termometria com diversos pontos dentro do silo como exposto acima, também são utilizados sistemas de sondas que são introduzidas pela superfície da massa de grãos dentro do silo para realizar a leitura da temperatura.

Porém, esse equipamento não é o ideal e a sua utilização está sujeita a distorções na leitura e coleta de dados o que pode levar a interpretações errôneas e com isso trazer prejuízo para a armazenagem.

3.5 AERAÇÃO

Os grãos devem ser armazenados secos e com a menor temperatura possível, e que mesmo assim pode ocorrer um aumento espontâneo da temperatura e umidade da massa de grãos dentro do silo.

Um sistema de termometria é necessário para sabermos as condições dos grãos armazenados por meio da leitura das temperaturas da massa.

Para se conseguir chegar às condições ideais de armazenamento e também para se ter uma ferramenta que nos permita corrigir problemas que comecem a surgir são necessários outros recursos. O principal recurso de que se pode dispor e que é largamente empregado há muitos anos é um sistema de aeração dos grãos. Pode-se definir aeração como a passagem forçada de ar ambiente pela massa de grãos. Isso é possível porque os grãos formam uma massa porosa que permite a passagem de ar pelos seus interstícios.

Cada tipo de grão possui características que fazem com que cada um ofereça uma resistência à passagem de ar, própria daquele grão. Essa resistência chama-se perda de carga, perda de pressão ou simplesmente pressão estática.

Essas perdas de carga foram determinadas no início do século 1920 por Shedd para várias condições. Ele estudou e analisou diversas espécies de grãos e a resistência que eles oferecem à passagem do ar de acordo com a velocidade deste.

Ele criou então as conhecidas "Curvas de Shedd" que são utilizadas até hoje para se definir qual a resistência que determinado grão oferece à passagem do ar pelo seu meio.

Também há muitos anos foram realizados estudos sobre quais vazões específicas de ar são recomendadas para sistemas de aeração.

A partir desses estudos foram definidas vazões adequadas as quais são expressas em metros cúbicos de ar por minuto por metro cúbico de grãos ($m^3 \text{ ar/min/m}^3 \text{ grão}$).

Note-se que são vazões "específicas" pois se referem à quantidade de ar que deve passar para cada metro cúbico de grão armazenado em um período de tempo, nesse caso especificado em minutos.

Com base nos dados de perda de carga em função do tipo de grãos, qual a vazão específica necessária e o volume de grãos a ser aerado, podem-se definir as condições de pressão estática e vazão total de ar para seleção do(s) ventilador(es) que forçará(ão) o ar pela massa de grãos.

Nas unidades armazenadoras brasileiras e em muitos outros países, são utilizados ventiladores do tipo centrífugo de pás viradas para trás para compor os sistemas de aeração. Esse tipo de ventilador possui características de desempenho que melhor se adequam às necessidades das

aerações de grãos, pois eles são capazes de entregar os altos volumes de ar necessários e vencer as pressões estáticas requeridas, normalmente elevadas, e além disso possuem uma característica interessante que é a de serem *limit load*, que poderia ser traduzido por "carga limite".

Essa expressão *limit load* significa que a potência absorvida por um ventilador desse tipo, com um determinado tamanho, será constante ao longo de toda curva em uma mesma rotação.

Explicando melhor, um ventilador centrífugo *limit load* trabalhando em uma rotação fixa terá sempre o mesmo consumo de potência independentemente da pressão ou vazão de trabalho. Isso é muito interessante para os sistemas de aeração pois conforme o silo estiver mais cheio ou mais vazio, pressão estática e vazão irão variar enormemente, e com ventiladores desse tipo não corremos o risco de sobrecargas no motor, coisa que aconteceria com outros tipos de ventiladores.

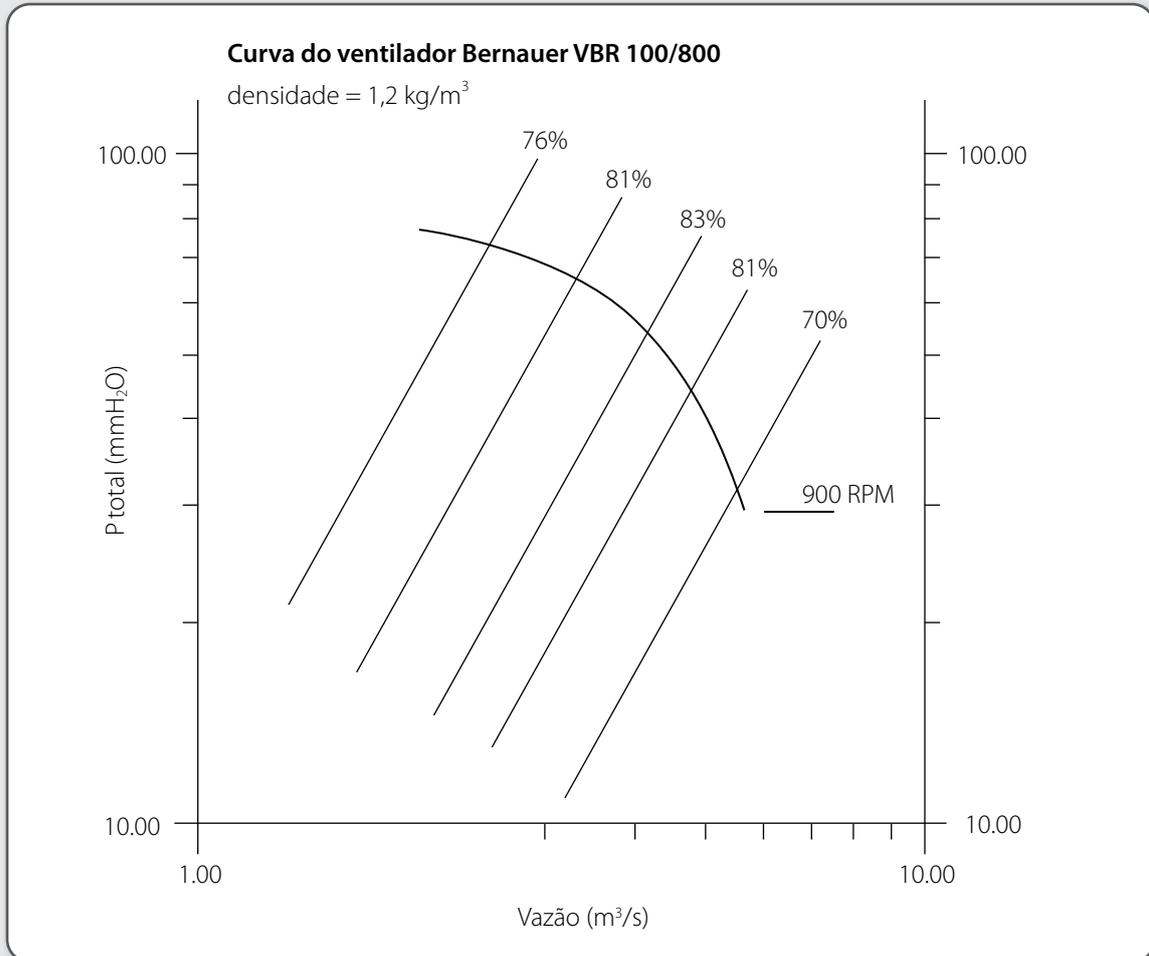
Figura 44 – Exemplo de ventilador centrífugo sendo utilizado em um sistema de aeração de silo metálico.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Na Figura 45 apresenta-se uma curva característica de um ventilador do tipo citado.

Figura 45 – Curva característica de ventilador centrífugo tipo *limit load*.



Fonte: Unicamp, 2015.

Como já mostrado no capítulo referente aos silos, a distribuição do fluxo de ar pela massa de grãos é feita por meio de canaletas na base do silo cobertas por chapas perfuradas. A perfuração dessas chapas deve ser tal que permita a passagem de ar, mas impeça a passagem dos grãos, sendo que a área de chapa perfurada a ser utilizada no fundo do silo é calculada conforme o fluxo de ar do sistema de aeração, caso a caso.

Em função disso, os silos podem ter o fundo parcialmente coberto pelas chapas perfuradas ou mesmo todo o fundo coberto com estas chapas, que nesse caso denomina-se "fundo falso".

Figura 46 – Fundo de um silo onde podemos ver as chapas perfuradas que cobrem as canaletas de aeração.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

3.5.1 Tipos de aeração

Até agora já se viu como é composto o sistema de aeração e os princípios que regem a passagem de ar pelos grãos. Também já se sabe que a aeração é a principal ferramenta disponível nas unidades de armazenagem para auxiliar os operadores a manterem os grãos nas condições ideais para uma armazenagem segura por longos períodos.

No que se refere ao sentido do fluxo de ar, ela pode ser realizada de duas formas, por insuflação ou por aspiração do ar.

Insuflação

A insuflação é feita forçando o ar a passar pela massa de grãos de forma ascendente, vindo do ventilador, passando pelas canaletas de distribuição na base, pelos orifícios nas chapas perfuradas no fundo do silo e atingindo os grãos que estão acima do piso.

O ar então atravessa toda a coluna de grãos saindo pela parte superior do alude e sendo expulso pelos respiros no telhado.

Aspiração

Na aspiração, o ar é succionado pelo ventilador de aeração e forçado a realizar um trajeto descendente. Ele entra pelos respiros do telhado, passa pela massa de grãos e é expulso ao ambiente por meio da boca premente do ventilador.

Insuflação x aspiração

A Figura 47 mostra o ventilador realizando aeração por insuflação e nela pode-se ver que o ventilador está em cima de um "carrinho" e a sua boca premente está conectada à base do silo por uma ligação feita de lona leve fixada por abraçadeiras.

Nesse caso, podemos inverter o fluxo de ar e para isso devemos desacoplar o ventilador e girar o carrinho que suporta o ventilador em 90° e acoplar a boca aspirante do ventilador à base do silo, e assim passar a realizar uma aeração por aspiração.

Também existem sistemas que permitem alterar entre aspiração e insuflação sem a necessidade de mover e desacoplar o ventilador.

Figura 47 – Exemplo de sistema aeração que pode realizar insuflação ou aspiração sem necessidade de mover ou desconectar peças.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Nesse caso, para fazer a alteração no sentido do fluxo de ar deve-se reposicionar as linguetas existentes específicas para esse fim.

Tanto a insuflação como a aspiração são atualmente utilizadas, porém nota-se nos últimos anos uma tendência a se utilizar mais a insuflação do que a aspiração, e a seguir mostram-se as vantagens e desvantagens de cada sistema que nos ajudará a entender porque a insuflação é preferível.

Vantagens da insuflação:

- aeração de resfriamento dos grãos durante o enchimento do silo;
- rápido controle de focos de calor na metade superior do silo;
- menor risco de obstrução das coberturas dos aerodutos;
- permite a execução da aeração secante;
- não emite pó e odores no nível do solo.

Desvantagens da insuflação:

- há aquecimento mecânico no ventilador de 1 a 6°C;
- aquecimento do ar na passagem na massa de grãos;
- pode formar condensação no telhado.

Vantagens da aspiração:

- não há aquecimento mecânico no ventilador;
- evita a condensação no telhado na aeração noturna;
- rápido controle de focos de calor na metade inferior do silo;
- controle mais rápido de insetos na parte alta do silo;
- controle da passagem da frente de resfriamento (quando próxima ao nível do piso).

Desvantagens da aspiração:

- pode causar obstrução dos orifícios das chapas de cobertura por impurezas finas;
- emissão de pó, odores e materiais finos próximos ao solo;
- não pode ser utilizada para aeração de resfriamento durante o enchimento do silo;
- risco de sucção do telhado.

Pelo exposto acima podemos entender que a insuflação é a preferível principalmente por permitir realizar a aeração de resfriamento durante o carregamento do silo, e isso será melhor explicado adiante.

3.5.2 Objetivos da aeração

A seguir, veem-se então quais os principais usos e objetivos dos sistemas de aeração.

Aeração de resfriamento

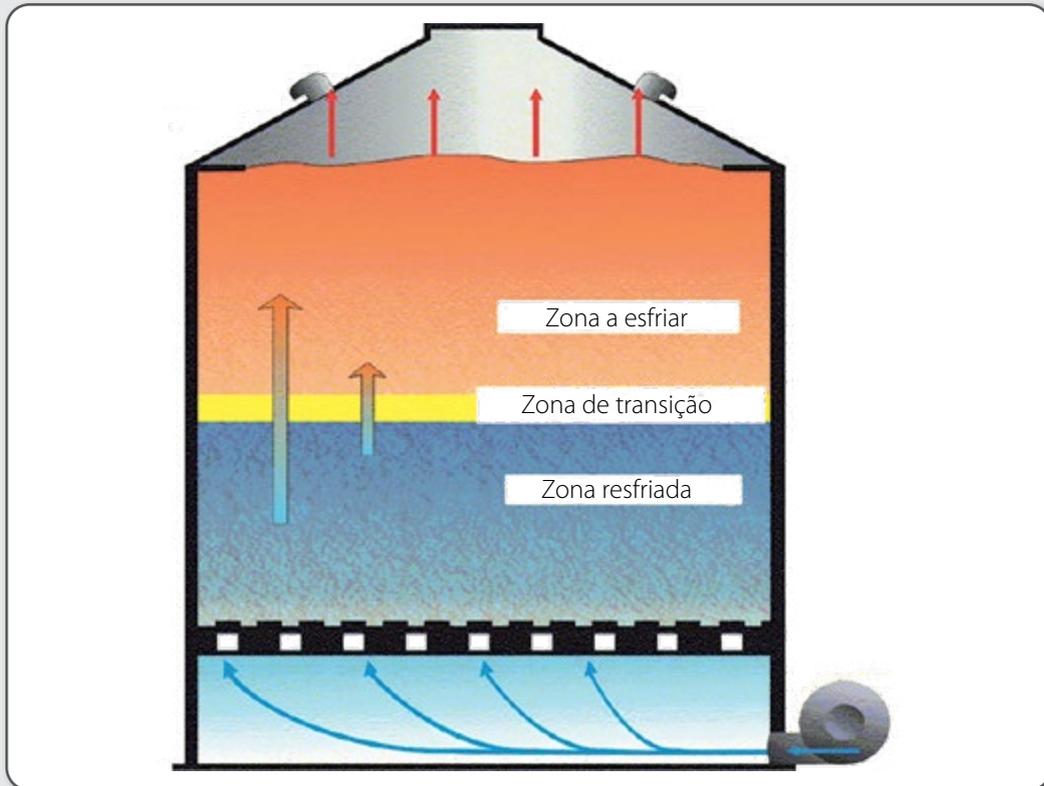
Na secagem, sabe-se que os grãos saem dos secadores com temperatura entre 5 a 10°C acima da temperatura ambiente, mesmo levando em conta que passaram pela câmara de resfriamento existente no próprio secador.

Se pensado nas safras de verão no Brasil, pode-se concluir que os grãos que deixam os secadores estarão normalmente com uma temperatura de no mínimo 30°C, podendo chegar em algumas situações a saírem com temperatura de mais de 40°C, mesmo após o resfriamento.

Também já se viu que as temperaturas recomendadas para uma armazenagem segura por longos períodos deveriam ser as mais baixas possíveis, tendo como limite máximo 18°C para grãos com até 14% de teor de umidade.

Então, agora vai-se descrever uma das principais funções do sistema de aeração que é a de resfriar os grãos logo que eles chegam aos silos. Salientando que nesse processo deve ser utilizado o sistema de insuflação.

Figura 48 – Corte transversal esquemático de um silo de armazenagem de grãos durante o processo de resfriamento utilizando aeração com ar ambiente em insuflação.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Relembre-se do que foi colocado no capítulo de secadores em que se mostrou que o ar e os grãos logo que entram em contato realizam trocas de calor e umidade entre si e em seguida ambos entram em equilíbrio. O mesmo ocorre com o ar de aeração, com a diferença que neste caso o objetivo não é retirar umidade do produto, mas sim abaixar a temperatura dos grãos.

Partindo do princípio de que o ar insuflado que entra na parte inferior do silo possui temperatura mais baixa que os grãos, em seguida ao início do procedimento de aeração começa a ocorrer o resfriamento de uma camada logo acima do piso, e o consequente aquecimento do ar de aeração a partir desse ponto.

Então, assim que o ar ultrapassa essa primeira camada e se aquece, ele perde a capacidade para resfriar os grãos que estão logo acima. Dessa forma, com o tempo cria-se uma "zona de resfriamento" que é a camada de grãos onde estão sendo realizadas as trocas, sendo que os grãos que se encontram abaixo dessa camada já estão frios, e os grãos acima desta camada não estão sofrendo resfriamento.

Com o passar do tempo e com a aeração ligada, essa zona de resfriamento vai se deslocando, de baixo para cima, ao longo da camada de grãos.

Agora vê-se algo importante que é o momento de iniciar a realizar a aeração de resfriamento. Como os grãos vêm do secador com uma temperatura entre 5 e 10°C acima da temperatura

ambiente, deve-se ter cuidado para não promover um choque térmico nos grãos. O ideal seria esperar um tempo, algo entre 6 e 8 horas, para iniciar a aerar os grãos.

Mas por outro lado, quanto mais delgada for a camada de grãos, maior vazão de ar se tem. Então, nesse momento, faz-se uma recomendação importante, que é não aguardar encher o silo para iniciar o resfriamento.

Vai-se ilustrar o que se quer demonstrar utilizando como exemplo uma unidade de recebimento e armazenagem que possui dois silos de 50.000 sacos, o que corresponde a 3000 t cada, e um fluxo de secagem de 60 t/n. Isso significa que precisa-se de 50 horas para encher cada silo.

A sugestão é de que se coloque aproximadamente 10% de produto no primeiro silo, o que corresponderia a umas 5 horas de secagem, e em seguida coloca-se a mesma quantidade de produto no segundo silo.

Então, enquanto se coloca essa camada inicial no segundo silo podemos iniciar a aeração no primeiro onde já terá decorrido o tempo de descanso sugerido.



IMPORTANTE

para aumentar a segurança da armazenagem, sugere-se que essa primeira camada de grãos a ser colocada dentro dos silos possua uma umidade em torno de 12%.

Com isso, assegura-se que, se houver alguma migração e condensação de umidade junto ao piso durante o período de armazenagem, esses grãos mais secos estarão mais "protegidos" quanto à deterioração.

Continua-se a encher o primeiro silo, com a aeração ligada, até completar sua carga e depois terminamos de encher o segundo silo, também com a aeração ligada durante o enchimento.

Outra forma seria se valer da interrupção de recebimento durante a noite, colocando um pouco de produto no silo durante o dia e deixá-lo descansar à noite, iniciando a aeração no dia seguinte, desde que o fluxo de recebimento permita isso.

Mas o mais importante de tudo é termos presente que quanto menor a camada de grãos, maior será a vazão do ar de aeração, devido à menor pressão estática a ser vencida, e muito maior ainda será a vazão específica devido ao pouco volume de grãos dentro do silo.

Além de a vazão nominal de ar ser maior por encontrar menor resistência dos grãos, ela estará sendo distribuída por um volume muito menor de grãos do que aquele que teria o silo cheio.

Também é importante salientar que se está partindo do princípio que os grãos estão no mínimo 5°C mais quentes que o ar ambiente, e nesse caso se conseguiria um bom resfriamento, lembrando que nosso objetivo é fazer que os grãos atinjam uma temperatura abaixo dos 18°C.

Mais adiante, na abordagem de "quando aerar" será apresentado um gráfico prático que indica o que deve ser feito para outras situações, em que a diferença de temperatura entre ar e grãos for diferente da citada.

Também mais adiante explicam-se os conceitos de umidade de equilíbrio higroscópico, que devem ser levados em consideração em todos os procedimentos de aeração.

Se for realizada a aeração de resfriamento simultaneamente ao carregamento do silo, quando se completar o carregamento os grãos já estarão com uma temperatura bem menor do que a que possuíam ao sair do secador.

Porém, lembrando que nosso objetivo deve ser alcançar temperaturas próximas, ou mesmo abaixo dos 18 °C, poderá acontecer de se precisar continuar aerando os grãos mesmo após o carregamento total.

Aeração de manutenção

Já foi visto que os grãos, mesmo estando secos e com baixa temperatura possuem atividade biológica, e essa atividade provoca o aquecimento gradual da massa e que a presença de insetos e fungos, mesmo que em pequena quantidade, também contribuem para o aumento da temperatura dos grãos.

Além disso, as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do silo, e também as variações da temperatura ambiente durante o dia ou à noite criam correntes de convecção de ar internas no silo.

Para evitar a ocorrência dos fenômenos citados acima, utiliza-se a aeração, que nesse caso se denomina aeração de manutenção. Isso porque o que se quer é manter as condições que conseguem ser obtidas com a aeração de resfriamento realizada logo após o enchimento do silo.

Para que a aeração de manutenção seja bem sucedida, é importante que os grãos se encontrem secos, limpo e principalmente, já resfriados.

Como em todos os capítulos deste trabalho, salienta-se também que a qualidade dos grãos no máximo será preservada idêntica àquela que possuíam originalmente.

Para a aeração e manutenção podemos utilizar tanto insuflação como aspiração, sendo que sugerimos a insuflação devido às vantagens já apresentadas anteriormente.

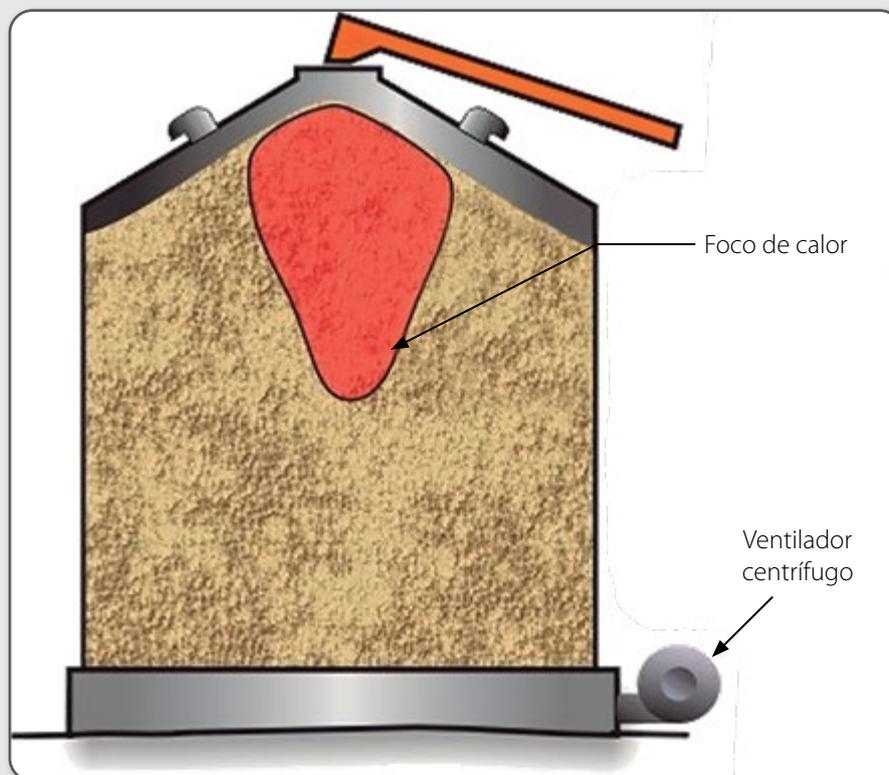
Novamente aqui coloca-se que no gráfico existente no assunto "Quando aerar" adiante está detalhado em quais momentos devemos ligar a aeração de manutenção de forma a evitar problemas, e também evitando seu uso desnecessário e consequente desperdício de energia elétrica e desgaste dos equipamentos.

Lembre-se também que deve ser considerado o equilíbrio higroscópico entre grãos e ar, que será explicado adiante.

Aeração corretiva

Ao realizar as leituras diárias da termometria, deve-se ficar atento não só à temperatura média da massa de grãos, mas também e principalmente, ao aparecimento de algum ponto de aquecimento anormal.

Figura 49 – Exemplo de um foco de aquecimento típico em um silo de grãos.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Se por algum motivo ocorrer um aumento exagerado da temperatura em algum(ns) do(s) ponto(s) da massa de grãos, devem-se tomar providências **imediatas** para conter e sanar o problema.

A primeira coisa a ser feita é analisar em que região do silo está ocorrendo o aquecimento. A partir disso deve-se escolher qual o melhor tipo de aeração a ser empregado, se aspiração ou insuflação, (ver "3.5.1 Tipos de aeração", em que aparecem recomendações sobre esse assunto), e iniciar o processo de aeração corretiva o mais rápido possível.

Salienta-se que não se deve esperar que o foco de aquecimento atinja uma temperatura exagerada em relação ao restante da massa.

Segue um exemplo prático. Se a massa de grãos estiver na média com 18°C, com alguns pontos chegando no máximo a 20°C, pode-se ficar tranquilo. Porém, se um ou outro ponto começar a apresentar, no intervalo de um dia, uma subida de temperatura de mais de 2°C em relação ao dia anterior e às outras regiões do silo, já se deve ficar atento.

E, assim que a diferença de temperatura entre grãos e ar ambiente se aproximar dos 5 °C, deve-se acionar a aeração, mantendo-a ligada até que se consiga abaixar a temperatura do ponto em questão aos níveis anteriores.

Nesses casos, normalmente é levantado um questionamento acerca da umidade relativa do ar, se é possível ligar os ventiladores quando a mesma estiver alta, acima de 80% por exemplo. Novamente, coloca-se que isso será aprofundado na abordagem do assunto "Quando aerar" em conjunto com as tabelas de umidade de equilíbrio.

Porém, aqui ressalta-se que o aquecimento anormal de um ou mais pontos da massa de grãos deve ser tratado prioritariamente, em detrimento da questão da umidade do ar ou da umidade de equilíbrio.

Mais adiante explica-se melhor esse aspecto e dão-se exemplos sobre o que se refere aqui.

O importante é **evitar que ocorra descontrole da temperatura dentro do silo!**

Caso a aeração corretiva não consiga abaixar e controlar a temperatura dentro do silo nos resta ainda outro recurso operacional que é a transilagem, a qual será tratada mais adiante.

3.5.3 Aplicação de fumigantes

Os sistemas de aeração também podem ser utilizados para aplicação de produtos químicos no combate às infestações de insetos.

Tem-se uma visão particular de que se forem tomadas todas as medidas recomendadas até o momento, praticamente vai-se evitar a proliferação de insetos e, portanto, não haverá necessidade de combatê-los.

Porém, caso isso venha a ocorrer, não se deve deixar que o problema se agrave. Sugere-se que, além do controle da temperatura da massa por termometria, seja feita regularmente uma verificação de infestação de insetos. Isso pode ser realizado com a utilização de armadilhas, na forma de sondas, que são introduzidas na massa de grãos.

Apesar de que, dessa forma, se consegue coletar os insetos presentes em uma pequena parte da massa, é na superfície dos grãos que eles normalmente se concentram em maior quantidade.

Portanto, ao se identificar a presença de insetos, deve-se tomar medidas corretivas, como a aplicação de fumigantes.

Existem vários tipos de inseticidas químicos e um dos produtos mais comum e bastante utilizado é a fosfina, nome mais comum utilizado para o hidreto de fósforo, que age por meio da liberação de um gás. Quando a fosfina entra em contato com a umidade do ar, ela libera um gás, o fosfeto de hidrogênio (PH₃), que é tóxico.

Para a aplicação desse tipo de produto, podem-se utilizar os dutos do sistema de aeração existente nos silos e armazéns.

No entanto, alguns procedimentos e cuidados básicos devem ser tomados.

O primeiro é com relação à **segurança**. Para manusear ou utilizar qualquer produto químico tóxico como é o caso da fosfina, o operador deve receber treinamento específico, que normalmente é oferecido pelos fabricantes destes produtos.

Nesse treinamento, o operador aprenderá quais EPIs devem utilizados e a forma segura de manusear e aplicar o produto.

Salientando: **nunca** manusear qualquer produto tóxico sem treinamento e sem os EPIs e cuidados apropriados.

Para aplicar esse tipo de produto, o silo deve ser vedado da melhor forma possível para que não ocorra fuga do gás. O talude superior deve ser coberto com lona própria para esse fim, e as bocas de entrada/saída do(s) ventilador(es) devem ser vedadas.

Lembre-se também de que os silos metálicos comerciais para armazenagem de grãos não são herméticos, ou seja, no caso de fumigação haverá saída de gás pelas paredes dos silos.

3.5.4 Seca-aeração

Em princípio, é possível realizar a secagem de grãos dentro de silos utilizando aeração. Porém, para realizar esse processo, os silos e todo o sistema de aeração necessitam estar dimensionados e adequados para essa utilização.

Para realizar qualquer tipo de secagem, ou mesmo se quiser-se apenas fazer uma complementação da secagem do produto utilizando silos, todo o sistema de aeração deve ser calculado e dimensionado para isso. Ou seja, não ser que o equipamento existente na unidade tenha sido especialmente projetado para poder realizar a secagem de produto, **nunca** se deve utilizar um sistema convencional de aeração que se destina à conservar o produto já seco, para fins de secagem.

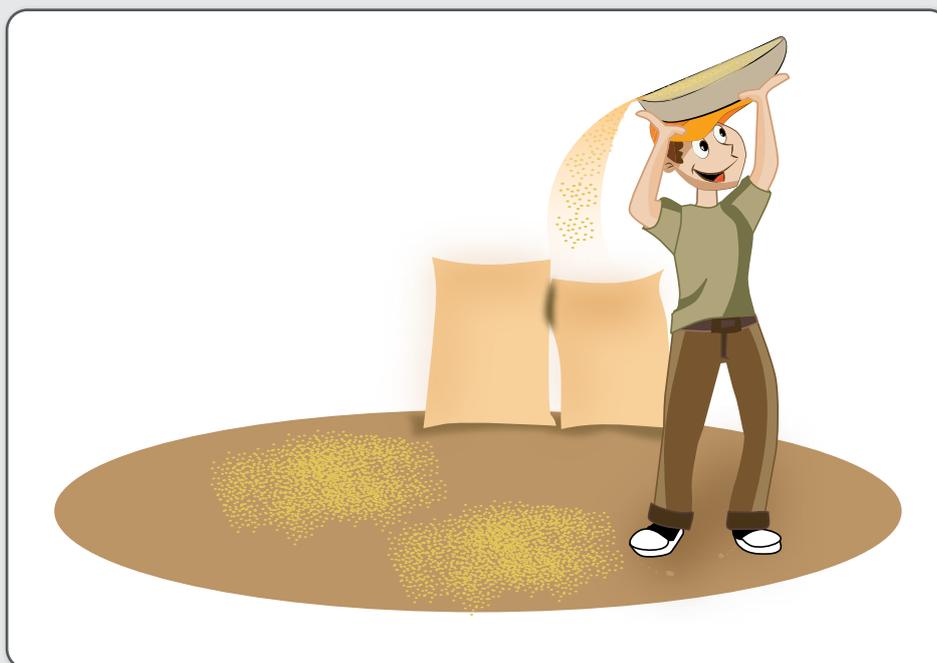
Esse é um processo pouco utilizado, devido às razões expostas acima e exigir altos investimentos, e também normalmente limita muito a velocidade de recebimento da unidade, e por estas razões não haverá aprofundamento nesse assunto no presente material.

3.6 TRANSILAGEM

A transilagem consiste na movimentação do produto, tirando de um silo e enviando para outro, ou retirando e colocando o produto simultaneamente no próprio silo.

Antigamente, antes de existirem os sistemas de aeração de grãos era muito comum se utilizar a transilagem como recurso para manter a qualidade dos grãos. Pode-se dizer que, mesmo antes de existirem silos ou estruturas de armazenagem, esse recurso já era utilizado.

Figura 50 – Grãos sendo "aerados" em um processo manual bastante rudimentar.

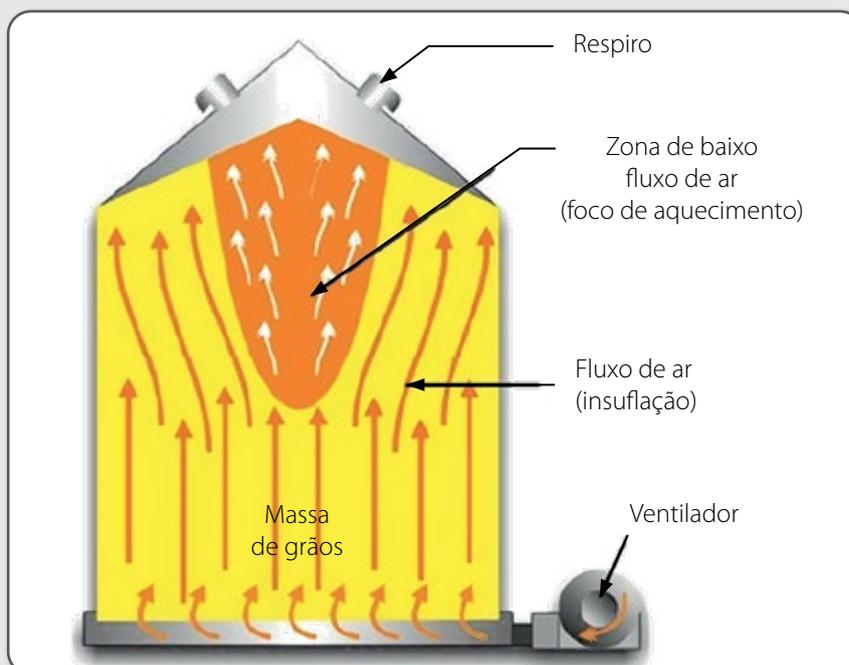


Fonte: Kepler Weber, 2013.

A transilagem realizada atualmente nada mais é do que a transferência do produto de um local de armazenagem (silo ou célula de armazém) para outro. Com essa movimentação, os grãos tomam contato com o ar e o efeito é semelhante ao da aeração.

Em determinadas circunstâncias, a aeração tradicional não surte efeito e é necessário apelar para o recurso da transilagem.

Figura 51 – Caso típico onde a aeração não consegue realizar o trabalho de abaixar a temperatura dos grãos.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Na Figura 51, pode-se ver que existe uma zona na região central do silo, onde o ar não consegue passar e onde está ocorrendo o aquecimento. Essa situação é bastante comum e ela ocorre quando não se retiram os finos (pó) da massa de grãos antes da armazenagem e também quando não se utiliza o distribuidor de grãos ou quando ele não está operando de forma correta.

Nesses casos, ocorre a concentração dos finos nessa região e isso diminui e até pode impedir a passagem do ar.

É fácil identificar esse fato quando se tenta promover a aeração para reduzir o aquecimento e mesmo tendo as condições ideais para isso não se consegue atingir o resultado esperado.

Nesse caso, então sugere-se que, assim que se perceber que a aeração não está surtindo efeito, deve-se movimentar este produto realizando uma transilagem.

Além de fazer os grãos passarem pelo ar durante a movimentação, ainda "quebram-se" possíveis blocos de pó, produto e impurezas que possam ter se formado.

Também como já visto anteriormente, devido às correntes de convecção que se formam dentro dos silos, pode ocorrer um "empedramento" na superfície superior da massa, e esta impedir a passagem de ar. Com a transilagem, também vai-se quebrar essa crosta.

É importante salientar que, se ocorrer esse problema de empedramento, poderá haver dificuldade para remover o produto do silo.

E aqui salientamos que devem ser adotados os procedimentos operacionais dos silos na parte que trata da descarga e as medidas de segurança necessárias.

Na transilagem dos grãos, o ideal é que se tenha um silo vazio disponível para onde possamos levar os grãos. Esse silo deve estar totalmente limpo, revisado e higienizado para receber o produto.

Sugere-se que antes de levar os grãos para o silo, seja verificada a sua umidade, pois pode ser necessária uma correção dela no secador.

Se a umidade estiver "ok" sugerimos que o produto seja passado pelas máquinas de limpeza para retirada do pó e outras impurezas. Especialmente se for percebido a existência de "blocos" ou empedramento de produto.

Nas máquinas de limpeza, além de remover os elementos indesejados da massa, ainda será feita uma desagregação dos blocos, além de aumentar a exposição dos grãos ao ar.

Caso não exista nenhum silo vazio, a segunda alternativa seria colocar os grãos em silos parcialmente cheios, que tenham o mesmo tipo de grão e que ainda disponham de espaço.

Procurar colocar junto com grãos de mesma umidade e qualidade semelhante, para que não ocorram desuniformidades na armazenagem e na expedição futura.

Se não houver essa segunda alternativa, deve-se trazer o produto de volta para o mesmo silo, mas impreterivelmente fazê-lo passar pelo processo de limpeza, e até mesmo de secagem se necessário, antes de retornar para o silo.

Porém, antes de realizar essa operação de carga e descarga simultânea, deve ser consultado o fabricante do silo em relação às questões estruturais.

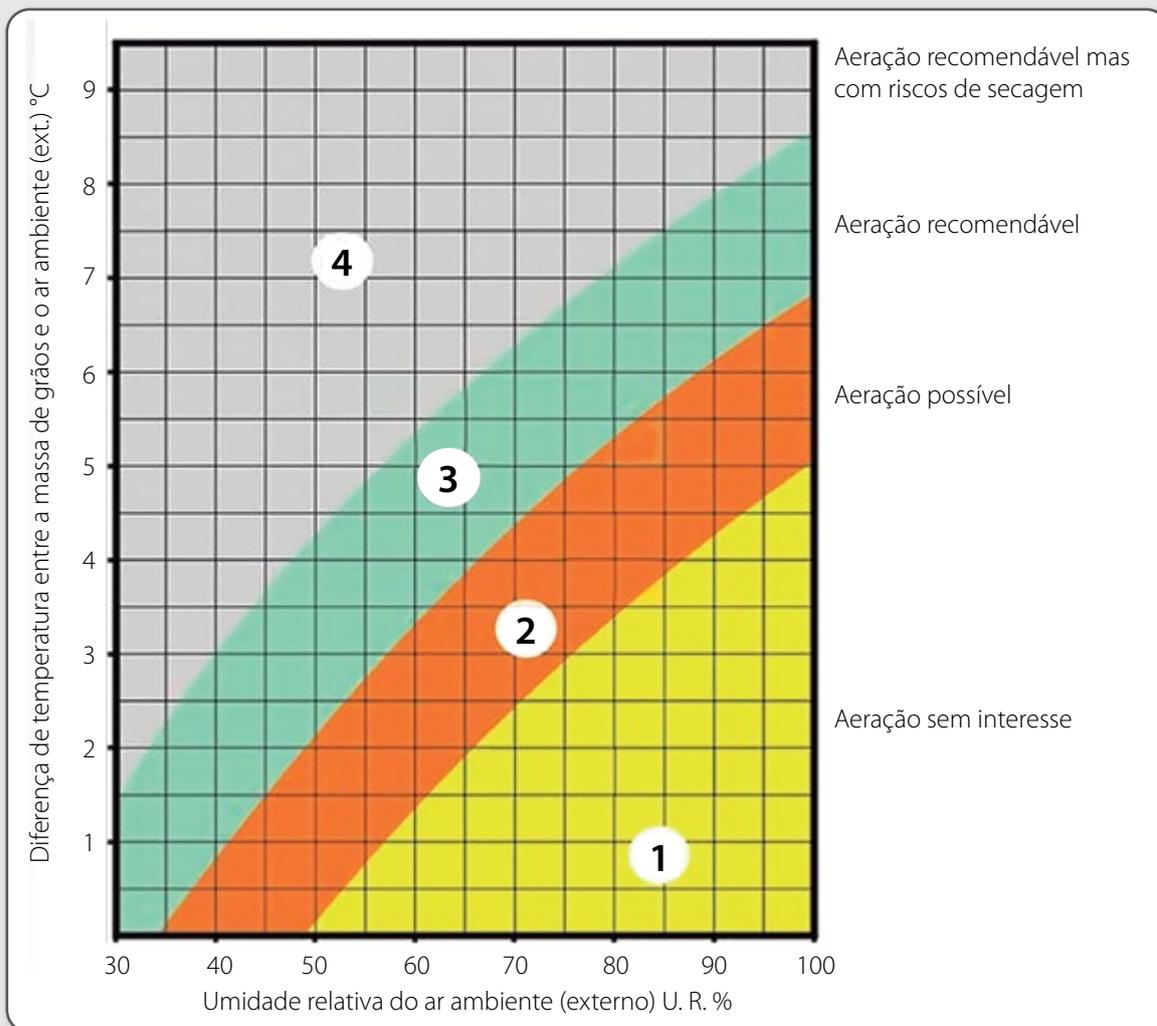
3.7 QUANDO AERAR

Vimos até agora os usos e aplicações do sistema de aeração, porém sempre ocorre o questionamento de quando se pode ou deve ligar os ventiladores.

Essa dúvida aparece inclusive para a aeração de resfriamento, especialmente quando a umidade relativa do ar estiver mais elevada, o que traz certo temor aos operadores.

Para facilitar o uso prático da aeração apresentamos o gráfico da Figura 52.

Figura 52 – Quando aerar, conforme umidade relativa do ar ambiente e diferença de temperatura entre ar e grãos.



Fonte: Kepler Weber, 2013.

Na Figura 52, tem-se no eixo "X" a umidade relativa do ar ambiente em % e no eixo "Y" a diferença de temperatura entre a massa de grãos e a temperatura do ar ambiente, externo ao silo, sempre supondo que os grãos possuem temperatura superior ao ar ambiente.

A utilização desse gráfico é importante tanto nos casos de aeração de resfriamento, de manutenção e corretiva.

Analisem-se, então, as diferentes regiões, 1, 2, 3 e 4, representadas nas cores amarela, laranja, verde e cinza respectivamente.

A região "1" caracteriza-se por uma baixa diferença de temperatura entre grãos e ar e uma umidade relativa de média a elevada. Se as condições existentes no momento estiverem dentro dessa faixa, diz-se que não haveria interesse (porquê) fazer a aeração.

Pode-se entender isso se pensarmos que nas regiões onde temos umidade relativa entre 50 e 70% a diferença de temperatura entre grãos e ar é pequena e não traria resultados expressivos com relação à redução da temperatura e, nos pontos onde a diferença é um pouco maior aproximando-se de 5, a umidade relativa está elevada e existiria um risco para o produto.

Porém, esse raciocínio é válido para aeração de resfriamento e manutenção. Entretanto se for necessário realizar uma aeração corretiva, deve-se seguir outra linha de pensamento, a qual será explicada quando for se tratar de "equilíbrio higroscópico", mais adiante.

Na região "2" tem-se a "aeração possível". Nela, já temos uma diferença maior de temperatura para ar e grãos nas faixas de umidade relativa médias, mas ainda são diferenças pequenas, como por exemplo em torno de 3 °C para U.R. de 60%.

Nesse caso, também é válido o que foi colocado acima, com relação à zona "1".

A região "3" está descrita como "aeração recomendável". Isso porque nela encontram-se grandes diferenças de temperatura entre ar e grãos em umidades relativas médias e comuns de serem encontradas.

Por exemplo, nela se encontraria o ponto de U.R. = 60% e diferença de temperatura de 5 °C.

Ou seja, quando houver as condições de diferença de temperatura entre ar e grãos e umidade relativa do ar dentro dessa faixa verde, vai-se ter as condições mais interessantes para fazer a aeração, especialmente de resfriamento e manutenção.

Novamente, com relação a aeração corretiva, faz-se uma observação de que, se ela for necessária, qualquer uma das zonas pode ser utilizada, o que será visto adiante quando se falar em equilíbrio higroscópico.

A zona "4" está rotulada como "aeração recomendável, mas com risco de secagem". Isso não parece ser muito procedente, pois nunca se teria secagem de produto com umidades relativas do ar acima de 80% por exemplo, qualquer que fosse a diferença de temperatura entre grãos e ar.

Então, sugere-se que esse gráfico seja utilizado com cuidado, especialmente quando a umidade relativa do ar estiver muito baixa, abaixo de 50% ou muito alta, acima dos 80%.

O que pode ocorrer na zona "4", e com o que se deve tomar cuidado, é que aumenta bastante o risco de haver condensação do ar que sai dos grãos, especialmente se a temperatura ambiente estiver baixa e estivermos fazendo insuflação.

Para finalizar esse capítulo e esclarecer as questões colocadas sobre as zonas de aeração, serão apresentadas as Tabelas 8, 9, 10 e 11 de equilíbrio higroscópico entre ar e grãos.

Para melhor entendimento destas, é preciso informar que higroscopicidade é a capacidade de um material, no nosso caso grãos, em ceder ou absorver umidade presente no ar ambiente.

Ou seja, equilíbrio higroscópico entre grãos e ar é a umidade que os grãos assumirão na presença de um ar com determinada temperatura e umidade relativa, quando em contato por um período de tempo.

Nesse ponto, deve-se fazer uma observação importante no que se refere à absorção de umidade por parte dos grãos.

Vários estudos já foram feitos e comprovaram que, após a água ser retirada dos grãos, é muito mais difícil colocá-la novamente em seu interior. Uma explicação para isso é que os capilares internos existentes nos grãos, quando deixam a água sair no processo de secagem, reduzem de tamanho e, assim, dificultam a reabsorção da água no futuro.

Além disso, durante a secagem os grãos diminuem de tamanho e, com isso, ocorre o encolhimento do tegumento dos grãos, e este encolhimento deixa o tegumento menos permeável à entrada de água.

A literatura existente nos indica o seguinte:

- **milho:** absorção de umidade 5 a 8 vezes mais lenta que a secagem.
- **soja:** absorção de umidade 2 a 3 vezes mais lenta que a secagem.

3.8 EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO (SECAGEM X REUMIDIFICAÇÃO)

Para que se desmitifique a questão da reumidificação dos grãos pelo ar de aeração, serão apresentadas as tabelas de equilíbrio higroscópico para várias espécies de grãos em diversas condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Tabela 8 – Equilíbrio higroscópico da soja.

Umidade de equilíbrio da soja (%)													
Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)												
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
10	6,1	7,0	7,8	8,6	9,5	10,3	11,2	12,2	13,2	14,4	15,7	17,3	19,4
12	6,0	6,9	7,7	8,5	9,4	10,2	11,1	12,1	13,1	14,3	15,6	17,2	19,3
14	5,9	6,7	7,6	8,4	9,3	10,1	11,0	12,0	13,0	14,2	15,5	17,1	19,2
16	5,8	6,6	7,5	8,3	9,2	10,0	10,9	11,9	12,9	14,1	15,4	17,0	19,1
18	5,7	6,5	7,4	8,2	9,1	10,8	10,8	11,8	12,8	14,0	15,3	16,9	19,0
20	5,6	6,4	7,3	8,1	9,0	9,8	10,7	11,7	12,8	13,9	15,2	16,9	19,0
22	5,4	6,3	7,2	8,0	8,9	9,7	10,7	11,6	12,7	13,8	15,2	16,8	18,9
24	5,3	6,2	7,1	7,9	8,8	9,6	10,6	11,5	12,6	13,7	15,0	16,6	18,7
26	5,2	6,1	7,0	7,8	8,6	9,5	10,4	11,3	12,4	13,6	14,9	16,5	18,7
28	5,1	6,0	6,9	7,7	8,6	9,5	10,4	11,3	12,4	13,6	14,9	16,5	18,7
30	5,0	5,9	6,8	7,6	8,5	9,4	10,3	11,3	12,3	13,5	14,8	16,5	18,6
32	4,9	5,8	6,7	7,5	8,4	9,3	10,2	11,2	12,2	13,4	14,8	16,4	18,5

Fonte: Kepler Weber, 2013.

Tabela 9 – Equilíbrio higroscópico do milho.

Umidade de equilíbrio do milho (%)													
Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)												
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
10	9,9	10,6	11,2	11,8	12,5	13,1	13,8	14,6	15,4	16,3	17,3	18,6	20,3
12	9,7	10,3	11,0	11,6	12,3	12,9	13,6	14,4	15,2	16,1	17,1	18,4	20,0
14	9,4	10,1	10,7	11,4	12,0	12,7	13,4	14,2	15,0	15,9	16,9	18,2	19
16	9,2	9,9	10,5	11,2	11,8	12,5	13,2	14,0	14,8	15,7	16,7	18,0	10,7
18	9,0	9,7	10,3	11,0	11,6	12,3	13,0	13,8	14,6	15,5	16,6	17,9	19,5
20	8,8	9,5	10,1	10,8	11,5	12,1	12,8	13,6	14,4	15,3	16,4	17,7	19,4
22	8,6	9,3	10,0	10,6	11,3	12,0	12,7	13,4	14,3	15,2	16,2	17,5	19,2
24	8,5	9,1	9,8	10,4	11,1	11,8	12,5	13,3	14,1	15,0	16,1	17,4	19,1
26	8,3	8,9	9,6	10,3	10,9	11,6	12,3	13,1	13,9	14,9	15,9	17,2	19,0
28	8,1	8,8	9,4	10,1	10,8	11,5	12,2	12,9	13,8	14,7	15,8	17,1	18,8
30	7,9	8,6	9,3	9,9	10,6	11,3	12,0	12,8	13,6	14,6	15,6	17,0	18,7
32	7,8	8,4	9,1	9,8	10,5	11,1	11,9	12,6	13,5	14,4	15,4	16,8	18,6

Fonte: Kepler Weber, 2013.

Tabela 10 – Equilíbrio higroscópico do trigo.

Umidade de equilíbrio do trigo (%)													
Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)												
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
10	10,1	10,7	11,3	11,9	12,6	13,2	13,9	14,6	15,3	16,2	17,2	18,4	20,0
12	9,9	10,6	11,2	11,8	12,4	13,1	13,7	14,4	15,2	16,1	17,1	18,3	19,9
14	9,8	10,4	11,0	11,7	12,3	12,9	13,6	14,3	15,1	16,0	17,0	18,2	19,8
16	9,7	10,3	10,9	11,5	12,1	12,8	13,5	14,2	15,0	15,8	16,8	18,1	19,7
18	9,5	10,1	10,8	11,4	12,0	12,7	13,3	14,1	14,8	15,7	16,7	18,0	19,6
20	9,4	10,0	10,6	11,3	11,9	12,5	13,2	13,9	14,7	15,6	16,6	17,8	19,4
22	9,3	9,9	10,5	11,1	11,8	12,4	13,1	13,8	14,6	15,5	16,5	17,7	19,4
24	9,1	9,8	10,4	11,0	11,6	12,3	13,0	13,7	14,5	15,4	16,4	17,6	19,3
26	9,0	9,6	10,3	10,9	11,5	12,2	12,9	13,6	14,4	15,3	16,3	17,5	19,2
28	8,9	9,5	10,2	10,8	11,4	12,1	12,8	13,5	14,3	15,2	16,2	17,4	19,1
30	8,8	9,4	10,0	10,7	11,3	12,0	12,6	13,4	14,2	15,1	16,1	17,4	19,0
32	8,6	9,3	9,9	10,6	11,2	11,9	12,5	13,3	14,1	15,0	16,0	17,2	18,9

Fonte: Kepler Weber, 2013.

Tabela 11 – Equilíbrio higroscópico do arroz.

Umidade de equilíbrio do arroz (%)													
Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)												
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
10	9,9	10,6	10,9	11,4	11,9	12,4	13,0	13,6	14,2	14,9	15,8	16,8	18,1
12	9,7	10,2	10,7	11,2	11,7	12,3	12,8	13,4	14,1	14,8	15,6	6,6	18,0
14	9,6	10,1	10,6	11,1	11,6	12,1	12,7	13,3	13,9	14,6	15,5	16,5	17,9
16	9,4	9,9	10,4	10,9	11,4	12,0	12,5	13,1	13,8	14,5	15,4	16,4	17,8
18	9,3	9,8	10,3	10,8	11,3	11,8	12,4	13,0	13,7	14,4	15,3	16,3	17,6
20	9,1	9,6	10,2	10,7	11,2	11,7	12,3	12,9	13,5	14,3	15,1	16,1	17,5
22	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,6	12,1	12,7	13,4	14,1	15,0	16,0	17,4
24	8,9	9,4	9,9	10,4	10,9	11,5	12,0	13,6	13,3	14,0	14,9	15,9	17,3
26	8,7	9,3	9,8	10,3	10,8	11,3	11,9	12,5	13,2	13,9	14,8	15,8	17,2
28	8,6	9,1	9,6	10,2	10,7	11,2	11,8	12,4	13,1	13,8	14,7	15,7	17,1
30	8,5	9,0	9,5	10,0	10,6	11,1	11,7	12,3	13,0	13,7	14,6	15,6	17,0
32	8,4	8,8	9,4	9,9	10,5	11,0	11,6	12,2	12,8	13,6	14,5	15,5	16,9

Fonte: Kepler Weber, 2013.

Na Tabela 8, referente à soja, vê-se que esta assumiria uma umidade de 14%, ou seja essa seria a umidade de equilíbrio, com o ar nas condições de 18°C e com U.R. de 75%.

Pode-se ver que os demais produtos também ficariam com umidade acima de 14% só quando a umidade relativa do ar fosse superior a 70 ou 75%, e com baixas temperaturas.

Isso, aliado ao que foi exposto anteriormente sobre a dificuldade de se colocar a água novamente dentro dos grãos, significa que, para umidificar os grãos a níveis acima dos 14%, seria preciso ter um ar bastante úmido, acima de 70 ou 75% de U.R., relativamente frio, abaixo de 18 °C, e ainda ficar muito tempo passando o ar nestas condições pelos grãos.

Então, nesse momento pode-se retomar a questão que foi levantada na seção anterior sobre as regiões de aeração.

Normalmente, existe muito receio por parte dos operadores em realizar a aeração quando a umidade relativa do ar está elevada, acima de 70%. No entanto, se estivermos com temperaturas na massa de grãos acima de 20°C, **principalmente** se estiver próxima ou acima de 30°C e se houver um ar que esteja no mínimo de 3 a 5°C mais frio que os grãos, **deve-se** realizar a aeração corretiva, independentemente da umidade relativa do ar.

Justifica-se isso partindo dos seguintes princípios:

1. a temperatura dos grãos deve ser mantida o **mais baixo** possível;
2. é muito mais difícil reumidificar os grãos do que secá-los;
3. os períodos de alta umidade relativa são curtos;
4. qualquer umidade que seja colocada para dentro dos silos e até mesmo dos grãos será facilmente removida posteriormente.

Salienta-se que isso é colocado com relação à aeração corretiva, sendo que para aeração de resfriamento, logo após o carregamento dos silos e para aeração de manutenção, deve-se seguir o gráfico da Figura 52.

3.9 RECOMENDAÇÕES IMPORTANTES

Para finalizar, colocam-se alguns lembretes importantes:

- limpar bem e secar os grãos antes de armazenar;
- limpar toda a estrutura;
- eliminar a possibilidade de goteiras antes de carregar o silo;
- não permitir acúmulo de lixo ou produto próximo à unidade armazenadora;
- desinsetizar a unidade antes de receber nova safra;
- monitorar a temperatura e a umidade dos grãos;
- monitorar a presença dos insetos em pontos críticos do silo;
- armazenar safra nova somente em estrutura que tenha sido higienizada;
- nunca misturar grão novo com grão velho.

Pode-se concluir dizendo que se os grãos forem colocados nos silos em condições de sanidade, nível de impurezas e umidade adequadas, e logo em seguida promover-se um resfriamento da massa por meio da aeração, teremos condições de manter a qualidade do produto por longos períodos.

Para isso, deve-se ficar atento às leituras diárias das temperaturas internas dos silos, realizar a verificação sobre presença de insetos, evitar focos de proliferação de insetos também fora dos silos e realizar os procedimentos corretivos necessários assim que qualquer anomalia se apresente.

Nessas ações corretivas, destacam-se a própria aeração, a aplicação de fumigantes e até a transilagem.

Se essas orientações forem seguidas, tem-se certeza de que o resultado final será um produto com as suas qualidades originais preservadas, que é o objetivo da conservação.

Lembrando que o agronegócio representa diretamente 26% do PIB brasileiro e 40% indiretamente.

É NOSSO DEVER EVITAR QUE ISSO ACONTEÇA...

Figura 53 – Grãos de milho mofados e com presença de insetos.



Figura 54 – Espiga de milho danificada por fungos e insetos.



PORQUE TEMOS A CERTEZA DE QUE O BRASIL É QUE ALIMENTARÁ O MUNDO.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Leis, decretos, etc. Portaria Ministério do Trabalho e Emprego n. 202. NR-33 SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção I, 29 ago. 2012.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. Portaria SIT n. 313 do Ministério do Trabalho e Emprego. NR-35 TRABALHO EM ALTURA. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção I, p.140, 27 mar. 2012.
- BRUNNER, HANS H. In der erinnerung seiner schüler, 1989 .
- HARRIS K.; LINDBLAD, C. **Postharvest grain loss assessment methods paperback**. Virgínia: Vita, 1990.
- KEPLER WEBER. **Apostila Operação e manutenção de equipamentos KW**. Panambi, RS: Kepler Weber, 2013.
- KEPLER WEBER. **Apostila Treinamento de empreiteiros**. Panambi, RS: Kepler Weber, 2014.
- LASSERAN, J. C. **Princípios gerais de secagem**. Viçosa: CETREINAR, 1995. 1149 p.
- MILNER, M.; CHRISTENSEN C. M.; GEDDES, W. F. Grain Storage Studies 6, W. F. Grain storage studies 6, Wheat respiration in relation to moisture content, mold growth, chemical deterioration and heating. Cereal chemistry, v. 24, p. 182-199, 1947.
- RAZÊRA, IVONETE TEIXEIRA. **Classificação Vegetal Milho**. Curitiba, PR: SENAR Paraná, 2014.
- RAZÊRA, IVONETE TEIXEIRA. **Trabalhador na classificação de produtos de origem vegetal: Classificação da soja**. Curitiba, PR: SENAR Paraná, 2007.
- VENTILADORES: conceitos gerais, classificação, curvas características e as 'leis dos ventiladores'. Unicamp. Disponível em: <www.fem.unicamp.br/~em712/sisflu09.doc>. Acesso em: 12 jan. 2015.

KEPLERWEBER®



SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL

Administração Regional do Estado do Paraná
Rua Marechal Deodoro, 450 - 16º andar
Fone: (41) 2106-0401 - Fax: (41) 3323-1779
80010-010 - Curitiba - Paraná
e-mail: senarpr@senarpr.org.br
www.sistemafeaep.org.br