



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

GILSON SEVERINO DA SILVA FILHO

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO: RISCOS DE EXPLOSÃO EM
UNIDADES DE BENEFICIAMENTOS E ARMAZENAGEM DE GRÃOS.**

RECIFE, 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

GILSON SEVERINO DA SILVA FILHO

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO: RISCOS DE EXPLOSÃO EM
UNIDADES DE BENEFICIAMENTOS E ARMAZENAGEM DE GRÃOS.**

Relatório entregue ao professor/orientador Renato Laurenti como requisito avaliativo para conclusão do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental.

RECIFE, 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

GILSON SEVERINO DA SILVA FILHO

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO: RISCOS DE EXPLOSÃO EM
UNIDADES DE BENEFICIAMENTOS E ARMAZENAGEM DE GRÃOS.**

Curso: Engenharia Agrícola e Ambiental

Aluno: Gilson Severino da Silva Filho

Matrícula: 20.068.47-39

Local do estágio: UFRPE (Laboratório de Grãos)

Orientador: Prof. Dr. Renato Laurenti

Supervisor: Prof. Dr. Renato Laurenti

Período de estágio: 01/12/2022 a 17/03/2023

Carga horária: 240 horas

RECIFE, 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço à todos, minha família, parentes e amigos que com seu incentivo me fizeram chegar à conclusão do meu curso e começo de uma nova carreira. Em especial a minha mãe in memoriam este trabalho de pesquisa é inteiramente dedicado a ela.

Quero agradecer aos meus grandes amigos e amigas, Amanda Cristina, José Neto, Marcones Andrade, Lucas Pinheiro, Diego Oliveira e Cícero Vicente. Obrigado por todos os conselhos úteis, bem como palavras motivacionais e puxões de orelha. As risadas que compartilhei durante esse momento difícil na faculdade, também me ajudaram a passar o dia. A minha companheira de vida Thamiris Pinheiro, mulher de fibra que jamais negou apoio carinho e incentivo. Obrigado por tudo. Este ESO também é de vocês!

Estimado professor/orientador Renato Laurenti é com muita admiração e carinho que gostaria de expressar meu agradecimento por tudo que você faz por mim e pela dedicação que deposita em suas aulas.

A todos os colegas da Graduação pelos bons momentos, amizade e companheirismo.

Aos grandes xepeiros e xepeiras, pela companhia durante a minha estadia na residência universitária.

A todos, que de alguma forma tenham contribuído para a realização deste trabalho.

OBRIGADO!

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	6
1.1	Objetivos.....	7
1.1.1	Objetivo geral.....	7
1.1.2	Objetivos específicos	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1	Segurança do trabalho	7
2.2	Unidades de recebimento e beneficiamento de grãos	8
2.2.1	Sistemas de armazenamento	8
2.2.2.	Armazéns horizontais	9
2.2.3	Silos verticais	9
2.2.4	Etapas para beneficiamento e armazenamento de grãos.....	9
2.3	Atmosferas explosivas	11
2.4	Explosões de poeira	12
2.5	Fatores que influenciam explosões de poeiras	12
2.5.1	Dimensão da partícula.....	13
2.5.2	Concentração de poeiras	13
2.5.3	Umidade das partículas	14
2.5.4	Concentração de oxigênio.....	15
2.5.5	Fonte de ignição.....	15
2.6	Métodos e equipamentos para prevenção e combate a explosões depoeiras	16
2.6.1	Treinamento.....	17
2.6.2	Monitoramento.....	18
2.6.3	Movimentação dos grãos	19
2.6.4	Sistema de exaustão	20
2.6.4.1	Ventilação geral diluidora.....	21
2.6.4.2	Ventilação local exaustora.....	21
2.6.5	Instalações elétricas.....	22
2.6.6	Manutenção.....	23
2.6.7	Limpeza	24
2.6.8	Material inerte.....	25
3	METODOLOGIA.....	26
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26

5	REFERÊNCIAS	27
----------	--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O Brasil maior produtor de soja do mundo produz grãos de forma crescente a cada ano e para acompanhar esse crescimento é necessária uma grande quantidade de locais para a estocagem dos cereais, entre os quais, os silos são utilizados por proporcionarem grande quantidade de estocagem em um menor espaço.

Silos são construções destinadas ao armazenamento de produtos granulares ou pulverulentos a granel, tipicamente utilizados na indústria, agricultura, siderurgia e portos entre outros. Podem ser construídos com os mais diversos materiais, como concreto armado, aço, madeira, argamassa armada, etc., porém os mais utilizados atualmente na agricultura são os silos metálicos com chapa corrugada. O armazenamento de produtos em silos é considerado uma solução de grande viabilidade devido à economia de espaço físico, mão-de-obra e custo de transporte, assim como a possibilidade de conservação do produto ensilado. (PALMA, 2005, p.1).

A concentração de poeiras em suspensão gera risco de explosão em locais de armazenamento de cereais, portanto é necessário verificar como este tipo de acidente pode ser evitado com o objetivo de proteger a edificação e os trabalhadores da organização, considerando que podem gerar consequências desastrosas à organização.

Além disso os silos são considerados espaços confinados e são objeto da NR 33 da NBR 14.787 da ABNT e de alguns itens da NR 18 - Construção Civil do MTE. O espaço confinado apresenta sérios riscos com danos à saúde, sequelas e morte. São riscos físicos, químicos, ergonômicos, biológicos e mecânicos e são uma triste realidade no quando não segue as normas técnicas de segurança.

No entanto, em função da complexidade e dimensão, os silos podem ser centros de graves acidentes do trabalho, por serem caracterizados como espaços confinados, enclausurados, perigosos e traiçoeiros (SÁ, 2007; AMARILLA et al., 2012). Sérios acidentes, muitos deles fatais, ocorrem por quedas de altura, asfixia na massa de grãos, intoxicação, choque elétrico e alto potencial de riscos de incêndios e explosões devido ao acúmulo de poeiras no interior do silo, e que também acabam se depositando nas máquinas e nos equipamentos elétricos (RANGEL JR., 2008).

O presente trabalho aborda, principalmente, a questão de explosão de poeiras em silo, por meio da busca de informações de requisito de prevenção e combate a explosão, normas e regulamentações relacionadas a explosões por sólidos dispersores no ar.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Reconhecer os requisitos de prevenção e combate a explosão em unidades armazenadoras de grãos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a explosão devido a sólidos dispersos no ar;
- Descrever soluções a fim de evitar explosões em unidades armazenadora de grãos;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa são apresentados os conceitos sobre segurança do trabalho, unidades de recebimento e beneficiamento de grãos, os diferentes sistemas de armazenagem. Em consequência dos sistemas de beneficiamento e armazenamento surgem desafios que devem ser analisados, desta forma também são apresentados os conceitos fundamentais para formação de atmosferas explosivas, e quais as principais características que podem gerar explosões de poeiras, e assim desenvolvendo o tema da prevenção de acidentes.

2.1 Segurança do trabalho

A segurança e saúde no trabalho (SST) é um conjunto de materiais e métodos que buscam prevenir acidentes e doenças profissionais, para promover e proteger a saúde dos trabalhadores. Um programa de segurança e saúde do trabalho é parte do sistema de gestão de uma organização utilizado para desenvolver e implementar as políticas de SST e gerir os riscos correspondentes (Silva, 2015).

Segundo a ABNT ISO NBR 45001:2018 - Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional, um sistema de gestão tem por objetivo fornecer uma estrutura para gerenciar os riscos e oportunidades de saúde e segurança ocupacional (SSO).

Os objetivos e os resultados pretendidos do sistema de gestão de SSO são prevenir lesões e problemas de saúde relacionados ao trabalho para os trabalhadores e proporcionar locais de trabalho seguros e saudáveis; conseqüentemente, é extremamente importante para a organização eliminar os perigos e minimizar os riscos, tomando medidas preventivas e de proteções efetivas.

Em continuidade a proposta do trabalho são abordados métodos e procedimentos que podem ser aplicados para elaboração do programa de saúde e segurança do trabalho e prevenção de acidentes, voltado diretamente ao risco de explosão de poeiras em silos de armazenamento de grão.

2.2 Unidades de recebimento e beneficiamento de grãos

As unidades de recebimento e beneficiamento de grãos, de cooperativas e unidades particulares, juntas formam um sistema de armazenagem que deve apresentar a capacidade de receber toda a produção agrícola nacional, e ainda contar com a possibilidade da entrada de produtos internacionais no mercado interno.

Em 2018 no Brasil a safra foi estimada em 228,3 milhões de toneladas, enquanto a capacidade de armazenagem estático do país, segundo dados do IBGE (2018), está em aproximadamente 169 milhões de toneladas, ou seja a produção é bem maior que a quantidade de armazenagem no país. Divididos em armazenagem convencional, armazéns graneleiros e silos agrícolas. Demonstrando a possibilidade de crescimento no sistema de armazenagem.

Segundo (BAUDET; VILLELA, 2000), o processo de armazenagem de grãos não proporciona melhoria na sua qualidade, entretanto tem o dever de manter, desta forma, somente boas práticas de armazenagem conservam a qualidade física e fisiológica dos grãos.

Para que as unidades consigam realizar o armazenagem adequado é necessário um processo que aumente o tempo de armazenagem, proporcionando o padrão necessário para a indústria nacional beneficiar o produto e também para a exportação da matéria prima.

De modo geral esses processos são: recepção, limpeza, secagem, armazenagem e movimentação. Segundo Milman (2002), essas operações são denominadas pré processamento de grãos, e os locais onde são realizadas são as Unidades Beneficiadoras de Grãos (UBG). Os locais que também apresentam estruturas de armazenagem são denominados Unidades de Beneficiamento e Armazenagem de Grãos (UBAG).

2.2.1 Sistemas de armazenagem

Dentro das unidades de recebimento e beneficiamento de grãos, o sistema

de armazenamento a granel dos grãos ocorre em dois tipos principais de estruturas, os armazéns horizontais, conhecidos também por armazéns graneleiros, e os silos verticais. Ambos apresentam condições necessárias à preservação da qualidade do produto durante maiores períodos.

2.2.2. Armazéns horizontais

Os armazéns horizontais são unidades de grande capacidade, que apresentam predominância de comprimento em relação a largura. Normalmente possuem fundo plano, ou em V. Essas unidades armazenadoras são instaladas ao nível do solo ou semienterradas (WEBER, 2005).

2.2.3 Silos verticais

Sem dúvida o modelo de silo mais conhecido por parte da população. Já que é o mais usado para armazenagem de grãos no Brasil. Segundo Milman (2002), é uma estrutura isolada, projetada para armazenamento de grãos a granel, geralmente de forma cilíndrica e construída em concreto ou de chapas metálicas corrugadas ou lisas. Sua estrutura do silo é composta por corpo cilindro e cobertura cônica, interligados entre si. O fundo do silo é seu fechamento inferior, pode ser plano, cônico e parcialmente cônico. A base é a estrutura que transfere as cargas verticais que atuam no silo para o solo.

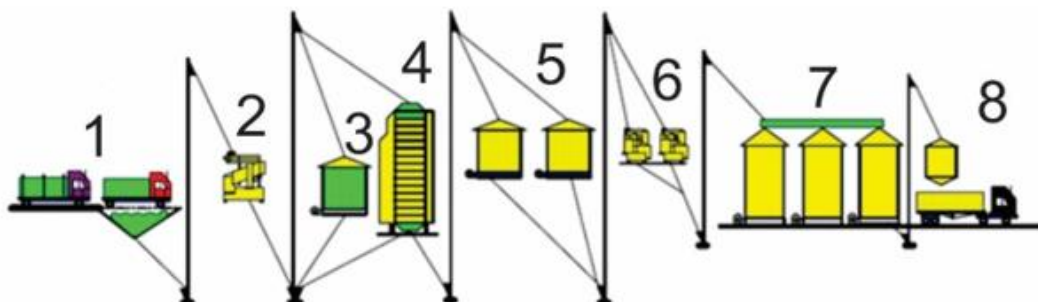
Seja qual for o sistema de armazenamento eles devem ser munidos de sistemas de carga e descarga, e dependendo da aplicação, sistemas de monitoramento, de aeração e termometria, para garantir a integridade e conservação dos grãos.

2.2.4 Etapas para beneficiamento e armazenamento de grãos

As estruturas mais presentes nas unidades são: a estrutura de recepção (moegas), silos pulmões), limpeza (máquinas processadoras de pré limpeza e máquinas de limpeza), secagem (secadores e fornalhas), armazenagem (silos verticais e graneleiros) e por ultimo o envio do produtos

No esquema da Figura 1, demonstra-se de maneira simplificada como funciona o processo dentro de uma unidade, desde seu recebimento até seu armazenamento final.

Figura 1: Fluxograma básico de uma unidade armazenadora à granel.



Fonte: Adaptado de Testa (2018).

As estruturas representadas na Figura 1 são:

- 1 - Moega;
- 2 - Máquina de pré limpeza;
- 3 - Silo Pulmão;
- 4 - Secador;
- 5 - Silo para seca aeração;
- 6 - Máquinas de limpeza;
- 7 - Setor de armazenagem;
- 8 - Expedição.

O processo de beneficiamento e armazenamento é semelhante para todos os tipos de grãos que são processados, porém pode sofrer alteração a depender da característica física que se encontra o grão, como por exemplo se estiver com alta umidade pode haver a necessidade de passar mais de uma vez pelo processo de secagem.

A primeira etapa do processo é o recebimento dos grãos, o caminhão transportador com auxílio do tombador, deposita todo o material dentro da moega. Quando não possui tombador, o caminhão deve basculhar o material na entrada da moega.

Na maioria das vezes os grãos possuem um percentual de impurezas maior que o desejado, sendo assim o sistema de pré limpeza dos grãos busca remover o

excesso das impurezas sólidas e grosseiras como terra, outros grãos, folhas, cascas de grãos, galhos, entre outros.

Já o silo pulmão armazena a matéria-prima de maneira temporária, que em seguida é direcionada para o silo de seca aeração, que vai receber o calor através do secador. Segundo Silva et. al. (2000), a secagem dos grãos é um tratamento térmico, no qual ocorre a diminuição do teor de água da massa do grão, proporcionando uma maior qualidade para o armazenamento. O calor é gerado por uma fornalha e direcionado ao silo de seca aeração que vai retirar a umidade contida no grão.

Todo o transporte horizontal no processo é feito por correias, ou esteiras, e redler, enquanto o transporte vertical é feito por elevadores. Após a secagem, todo o material é direcionado para a etapa de limpeza, mais completa, que garante ao grão a devida qualidade para que possa entrar nos processos da indústria, e conseqüentemente para que o armazenamento possa ser feito com maior eficiência.

2.3 Atmosferas explosivas

Para que se inicie uma combustão, três elementos são necessários: o combustível, o comburente, na maior parte dos casos o oxigênio, e a fonte de ignição. Essa combinação forma o triângulo do Fogo (MACCOMÉVAP, 2004).

Para que a uma atmosfera se torne explosiva é necessário que a quantidade de gás, vapor ou pó no ar chega a proporções que uma faísca pode provocar a explosão. Em silos de cereais, por ter uma maior quantidade de poeira o triângulo do fogo sofre uma alteração adicionando-se a dispersão do combustível e a fato de estar confinado, formando o tetraedro do Fogo (MACCOMÉVAP, 2004).

Para a explosão acontecer é necessário que, em frações de segundos, ocorra um aumento de pressão, de volume e liberação de energia, normalmente gerando aumento de temperatura, produzindo gases e ruídos. Segundo Miller e Tilman (2008), inicia-se quando um estímulo exterior provoca um aumento de energia cinética no combustível, que deve apresentar características explosivas, levando à quebra das ligações das moléculas afetadas, provocando a sua decomposição e conseqüente liberação de energia, propagando o efeito às moléculas adjacentes, iniciando o efeito de "Reação em Cadeia".

2.4 Explosões de poeira

Uma explosão de poeira ocorre quando, qualquer material com característica combustível em pó, fica suspenso no ar, dentro de um local confinado. Todo o processo, dentro da unidade de recebimento e beneficiamento de grãos, envolve o transporte e de posição do material, e em praticamente todas as etapas existe a geração de pó originado do atrito entre os grãos dos cereais entre si, e também o atrito com o equipamento, gerando uma grande liberação de partículas originando assim a poeira.

O setor de armazenamento industrial apresenta essa característica devido aos grandes volumes de armazenamento dos silos, o momento com a maior geração de poeira ocorre quando os mesmos estão sendo carregado. Isso acontece, pois, são despejados no interior do silo por esteiras na parte central, e conforme o carregamento vai sendo realizado todo o ambiente interno e estruturas auxiliares ao redor são tomados por poeiras, que quando aliada a outros fatores pode gerar a explosão.

Devido à dificuldade de determinar-se o grau de explosividade de poeiras diversas, foi desenvolvido nos EUA, um aparelho que consegue determinar se o risco das explosões relacionando sua facilidade de ignição e a gravidade da explosão. Esse equipamento indica as características do pó em estudo, permitindo determinar experimentalmente a sensibilidade de ignição, que se dá em função da temperatura de ignição e da energia necessária para iniciar a explosão. Com isso é possível obter-se os valores da pressão máxima de explosão e da velocidade máxima de pressão, possibilitando estimar a gravidade de uma explosão.

No Brasil, uma das maiores produções é de milho, que na safra de 2018/2019 chegou a marca de 96 milhões de toneladas, apresenta um índice de explosividade alto, e grande sensibilidade de explosão.

2.5 Fatores que influenciam explosões de poeiras

Para ocorrer uma explosão originada por sólidos dispersos no ar existem fatores que, quando atuam de maneira simultânea, geram a possibilidade do acidente, os principais pontos a serem verificados como recomendação da norma NFPA 68:2007 são: a dimensão da partícula de poeira, a sua concentração em g/m³ de ar, a umidade, a concentração de oxigênio, a potência da fonte e ignição, e as

impurezas presentes.

Em um primeiro momento, as explosões de poeiras se iniciam com uma deflagração pequena, que pode ocasionar danos em peças das máquinas em funcionamento, como por exemplo o sistema de exaustão, e também provocam a agitação nas partículas que estão depositadas no ambiente ao longo do período de utilização, assim criando uma nuvem de poeira cada vez maior, propiciando a propagação de explosões secundárias e terciárias, que conseqüentemente causam mais danos que a explosão inicial. A explosão iniciada em algum ponto, pode se propagar para as outras estruturas que estão ao seu redor.

2.5.1 Dimensão da partícula

Para sólidos suspensos no ar quando menor sua dimensão maior a chance de explosão. A dimensão da partícula está diretamente relacionada a facilidade de ignição da mesma e velocidade de aumento da pressão, por conta de sua baixa densidade.

Ensaio de laboratório demonstram que para uma mesma quantidade de partículas, em peso, originadas do mesmo material, quando varia-se a dimensão da partícula tende-se a obter nas partículas maiores, uma velocidade de aumento da pressão menor e também com maior dificuldade para a ignição, quando comparada às partículas de menores dimensões, que apresentam justamente o oposto nos resultados, exigindo concentração mínima necessária para que haja explosão, a temperatura de ignição e a energia necessária para a ignição menores.

2.5.2 Concentração de poeiras

As poeiras seguem o mesmo princípio de gases inflamáveis quando se aborda o quesito concentração. Existe um intervalo específico de concentração de pó, no qual pode acontecer a explosão, o intervalo é delimitado pelo limite inferior de explosividade (LIE) e pelo limite superior de explosividade (LSE).

Em concentrações abaixo do LIE faltará o oxidante, no caso a partícula combustível, e quando acima do LSE a explosão não ocorrerá devido a insuficiência de espaço entre as partículas, podendo iniciar apenas um incêndio, contudo deve-se ter uma abordagem precisa no controle do incêndio, pois podem

se formar nuvens de pó durante o combate e com isso o incêndio pode evoluir para explosão.

A maneira de verificar os limites de concentração é relacionando o peso por volume de ar, ou seja, g/m^3 , contudo a dimensão da partícula influencia os limites, por esse motivo para se determinar o LIE utiliza-se partículas que passam por uma peneira com malha 200, separando partículas de diâmetro igual ou inferiores a 74 micron, que é o tamanho considerado ideal para a explosão.

Sá (1997) afirma que o limite superior de explosividade é um conceito que no ponto de vista prático gera questionamentos, porque não possui grande aplicação e é de difícil determinação experimental, pois apresenta grandes dificuldades como o de proporcionar uma nuvem de poeira uniforme e com concentração o suficiente para determiná-lo.

O grau de destruição de muitas explosões não é maior porque o pó não se encontra dispersado uniformemente por todo o volume disponível. Dessa forma são raras as vezes que uma nuvem de pó está em condições ideais para a formação de pressões observadas empiricamente, ou em ensaios controlados onde os volumes disponíveis variam de 1m^3 à 15m^3 em estudos já realizados.

A NPFA 68 recomenda que a concentração de poeiras em ambientes explosivos seja inferior a 4g/m^3 de ar, enquanto a recomendação da NPT 027 do Corpo de Bombeiros do estado do Paraná no Brasil recomenda que não deve ser superior a que 20g/m^3 .

2.5.3 Umidade das partículas

A umidade presente nas partículas faz com que a temperatura de ignição aumente, porque além da energia mínima para deflagração é necessária energia suficiente para evaporar da água. Por exemplo a temperatura de ignição da nuvem de poeira, originada do amido de milho pode aumentar até $50\text{ }^\circ\text{C}$, variando de acordo com a umidade presente, que normalmente está na faixa de 1,6% a 12,5%.

Contudo o objetivo das unidades de beneficiamento e armazenamento é manter a integridade do grão, e por isso existe um controle criterioso da umidade, que inclusive passa por uma etapa de secagem antes do armazenamento final, um agravante nesse ponto é que quando a umidade dos grãos está acima de 20%, pode-

se iniciar o processo de decomposição do mesmo, gerando acúmulo de gases inflamáveis, como metanol, propanol e butanol, oriundos da fermentação.

2.5.4 Concentração de oxigênio

A facilidade de ignição de uma nuvem de pó está relacionada diretamente com a quantidade de oxigênio presente. A combustão do pó se produz na superfície das partículas, dessa forma, a velocidade de reação depende do contato do pó com oxigênio.

Pode-se utilizar a estratégia de diluir a quantidade de oxigênio presente, adicionando outro gás ao local, em consequência da diminuição da pressão parcial de O₂, a energia necessária para explosão e temperatura de ignição aumentam, e a pressão máxima da explosão tende a ser menor, e a diminuição se dá pelo coeficiente de mola do gás que deve possuir características inertes.

2.5.5 Fonte de ignição

A fonte de ignição é determinada por dois parâmetros, a temperatura de ignição e a energia necessária para iniciar a deflagração. Conforme Sá (1997) afirma, as nuvens de poeiras podem entrar em combustão por ação de chama, faíscas, arcos elétricos, superfícies quentes e eletricidade estática.

A temperatura necessária se encontra na faixa entre 300 e 600 °C, e a energia necessária está no intervalo de 10 a 40 mJ, variando conforme a origem do pó. Quando comparada com a energia necessária para iniciar a combustão em gases, verifica-se que as poeiras necessitam de 20 a 50 vezes mais.

A NFPA 68:2007 recomenda que a eliminação de todas as fontes de ignição comuns é um princípio básico na prevenção de acidentes por explosão. Verifica-se que o principal fator responsável pelos acidentes, são as faíscas mecânicas, com 35% normalmente provocadas nas paradas de manutenção onde o uso de ferramentas de corte, solda, são comuns.

A eletricidade estática e equipamentos elétricos juntos se tornam a segunda maior causa de ignição. A eletricidade estática deve ser eliminada dos equipamentos, e os equipamentos devem ser instalados de acordo com a ABNT

NBR IEC 60079- 14:2016, seguindo em paralelo as recomendações da NPT 027 e ABNT NBR 5419:2015 proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.

Para análise de processos que possam prevenir acidentes nessa área também são estudadas a NR 33, que aborda segurança e saúde nos trabalhadores em espaços confinados, os silos, e a NR 19: que faz recomendações de maneira mais geral a todos os tipos de explosivos do território nacional, e com isso pode-se adotar protocolos que garantam a segurança em situações de risco.

2.6 Métodos e equipamentos para prevenção e combate a explosões de poeiras

No ano de 2001 o Ministério do Trabalho e Emprego sancionou uma portaria, SIT/DSST nº 17 de 15/05/2001, que tem por objetivo estabelecer os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho, de forma a tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento das atividades da agricultura, pecuária, silvicultura e exploração florestal com a segurança e saúde e meio ambiente do trabalho, (Ministério do Trabalho e Emprego, 2001).

A portaria, no item 1.15, aborda especificamente silos e armazéns, estabelecendo indicações básicas para se evitar acidentes também provenientes da explosão por pó de produtos agrícolas. Nesse item algumas solicitações devem ser atendidas, como: os silos devem ser adequadamente dimensionados e construídos em solo com resistência compatível às cargas de trabalho; é obrigatória a prevenção dos riscos de explosões, incêndios, acidentes mecânicos, asfixia e dos decorrentes da exposição a agentes químicos, físicos e biológicos em todas as fases da operação do silo, (Ministério do Trabalho e Emprego, 2001).

A regulamentação também aborda procedimentos para funcionamento cotidiano dos silos, como: o modo de operação dos silos deve levar em consideração os riscos à saúde e segurança dos trabalhadores e ao meio ambiente; é obrigatória a utilização segura de todas as máquinas e equipamentos envolvidos no processo de operação dos silos; antes da entrada de trabalhadores na fase de abertura dos silos.

Deve ser medida a concentração de oxigênio e o limite de explosividade

relacionado ao tipo de material estocado, (Ministério do Trabalho e Emprego, 2001).

Mais diretamente aplicado ao tópico de explosões de poeiras, os riscos de combustão espontânea e explosão devem ser monitorados permanentemente, através do controle dos seguintes parâmetros:

- Quantidade e tipo do pó em suspensão;
- Tamanho das partículas;
- Umidade e temperatura ambientes;
- Grau de umidade do produto armazenado;
- Concentração de oxigênio;
- Variação da temperatura em função da fermentação do material ensilado;
- Formação de gases e vapores inflamáveis.

2.6.1 Treinamento

A conscientização de todos os funcionários, aplicando métodos de prevenção de incêndio diariamente, são meios importantes para reduzir o risco de uma explosão de pó. O anexo C da NPT 027 aborda o treinamento pessoal que os funcionários das empresas devem receber para que possam exercer suas funções da maneira mais segura possível.

A recomendação do Corpo de Bombeiros é que o treinamento deve ser realizado com todos os funcionários envolvidos nos processos de operação, manutenção, supervisão e segurança de instalações de unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas.

Por instrução da NPT 027, o treinamento deve ser realizado por um profissional habilitado da área de segurança, podendo ser um integrante do quadro de funcionários da própria unidade. Todos os funcionários, inclusive terceirizados devem ser receber treinamentos, que devem ser devidamente documentados, e realizados regularmente no período máximo de um ano, ou se houver alteração ou atualização do processo na unidade.



Figura 2: Formação de brigada de incêndio. (autoria própria)

O item 6 da NPT 027, estabelece procedimentos para as medidas de segurança na unidade. Esse item determina a formação de uma equipe que receberá um treinamento especial para agir em situações de prevenção e combate a incêndios, formando assim uma brigada de incêndio. Também exige que a unidade possua um plano de emergência que inclua ações em casos de soterramento e resgate de pessoas em espaços confinados e de armazenagem, de acordo com a NPT 016 – Plano de emergência contra incêndio, e NR 33 – Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados.

2.6.2 Monitoramento

Os silos, tanto verticais quanto horizontais, normalmente apresentam sistemas de termometria em seu interior, promovendo o controle de qualidade do produto armazenado, e também o controle da temperatura para que não se inicie uma autocombustão, além do controle de temperatura, dentro dos silos atuam sensores de nível e detectores de incêndio.

O item 6.4.5 da NPT 027, determina que os transportadores verticais e horizontais deverão ser dotados de sensores de temperatura nos mancais das polias, atuando em paralelo com sensores automáticos de movimento, que desligam

automaticamente os motores ao ser detectado o escorregamento da correia ou corrente.

Secadores devem possuir sensores de temperatura regulados para manter a massa de grãos a uma temperatura segura, controlando o fornecimento de calor ao secador, e permitindo a continuação do movimento de ar não aquecido através do secador, NPT 027.

Em estruturas onde a concentração de partículas no ar é mais acentuada, devem ser instaladas, por recomendação da NPT 027, sistemas de detecção e extinção de faíscas, atuando juntamente com sistemas de supressão de explosões, sensores que monitoram a concentração de poeiras no ar também são instaladas em todos os pontos críticos.

Atuando em conjunto com o sistema de monitoramento deve existir um sistema de alarme, NPT 019 – Sistema de detecção e alarme de incêndio. E deverá haver detector de gás portátil para os trabalhos a serem realizados no interior das áreas de armazenamento e túneis de manutenção, conforme exigência da NR 33.

2.6.3 Movimentação dos grãos

Todos os equipamentos de transporte dos cereais geram grande dispersão de poeiras nos ambientes, criando condições que aumentam as chances de uma explosão ocorrer. Os elevadores e sistemas de alimentação dos silos devem ser projetados e operados de forma a evitar o acúmulo de poeiras, em especial nos pontos onde seja possível a geração de centelhas. (Ministério do Trabalho e Emprego, 2001).

Nos sistemas de movimentação, elevadores de grãos, redler, ou esteiras, o atrito entre as partes metálicas pode gerar faíscas, portanto recomenda-se o uso de canecas plásticas, normalmente de poliuretano ou nylon, para elevadores; atuando como agente anti estática.

Equipamentos mais modernos são fabricados com esse princípio, contudo em equipamentos que não atuam com essa técnica, recomenda-se também substituir as pás de transportadores por componentes plásticos.

Para minimizar os danos podem ser utilizados sistema de alívio de pressão caso ocorra alguma explosão. A NPT 027, propõem que a cobertura do silo seja construída de maneira subdimensionada, para que no caso de uma explosão seja a

parte mais frágil do sistema, sendo assim a cobertura é removida e atua liberando a pressão, possibilitando diminuir os danos em outras partes da estrutura.

De forma similar todas as estruturas podem ser construídas com um ou mais pontos que podem atuar da mesma forma. As torres dos elevadores, tem em seu topo uma abertura coberta apenas por um chapéu chinês, que é expelido em caso de uma explosão. Em outras estruturas podem ser instalados discos ou painéis de ruptura, ou janelas de explosão, que possui diferentes formatos e tamanhos, e podem ser feitos de vários materiais.

O sistema pode ser composto por discos de ruptura que fornecem uma área suficiente de alívio para uma pressão específica. A janela rompe a uma pressão predeterminada, e por ser instalado em locais estratégicos do silo, diminui a dispersão de poeiras no ambiente, conseqüentemente diminuindo a possibilidade de explosões secundárias, e proporcionando controle de danos nas estruturas. (FIKE METAL PRODUCTS, 1997; REMBE, 2004).

2.6.4 Sistema de exaustão

Devido a granulometria das partículas, essas entram em suspensão facilmente, percorrendo todas as etapas no processo produtivo, e por fim acabam por depositar-se em superfícies diversas, onde com pequenas agitações podem entrar em suspensão, que em contato com a fonte de ignição, entram em combustão, e podem rapidamente causar explosões.

Conforme a NPT 027, todos os locais confinados devem ser providos de exaustores ou ventiladores, em conformidade com a ABNT NBR IEC 60079-14:2016, com acionamento manual ou automático, devidamente dimensionados para contribuir na retirada de poeira e gases e garantir a renovação do ar.

A ventilação em processos de controle de poeiras explosivas atua buscando remover as partículas de pó que estão dispersas no ambiente, sendo assim, removendo o combustível do processo. Portanto, os silos devem possuir sistema de ventilação capaz de evitar acúmulo de gases e poeiras. (Ministério do Trabalho e Emprego, 2001).

O sistema de ventilação bem equacionada captura as partículas, e as conduz

para fora do processo, levando-as através dos equipamentos de exaustão ou insuflação de ar, para filtros e separadores, que retiram as partículas de poeira presente no ar.

A recomendação do Corpo de Bombeiros, através da NPT 027, é que o sistema de ventilação deve proporcionar no mínimo uma taxa de 30 renovações de ar por hora, garantindo assim que a concentração de poeiras nos ambientes fique dentro dos limites seguros, ou seja concentrações menores que o limite inferior de explosividade. Os dutos coletores de pó do sistema de filtro, dispostos ao longo dos túneis deverão ser providos de sistema de detecção e extinção de faísca (supressão de explosões) para minimizar o risco de um incêndio ou ignição de uma explosão.

O sistema de ventilação pode ser aplicado de duas maneiras principais, ventilação geral diluidora ou ventilação local exaustora, que atua de diferentes maneiras no processo.

2.6.4.1 Ventilação geral diluidora

Segundo Sá (1997), a ventilação geral diluidora é o método de insuflar ou exaurir ar em um ambiente ocupacional, a fim de promover uma redução na concentração de poluentes nocivos. A diminuição da concentração ocorre ao introduzir ar limpo, em um ambiente contendo um poluente, nesse caso a massa de poeiras, fazendo com que a mesma seja diluída em um volume maior de ar.

Nesse método de ventilação não impede a propagação das partículas para outros ambientes, simplesmente os dilui a valores menores. É considerado um sistema a baixa velocidade, em muitas vezes em função das grandes áreas para a passagem do ar, acabam por não retirar toda a poeira do ambiente, deixando-as sedimentada em diversos locais.

2.6.4.2 Ventilação local exaustora.

O sistema de ventilação local exaustora é aplicado em alguns pontos específicos do processo, aqueles em que a concentração de poeiras é mais intensa, com por exemplo, na descarga de caminhões em moegas, com o uso de tombadores. A geração de pó nessa situação é intensa, sendo assim necessário o sistema de

ventilação captar as partículas de poeiras antes que se dispersem no ambiente.

A geração de nuvens de poeiras na descarga é muito grande, entretanto pode-se notar que o ambiente está livre de poeiras. Isso se dá pelo sistema de ventilação que está aplicado no ambiente, que captura as partículas de poeira e as direciona para o túnel de transporte de material, não permitindo que o pó fique disperso e acabe se depositando em outros locais, reduzindo o risco de explosões.

2.6.5 Instalações elétricas

A eletricidade é responsável 15% das causas de fonte de ignição, sendo divididos em duas partes, 6% para falha em equipamentos elétricos, e 9% por eletricidade estática gerada no processo. É obrigatória a utilização de equipamentos protegidos em atmosfera explosiva, que são determinados principalmente pela ABNT NBR 5419:2016 – Instalações elétricas em atmosferas explosivas.

A NPT 027 recomenda que todos os sistemas de iluminação das áreas onde há formação de poeira, inclusive as luminárias de emergência, seguindo a NPT 018 – Iluminação de emergência, devem ser à prova de pó e explosão, blindagem é o procedimento mais usual e comprovadamente seguro. Também exige que as instalações de equipamentos elétricos atendam à ABNT NBR 5410:2008 e ABNT NBR IEC 60079 - 14:2016. Uma recomendação do Ministério da saúde e do trabalho, através da portaria SIT/DSST nº 17, é que todas as instalações elétricas e de iluminação no interior dos silos devem ser antideflagrantes.

O sistema de blindagem é aplicado em todos os componentes que podem proporcionar risco de acidentes em atmosferas explosivas, normalmente são fabricados em alumínio fundido e de vidro boro silicato. A ABNT NBR IEC 60079-14:2016 recomenda que os condutores de energia também sejam do tipo blindado.

Os equipamentos devem ser mantidos numa condição adequada para manutenção e inspeção regulares. Em tomadas e plugues instalados em atmosferas explosivas, a inserção e a extração do plugue só deverá ser feita com a tomada desenergizada (REMBE, 2004).

A eletricidade estática deve ser eliminada dos equipamentos por meio de máquinas e equipamentos que acumulam a carga elétrica, direcionando a energia

por meio de aterramento de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-14:2016. E por recomendação da NPT 027 as correias de transporte e todos os equipamentos, que estiverem em atrito com o material devem ser preferencialmente do tipo anti estática. A carga eletrostática de partículas de pó pode ser reduzida por ionização localizada de sondas condutoras, aterradas, desde que por recomendação de um perito na área. (EBADAT, 2003).

A ABNT NBR IEC 60079-14:2016 atua juntamente com a ABNT NBR 5419:2015 proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. O Corpo de Bombeiros de cada região é responsável pela verificação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), e recomenda que seja previsto um sistema de proteção para todas as edificações e estruturas metálicas de manuseio e armazenagem dos produtos agrícolas.

Para o fornecimento de energia, devido ao risco de incêndio em transformadores de potência, as subestações devem estar situadas fora das áreas classificadas como atmosferas explosivas. (REMBE, 2004).

2.6.6 Manutenção

Fazer manutenções periódicas dos equipamentos é extremamente necessário em uma atividade industrial, e também é uma recomendação do Ministério do Trabalho e Emprego, a partir da portaria sancionada em 2001. Os funcionários que realizam o trabalho de manutenção e reparação devem trabalhar sob a orientação de um especialista em proteção contra explosão. O processo de manutenção preventivo deve ser aplicado para que ocorra da maneira mais eficaz, e posterior se necessário atuar com a manutenção corretiva.

A manutenção preventiva atua com o intuito de prever possíveis falhas que podem causar danos, dessa forma, busca-se previamente corrigir e prevenir a fim de que os equipamentos não se danifiquem e que os acidentes não ocorram. Para a aplicação desse tipo de manutenção é necessário que ocorra uma série de inspeções, que de forma constante, permitem elaborar um cronograma de manutenção.

As atividades em uma manutenção preventiva são normalmente para manter o funcionamento ideal da unidade, para isso são feitas substituições de peças, seguindo orientações dos fabricantes, é feita lubrificação das partes que atuam em contato, evitando o desgaste natural, e também diminuindo a

possibilidade de geração de faíscas.

A manutenção corretiva busca corrigir problemas que surgem ao decorrer do funcionamento da unidade, apesar de necessária, esse tipo de manutenção gera mais custos, e pode causar mais danos, por causar paradas não previstas e podendo assim afetar a integridade dos grãos que estão no processo. Por exemplo se a esteira que transporta o material do secador para o silo sofre uma parada, o material que está no silo pode ser prejudicado, devido ao contratempo que possa surgir.

O principal fator responsável pelos acidentes, são as faíscas mecânicas, com 35%. Essas faíscas são provocadas, geralmente, nas ocorrências de manutenção onde o uso de ferramentas de corte, solda, são comuns, com isso é importante sempre equipes treinadas e familiarizadas com os procedimentos que podem ser executados para diminuir o risco de acidentes.

É absolutamente indispensável ter certeza de que não existem gases combustíveis ou pó em suspensão no local, também é mais favorável a segurança que o processo de manutenção ocorra em períodos que os equipamentos não estejam em funcionamento, e os sistemas de armazenamento estejam vazios. Uma medida que pode ser adotada é que uma pessoa esteja acompanhando a manutenção com um extintor, assim para qualquer foco que possa se tornar um incêndio ou gerar uma explosão é combatido imediatamente.

2.6.7 Limpeza

Em uma planta onde se processa com poeiras explosivas de qualquer origem, estas devem ser retiradas do ambiente à medida que são geradas. Deve-se existir uma frequência para realizar a limpeza devendo garantir que os níveis de pó acumulados em paredes, pisos e superfícies horizontais, como equipamentos, dutos, tubulações, exaustores, lajes, vigas, inclusive dentro no interior de compartimentos elétricos fechado, não excedam o limite de 0,8mm de espessura.

Com o objetivo de minimizar os riscos de explosões a primeira alternativa para limpeza é através do sistema de aspiração. Em locais onde não for possível realizar a aspiração, pode-se aplicar o método de varrição com água borrifada. Sistemas de ar comprimido para a limpeza não são permitidos pelo Corpo de Bombeiros, pois podem gerar nuvens de poeiras, que aumentam o risco de explosões.

O item 1.15.3 da portaria SIT/DSST nº 17 de 15/05/2001, recomenda que o revestimento interno dos silos deve ser liso, para impedir o acúmulo de grãos e poeiras e a formação de barreiras, e possuir proteção anticorrosiva. Com o intuito de auxiliar no processo de limpeza das estruturas e equipamentos, permitindo uma prática mais rápida na limpeza diária.

2.6.8 Material inerte

Podem ser empregues atmosferas inertes para controle e extinção de incêndios que podem se desenvolver na poeira; pode ser usado onde o método de ventilação é ineficiente. São aplicados gases ou poeiras inertes, os quais são inseridos nos ambientes com o intuito de reduzir a concentração de oxigênio, de maneira que não haja propagação de chama através da nuvem de pó.

Os materiais inertes são aplicados por extintores de grande velocidade de descarga contém agente supressor sob pressão de Nitrogênio.

A abertura do extintor se dá pela detecção do princípio da explosão, adequado para pressões médias ou lentas. Podendo conter o processo de explosão antes que se propague.

Contudo, esse tipo de sistema precisa de controle rígido para a manutenção da composição do gás e dos sensores e custo mais elevado do que para implantação do sistema de ventilação. Ao se pensar em adotar tal processo a instalações que trabalham com produtos alimentícios para consumo humano ou animal, deve-se levar em conta que obrigatoriamente o gás inerte deve ser atóxico e não pode ser cancerígeno. (SÁ, 1997; WEBER, 2005).

Para a prevenção de explosões também pode ser aplicado óleo mineral branco aos cereais. O óleo quando misturado aos grãos, altera as propriedades do pó, e diminui a dispersão, possibilitando que as partículas de poeira fiquem aglomeradas entre si e os grãos. O método consiste na instalação de aspersores de óleo mineral em pontos do sistema de movimentação onde existe alta concentração de pó. Deve ser aplicado em uma quantidade superior 0,05 kg/m³. A utilização do óleo mineral branco reduz o pó respirável em até 95% e o pó total em até 75%, quando obedecidos todos os parâmetros técnicos de aplicação (WEBER, 2005).

A adição de óleo mineral pode tornar o processo muitas vezes inviável

economicamente, fazendo os técnicos e proprietários buscarem soluções alternativas mais baratas. Também deve-se atentar quanto a manufatura dos grãos agrícolas, que pode ser alterada pelo processo.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho, buscou verificar, a partir dos conhecimentos técnicos em segurança do trabalho por já ser profissional da área além de pesquisas sobre o tema em questão.

Durante o desenvolvimento da fundamentação teórica foi observado alguns pontos principais que devem ser abordados a fim atender as normas e prevenir as explosões.

Foi feita uma visita técnica em uma unidade armazenadora na cidade de Macaparana, zona da mata de Pernambuco que proporcionaram observar os equipamentos utilizados nas unidades de beneficiamento e armazenamento de grãos, e quais os processos são utilizados e, também possibilitou verificar se a mão de obra aplicada em toda a planta é capacitada e tem ciência dos riscos no ambiente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se notar em pesquisas, que o Brasil mesmo sendo um dos maiores produtores de grãos do mundo, o tema explosão em silos agrícolas ainda precisa ser mais explorado no país, apesar de apresentar algumas normas e recomendações, os conhecimentos são apresentados de forma dispersa.

Foi feita uma visita técnica para apresentação dos resultados desse trabalho, foi visto que a desinformação em unidades pequenas pode gerar maiores riscos na operação das mesmas, contudo é necessária uma amostragem maior para que se possa determinar o cenário do estado de Pernambuco ou até mesmo do Brasil.

Conclui-se que o Brasil apresenta uma grande quantidade de normas regulamentadores as famosas NRs que podem ser mais bem exploradas a partir do desenvolvimento do tema.

5 REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60079-14:Atmosferas explosivas**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas**. ABNT, ASSOCIAÇÃO

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5411 Instalações elétrica de baixa tensão**. Rio de Janeiro 2008.

AMARILLA, R. S. D.; AMARILLA, M. A. M.; CATAI, R.E.; ROMANO, C. A. **Aplicação das normas regulamentadoras para gerenciar os riscos na operação de silos metálicos**. 2012, Rio de Janeiro. Artigo. p. 13 - 40. Disponível em: <<http://www.inovarse.org/node/1254>>. Acesso em: 11 de março de 2023.

BAAL, E. **Recomendações para projeto de unidades de beneficiamento e armazenagem de grãos com enfoque em segurança do trabalho**. 2013. Dispo em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/2031>>. Acesso em: 23 de março de 2023.

BAUDET, L.; VILLELA, F. A. **Armazenamento Garantindo o Futuro**. SEED NEWS Pelotas: Editora Becker e Peske Ltda. 2000, v. 4, n. 4 p. 28-32.

BS&B. **Pressure Safety Management**, 2017, L.L.C. Minnesota, EUA. Disponível em: <http://www.bsipd.com/BR/explosion_vents.html>. Acesso em 01 de abril de 2023.

BUENO, Jeferson Rafael. **Distribuição de pressões e impulsos devidos a explosões não confinadas em edifícios e elementos de proteção à explosão**, Florianópolis, Brasil, 2018.

CNA, Confederação Nacional da Agricultura. **Capacidade de armazenamento e escoamento da produção agrícola**. 2023. Disponível em:<[http://www.icna.org.br/sites/default/files/relatorio/RELAT%C3%93RIO%20DE%20INTELIG%C3%8ANCIA2 %20-%20Abril%202023.PDF](http://www.icna.org.br/sites/default/files/relatorio/RELAT%C3%93RIO%20DE%20INTELIG%C3%8ANCIA2%20-%20Abril%202023.PDF)>.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamentos de safra, series históricas, capacidade estática**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

EBADAT, Vahid. **Is your Dust Collection System na Explosion Hazard?** Thurmaston, Leicester, UK, 2003. Disponível em: <<http://www.cepmagazine.org>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

MAPA, Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. **Armazenagem Brasil cenário atual**. Mar. 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

MILLER, Bruce G; TILLMAN, David. **Questões de Engenharia de Combustão para Sistemas de Combustível Sólido**. San Diego, CALIFÓRNIA. Elsevier, 2008.

NPT, Norma de Procedimento Técnico, Corpo de Bombeiros. **NPT 019: Sistema de detecção e alarme de incêndio**. Disponível em: <<http://www.bombeiros.pr.gov.br/Pagina/Legislacao-de-Seguranca-Contra-Incendio>>. Acesso em: 19 abril de 2023.

NR, Norma Regulamentadora, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 19: Explosivos**, Brasília, 2011.

NR, Norma Regulamentadora, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 33: Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados**, Brasília, 2012.

NR, Norma Regulamentadora, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 35: Trabalho em altura**, Brasília, 2014.

REMBE GMBH. **Selection Guide for Pressure Vacuum and Explosion Protection**. Germany: Lorenz, 2004. 15 p. Disponível em: <<http://www.rembe.com>>. Acesso em: 19 de abril de 2023.

SILVA, J. S.; FILHO, A. F. L.; REZENDE, R. C. **Estrutura para Armazenagem de Grãos (cap. 14)**. In: **SILVA, Juarez de Sousa. Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.

TESTA, Luciano. **Novo conceito de projeto de UBAG com ênfase em inovações tecnológicas para melhorias em saúde e segurança do trabalho. 2018. 153f. Dissertação de mestrado**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Campo Mourão, 2018.]

WEBER, Érico Aquino. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Rio Grande do Sul: Ed. Salles, 2005.

SÁ Ary de. **Explosões – O Perigo dos Grãos**. Revista Proteção. Ed. 98 1997. Disponível <http://www.ares.org.br/uploads/pdf/explosoes_com_poeiras.pdf> Acesso em: 22 abril de 2023.

