

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SAMARA MARTINS

**COMPARATIVO ENTRE A NORMA ESTADUNIDENSE NFPA E AS NORMAS
BRASILEIRAS DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOÇÃO
APLICÁVEIS NO ESTADO DO PARANÁ EM UNIDADES DE BENEFICIAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE GRÃOS**

TOLEDO

2024

SAMARA MARTINS

**COMPARATIVO ENTRE A NORMA ESTADUNIDENSE NFPA E AS NORMAS
BRASILEIRAS DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOSÃO
APLICÁVEIS NO ESTADO DO PARANÁ EM UNIDADES DE BENEFICIAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE GRÃOS**

**COMPARISON BETWEEN THE US STANDARD NFPA AND BRAZILIAN
STANDARDS FOR PREVENTION OF FIRE AND EXPLOSION APPLICABLE IN
THE STATE OF PARANÁ IN GRAIN PROCESSING AND STORAGE FACILITIES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. Fulvio Natércio Feiber
Coorientador(a): Ma. Marcio A Ferreira Mendes

TOLEDO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

SAMARA MARTINS

**COMPARATIVO ENTRE A NORMA ESTADUNIDENSE NFPA E AS NORMAS
BRASILEIRAS DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOÇÃO
APLICÁVEIS NO ESTADO DO PARANÁ EM UNIDADES DE BENEFICIAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE GRÃOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação:

Fúlvio Natércio Feiber (orientador)
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Lucia Bressiani
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Silmara Dias Feiber
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

TOLEDO

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente as pessoas que tanto me orientaram para realização desse trabalho, Prof. Dr. Fulvio Natércio Feiber e Ma. Marcio A Ferreira Mendes, pela orientação dedicada, paciência e valiosos insights fornecidos ao longo deste processo.

Expresso minha gratidão a minha chefe Ana Julia Zunta Carniel Teixeira, e seu esposo Gabriel Teixeira que gentilmente compartilharam seu conhecimento e experiência. Suas contribuições foram essenciais para enriquecer a análise e os resultados apresentados. Sem sua orientação experiente, este trabalho não teria alcançado o nível de qualidade que alcançou.

Não posso deixar de reconhecer o suporte e compreensão da minha família e do meu namorado ao longo deste processo. Todo apoio e paciência foi o alicerce que me sustentou diante dos desafios.

Agradeço também aos meus amigos, que ofereceram apoio moral e incentivo durante todo o curso e foram essenciais para chegar aonde estou hoje.

Por fim, expresso minha sincera gratidão a todas as pessoas e instituições que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

As unidades de beneficiamento e armazenamento de grãos apresentam elevados riscos de incêndio e explosão ocasionados por poeira combustível em suspensão durante a movimentação dos cereais. Normas técnicas e regulamentações, tanto brasileiras quanto internacionais, são essenciais para prevenir e proteger contra tais acidentes. Essa pesquisa tem como objetivo comparar as normas brasileiras aplicáveis no Paraná e a NFPA dos EUA sobre prevenção de incêndios e explosões de poeira combustível em unidades de armazenamento de grãos. Nesse sentido, realizou-se uma análise das medidas de segurança básica exigidas em uma unidade modelo, primeiramente pelo CSCIP e NPT 027 (normas regulamentadoras do corpo de bombeiros do Paraná) e em seguida pela NFPA 101 (norma norte americana). Além disso, foi elaborado um comparativo direto das normas que tratam especificamente sobre prevenção de incêndios e explosões de partículas sólidas combustíveis em unidades de beneficiamento de grãos, a NFPA 61 e ABNT NBR 16385. Observou-se então que em se tratando das medidas de segurança solicitadas pelas normas de cada um dos países, a legislação brasileira exige maior quantidade de medidas, enquanto a norma estadunidense deixa maiores definições para as normas específicas. Ademais as legislações brasileiras aplicáveis no Paraná apresentam linguagens distintas, o que dificulta sua compreensão, enquanto a NFPA é mais clara e objetiva, detalhando mais seus capítulos.

Palavras-chave: poeira combustível; explosão; unidades de armazenamento e beneficiamento de grãos; normas.

ABSTRACT

Grain processing and storage units present high risks of fire and explosion caused by combustible dust in suspension during the movement of cereals. Technical standards and regulations, both Brazilian and international, are essential to prevent and protect against such accidents. This research aims to compare Brazilian standards applicable in Paraná and the US NFPA on preventing fires and combustible dust explosions in grain storage units. In this sense, an analysis of the basic safety measures required in a model unit was carried out, first by CSCIP and NPT 027 (regulatory standards for the Paraná fire department) and then by NFPA 101 (North American standard). In addition, a direct comparison was drawn up of the standards that specifically deal with the prevention of fires and explosions of solid particles in grain processing units, NFPA 61 and ABNT NBR 16385. It should be noted that when it comes to the safety measures requested According to the standards of each country, Brazilian legislation requires a greater number of measures, while the American standard leaves greater definitions for specific standards. Furthermore, the Brazilian legislation in force in Paraná has different languages, which makes it difficult to understand, while the NFPA is clearer and more objective, providing more detail in its chapters.

Keywords: combustible dust; explosion; grain storage and processing units; standards.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma apresentando as etapas de produção.....	17
Figura 2 - Descarga do material na moega através do tombador.....	18
Figura 3 - (a) Máquina de pré-limpeza (b) Máquina de limpeza.....	19
Figura 4 - Secador.....	20
Figura 5 - Armazenamento a granel.....	21
Figura 6 - Sistemas de transporte horizontal.....	21
Figura 7 - Elevador de transporte de grãos.....	22
Figura 8 - Triângulo do fogo.....	23
Figura 9 - Pentágono da explosão.....	23
Figura 10 - (a) Esquema de uma explosão primária gerando uma onda que espalha o pó acumulado. (b) Esquema de uma explosão secundária gerada a partir da primária.....	24
Figura 11 - Efeito do tamanho das partículas na pressão máxima e na taxa de aumento de pressão.....	26
Figura 12 - Fluxograma das etapas do estudo referente às medidas de segurança contra incêndios e explosões decorrentes da presença de poeira.....	32
Figura 13 - Tabela 6M.5 do CSCIP.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre os capítulos da NBR 16385 e NFPA 61.....	43
Quadro 2 – Comparativo dos critérios de desempenho pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61.....	47
Quadro 3 – Comparativo dos tópicos sobre equipamentos pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61.....	49
Quadro 4 - Comparativo sobre controle de fontes de ignição em rolamentos pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61.....	52
Quadro 5 – Comparativo dos tópicos sobre fontes de ignição pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61.....	53
Quadro 6 – Comparativo das medidas de prevenção de incêndio exigidas pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de deflagração de produtos agrícolas.....	25
Tabela 2 - Classificação de perigo de deflagração de pós combustíveis	27
Tabela 3 – Áreas totais dos ambientes da unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos modelo	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMS	Air-Material Separator
ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBMPR	Corpo de Bombeiros Militar do Paraná
CSB	U.S. Chemical Safety & Hazard Investigation Board
CSCIP	Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico
CME	Concentração Mínima de Explosão
CMI	Concentração Mínimo Inflamável
DHA	Dust Hazard Analysis
EN	European Standard
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EUA	Estados Unidos da América
IEC	International Electrotechnical Commission
LIE	Limite Inferior de Explosividade
LII	Limites de Inflamabilidade Inferior
N/A	Não Aplicável
NBR	Norma Brasileira
NEP	Combustible Dust National Emphasis Program
NFPA	National Fire Protection Association
NPT	Norma de Procedimento Técnico
NR	Norma Regulamentadora
OSHA	Occupation Safety and Health Administration
PPCI	Projeto de Prevenção Contra Incêndios
PR	Paraná
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VDI	Association of German Engineers

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Justificativa.....	14
1.2.	Objetivo Geral.....	16
1.3.	Objetivo Específico	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	Unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos	17
2.1.1.	Recepção	18
2.1.2.	Limpeza.....	18
2.1.3.	Secagem	19
2.1.4.	Armazenagem e expedição.....	20
2.2.	Explosões de pó combustível	22
2.3.	Normas regulamentadoras	27
3.	METODOLOGIA DE PESQUISA	32
4.	RESULTADOS E DISCUSÕES	35
4.1.	Definição das medidas básicas de segurança.....	35
4.1.1.	Análise pelo CSCIP e NPT 027	35
4.1.2.	Análise pela NFPA 101	39
4.2.	Comparativo entre a ABNT NBR 16385 e NFPA 61.....	42
4.2.1.	Escopo	43
4.2.2.	Objetivo	44
4.2.3.	Retroatividade	44
4.2.4.	Quando considerar o pó do grão combustível.....	45
4.2.5.	Análise de risco	46
4.2.6.	Projeto baseado em desempenho.....	46
4.2.7.	Projeto de construção.....	47
4.2.8.	Projeto de equipamentos.....	48
4.2.9.	Controle de pó e limpeza.....	50
4.2.10.	Fontes de ignição	51
4.2.11.	Sistema de proteção contra incêndio e explosão	53
4.2.12.	Treinamentos.....	54
4.2.13.	Inspeção, ensaios e manutenção	55
4.2.14.	Anexos	56
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57

ANEXO A - Planta baixa de uma unidade de beneficiamento de grão	
modelo	60
ANEXO B - Corte de uma unidade de beneficiamento de grão	
modelo	61

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior exportador e o quarto maior produtor mundial de grãos (arroz, cevada, soja, milho e trigo), atrás apenas de China, Estados Unidos e Índia, sendo responsável por 7,8% da produção total mundial (GUARALDO, 2021). Com isso a demanda por armazenagem e beneficiamento de grãos por todo o país é cada vez maior.

Cabe observar que nas indústrias de processamento de produtos, especialmente aqueles que em alguma de suas fases se apresentam na forma de pó, como é o caso dos grãos, são instalações com potencial de riscos quanto a incêndios e explosões (COSTELLA; PILZ; BET, 2016).

Os acidentes de explosões por poeira combustível são relatados desde o final do século XVIII. Apesar disso, apenas nas últimas décadas os olhos das autoridades em vários países vêm sendo voltados para a segurança neste setor. Entretanto, muitos acidentes, por ocorrerem em silos menores e de propriedade privada, até hoje não são reportados nem registrados.

De acordo com Massunari (2009) o potencial de ocorrência de explosões em ambientes com a presença de partículas de poeira é ainda desconhecido por muitas pessoas. Porém, as explosões por pó combustível resultaram na perda de vidas, ferimentos múltiplos e danos materiais e comerciais substanciais em diversos países ao longo dos anos (CHEREMISINOFF, 2014).

Tais explosões podem ocorrer quando o material particulado fica suspenso unido a presença de uma fonte de ignição. Em se tratando das unidades de armazenamento de grãos, a produção de pó é inevitável e as fontes de ignição são frequentes em diversas etapas dos processos incluindo faíscas elétricas, fricção, superfícies quentes, entre outras, tornando o ambiente de alto risco (ECKHOFF, 2003).

Assim, visando à preservação e segurança de indivíduos e do patrimônio, além das NBR's existentes, cada estado é responsável pela própria legislação, tais como: Normas Técnicas, Leis, Portarias e Resoluções do Corpo de Bombeiros (HAAS STROSCHÖN, 2015). Vale destacar que, as Normas Técnicas do Corpo de Bombeiros em especial desempenham um papel fundamental na orientação e regulamentação para a elaboração de projetos voltados à prevenção e proteção contra incêndios.

A nível nacional, em 2015 foi lançada a norma ABNT NBR 16385 (Sistemas de prevenção e proteção contra explosão – Fabricação, processamento e manuseio de partículas sólidas combustíveis – Requisitos), que trata do sistema de prevenção e proteção contra incêndios de pós em instalações industriais que manuseiam partículas sólidas combustíveis (FORTUNA, 2018).

Além disso, como referência internacional para esse assunto, tem-se a norma norte americana NFPA 61 – “Padrão para a Prevenção de Incêndios e Explosões de Poeira em Instalações Agrícolas e de Processamento de Alimentos” (tradução nossa)¹ de 2020 que é referência mundial no que diz respeito a explosões por poeiras combustíveis. Entretanto, analisando as normativas dos dois países, é possível observar várias diferenças entre elas.

Nesse contexto, a presente pesquisa aborda as questões relacionadas à explosão de poeira combustível em unidades de armazenamento de grãos, buscando analisar o problema pela ótica de prevenção de incêndios e explosões seguindo as normas brasileiras aplicáveis no Paraná e NFPA.

1.1. Justificativa

A primeira explosão de poeiras documentada ocorreu em 1785 em Turim, Itália, no depósito de farinha de uma padaria. Segundo relato, a explosão ocorreu quando o pó de farinha gerado durante as operações normais de manuseio supostamente entrou em contato com uma lâmpada no local (ROCHA, 2016).

Existem relatos de grandes acidentes com explosão de poeira combustível em diversos países, como: Itália; Holanda; Inglaterra; Canadá; etc. Mas dentre eles cabe ressaltar os EUA, onde uma explosão muito significativa ocorreu no Continental Grain Complex, Westwego no estado de Louisiana em 1977. Segundo Silva (2012) foi a pior deste tipo em termos de fatalidades e dano estrutural ao complexo.

A U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) é uma agência federal independente e não regulamentadora dos Estados Unidos, criada em 1990, que investiga as causas profundas dos principais incidentes químicos nos Estados Unidos. Em 2006, o CSB conduziu um estudo aprofundado que identificou

¹ Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids

281 incidentes com poeiras combustíveis entre 1980 e 2005 que mataram 119 trabalhadores, feriram 718 e danificaram extensamente instalações industriais.

Em 2007, a Occupational Safety and Health (OSHA), observando a ocorrência desses acidentes, criou o programa Combustible Dust National Emphasis Program (NEP), que tem por objetivo inspecionar instalações que geram ou manuseiam poeiras combustíveis que representam risco de incêndio. Tal medida ajudou a reduzir o risco de trabalhadores serem expostos a perigos de poeira explosiva, uma vez que a poeira combustível não era totalmente compreendida e as medidas para removê-la e reduzir o risco de explosão não eram tomadas com frequência.

No Brasil, os acidentes relacionados à explosão de poeira são relatados principalmente no Sul do país, isso porque a região é conhecida como uma grande produtora de grãos. Pode-se citar, por exemplo, os dois acidentes ocorridos no Porto de Paranaguá - PR. O primeiro ocorreu em 1992 em um silo, sendo causado pelo pó de cevada, ocasionando o falecimento de dois trabalhadores e cinco feridos (ROCHA, 2016). Já o segundo caso aconteceu em um depósito de armazenamento em 2001, deixando 18 pessoas feridas. Esse último acidente ficou conhecido pelos grandes prejuízos financeiros que causou, uma vez que segundo relatos, os pedaços de telhas de zinco que compunham o local foram arremessados até mil metros de distância, e estruturas de concreto com mais de 300 quilos também foram encontradas longe (JUNIOR, 2017).

Mais recentemente, em julho de 2023, oito pessoas morreram e 12 ficaram feridas após a explosão de uma unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos, que continha milho em seus armazéns, em Palotina - PR, lembrando os perigos e a necessidade de tomar os devidos cuidados com a poeira combustível em espaços confinados.

Nesse sentido, no âmbito da prevenção contra incêndios, além das normas existentes no país que tratam de explosões de poeiras combustíveis, normas internacionais como a NFPA dos Estados Unidos, são vistas como referência. Além disso, com a chegada de empresas multinacionais no Brasil, algumas seguradoras solicitam o atendimento das normas da NFPA para mitigação dos riscos existentes, fazendo com que as empresas busquem, cada vez mais, atender não somente as normas brasileiras obrigatórias para obtenção do alvará e licença do corpo de bombeiros mas também as exigências de normas estrangeiras como NFPA, tendo

por objetivo obter ou renovar uma apólice de seguros a manter o mesmo padrão de proteção e segurança das demais plantas industriais que essas empresas possuem ao redor do mundo.

Assim, considerando o volume de acidentes ocasionados por explosões de partículas sólidas combustíveis é necessário entender as diversas legislações existentes que tratam do assunto, a fim de identificar e aplicar os métodos mais eficazes para a prevenção e proteção de acidentes desse gênero.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é comparar as normatizações brasileiras aplicáveis no Paraná (NBR, CSCIP e NPT) e estadunidenses (NFPA) no que diz respeito a explosão de poeiras combustíveis em unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos.

1.3. Objetivo Específico

Em se tratando dos objetivos específicos, podemos citar:

- Explicar o funcionamento de uma unidade de armazenamento e beneficiamento de grãos;
- Caracterizar a explosão devido a sólidos dispersos no ar;
- Elencar as normas técnicas e regulamentadoras brasileiras e NFPA's que dizem respeito à proteção e prevenção de incêndios causados por explosões de poeira combustível em unidades armazenadoras de grãos;
- Definir as medidas de segurança necessárias em uma unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos modelo conforme as normativas dos dois países;
- Elaborar um comparativo das legislações específicas de explosão de poeira combustível em unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos dos dois países.

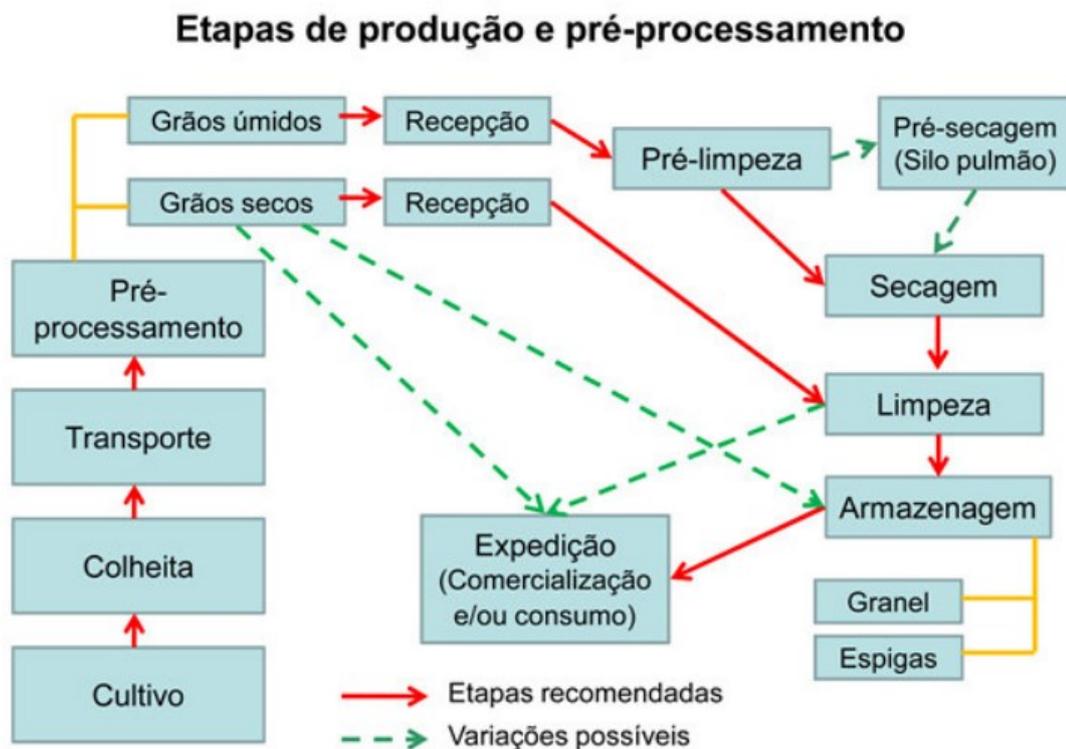
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Buscando a melhor compreensão do tema, é necessário que haja uma análise dos riscos em unidades de beneficiamento de grãos além de entender como a explosão por pó combustível funciona.

2.1. Unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos

Dentro das unidades de armazenamento e beneficiamento de grãos, o produto passa por uma série de etapas as quais Morais (2019) subdivide em: 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 expedição de produtos. As etapas de tais processos podem variar conforme a característica do grão, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma apresentando as etapas de produção



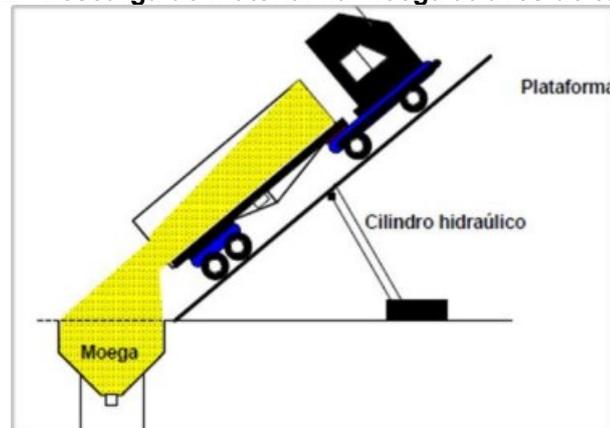
Fonte: MANTOVANI, E. C. et al., (2015, p. 8)

As etapas descritas no fluxograma têm por objetivo o melhor beneficiamento do produto, garantindo maior tempo de armazenamento com qualidade e serão descritas detalhadamente nos tópicos seguintes.

2.1.1. Recepção

A primeira etapa consiste na recepção do grão, momento da classificação que faz a identificação da qualidade dos grãos que estão sendo recebidos. Consiste na chegada do veículo transportador que é encaminhado para moegas graneleiras onde é feita a recepção do grão através do processo manual ou com auxílio dos tombadores, como representado na Figura 2.

Figura 2 - Descarga do material na moega através do tombador



Fonte: Saur (2017 apud MORAIS, 2019, p. 22)

Scheer (2019) define os tombadores como enormes elevadores, onde são fixados os caminhões, que os elevam e inclinam despejando os grãos na moega. Já as moegas, o autor explica que se trata de um local, normalmente subterrâneo, revestido de concreto e com uma inclinação específica.

Já o silo pulmão tem por função armazenar a matéria-prima de maneira provisória (MORAIS, 2019) e pode estar situado no processo antes ou depois da limpeza.

2.1.2. Limpeza

O processo de limpeza dos grãos, segundo Scheer (2019), pode ser manual ou mecanizado (através das máquinas de pré-limpeza e limpeza representadas na

Figura 3), e tem por objetivo reduzir o teor de impurezas, tais como: terra, outros grãos, folhas, cascas de grãos galhos, entre outros.

Figura 3 - (a) Máquina de pré-limpeza (b) Máquina de limpeza

a)



b)

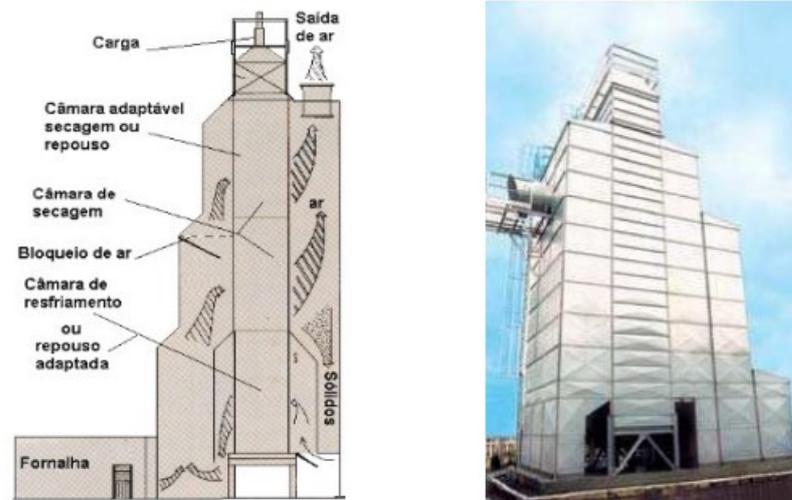


Fonte: Corpo de Bombeiros do Paraná, NPT 027-Parte 1 (2020, p.7 e 8)

2.1.3. Secagem

Em seguida, Gomide (2017) explica que os grãos são encaminhados para secadores (Figura 4), que tem por finalidade reduzir o conteúdo de água dos grãos através da passagem de ar aquecido, com um sistema que permite ter o controle da massa de grãos e temperatura da fornalha.

Figura 4 - Secador



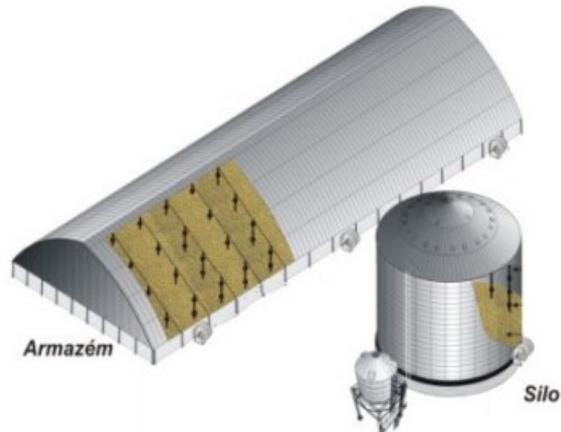
Fonte: Corpo de Bombeiros do Paraná, NPT 027-Parte 1 (2020, p.11)

2.1.4. Armazenagem e expedição

Depois da secagem o produto é encaminhado para a unidade de armazenamento de grãos que em seguida será expedida para o destino final. Silos e armazéns são estruturas que têm como principal finalidade o armazenamento de grãos secos, cereais e sementes, a fim de proteger suas características desde a colheita até a distribuição.

Segundo Moraes (2019), a armazenagem dos grãos pode ser feita de duas formas principais: a granel ou acondicionada em volumes, esse último normalmente utilizado em caráter de emergência e por pequenos períodos, para não afetar a integridade do grão. Já a armazenagem a granel, corresponde a compartimentos, geralmente construídos de chapas metálicas, concreto ou alvenaria tendo dois tipos principais de estruturas representados na Figura 5: os armazéns horizontais, conhecidos comumente por armazéns graneleiros, e os silos verticais.

Figura 5 - Armazenamento a granel



Fonte: Corpo de Bombeiros do Paraná, NPT 027-Parte 1 (2020, p.03)

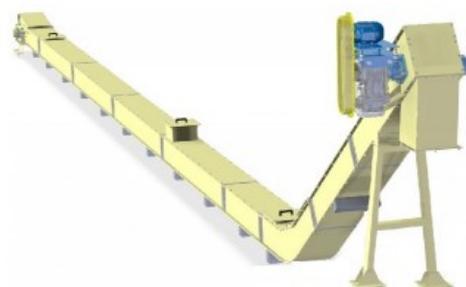
Vale lembrar que todo transporte horizontal nesse processo é feito por esteiras/correias ou redlers, representados na Figura 6.

Figura 6 - Sistemas de transporte horizontal

a) Esteira transportadora



b) Corrente Redler



Fonte: Corpo de Bombeiros do Paraná, NPT 027-Parte 1 (2020, p.4 e 12)

Além disso, o transporte vertical é feito por elevadores (Figura 7). Essa movimentação dos produtos graneleiros gera resíduos de poeira com partículas extremamente finas que quando perturbadas, podem gerar nuvens de poeira potencialmente explosivas.

Figura 7 - Elevador de transporte de grãos



Fonte: Gomide (2017, p. 57)

Quando se trata de ambientes que compreendem poeira explosiva, tais como os citados anteriormente, todo cuidado deve ser tomado para se evitar a interação de possíveis fontes de ignição com as partículas em suspensão. Isso implica que qualquer falha ou desalinhamento nos sistemas de transporte de grãos, como o atrito entre os componentes, pode acabar gerando uma fonte de ignição, elevando o risco de incêndio e explosões.

2.2. Explosões de pó combustível

A NFPA 654 (2020) define poeira combustível como um sólido particulado combustível finamente dividido que apresenta risco de incêndio ou deflagração quando suspenso no ar ou algum outro meio oxidante em uma faixa de concentrações.

Nesse sentido, Cheremisinoff (2014) explica que a deflagração é uma queima rápida, porém mais lenta que a velocidade do som. Quando isso ocorre dentro de um espaço confinado, segundo o autor, o aumento de pressão pode causar uma explosão (uma queima mais rápida que a velocidade do som).

Segundo Fortuna (2018), para haver fogo é necessário a formação do “triângulo do fogo” formado por três condições essenciais: 1 - combustível, 2 - oxigênio (comburente) e 3 - fonte de ignição (calor), como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Triângulo do fogo



Fonte: Aatoria própria (2024)

A expansão do triângulo do fogo é conhecida como “pentágono da explosão” (Figura 9), incluindo dispersão do combustível e confinamento.

Figura 9 - Pentágono da explosão



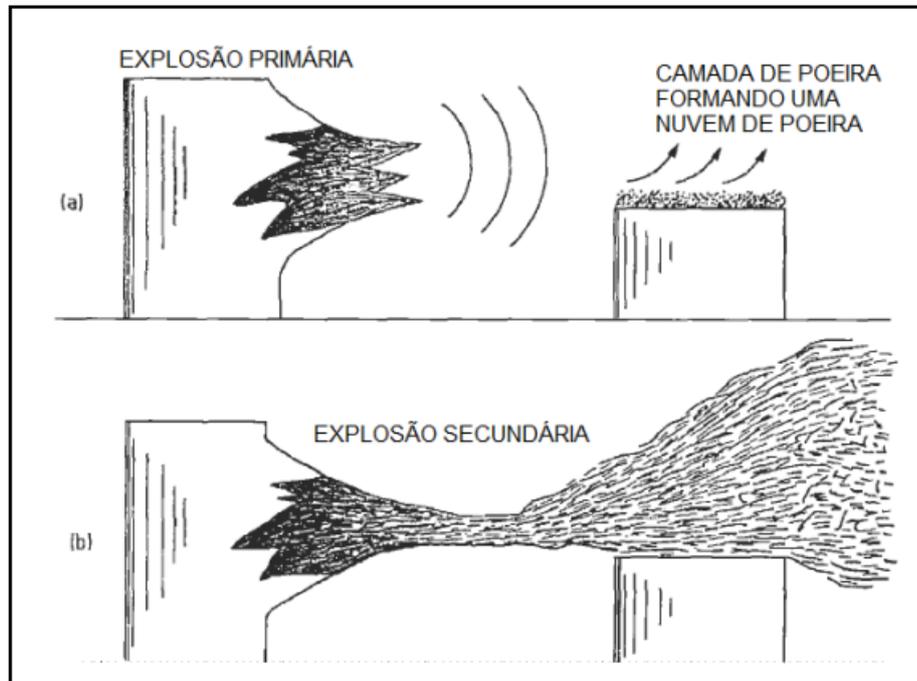
Fonte: Aatoria própria (2024)

Segundo Eckhoff (2003) as explosões de poeira combustível podem ser divididas em primárias e secundárias. As explosões primárias geralmente ocorrem em silos; moinhos; secadores; misturadores; entre outros, quando as partículas em suspensão potencialmente explosivas, unidas do oxigênio presente na atmosfera entram em contato com a fonte de ignição resultando em um considerável volume de gases, quentes, que desenvolverão uma onda de pressão.

Já as explosões secundárias são geralmente mais devastadoras, pois acontecem quando a primeira explosão perturba o pó que está acumulado nas superfícies adjacentes, formando um ambiente sucinto a várias explosões

secundárias que, conseqüentemente, causam mais danos que a explosão inicial. A Figura 10 representa como as explosões ocorrem nesses casos.

Figura 10 - (a) Esquema de uma explosão primária gerando uma onda que espalha o pó acumulado. (b) Esquema de uma explosão secundária gerada a partir da primária



Fonte: Eckhoff (2003, p. 11)

Rocha (2016) explica que a formação da atmosfera explosiva, difere entre gases inflamáveis e pós combustíveis. Nas explosões de gases os efeitos gravitacionais são desprezíveis devido ao sistema homogêneo na qual a mistura completa de combustível e oxidante é facilmente alcançada. Em contrapartida, na mistura pó/ar, as partículas de pó são fortemente influenciadas pela gravidade, isso porque, um pré-requisito essencial para a explosão de pó é a formação de uma suspensão. Uma vez que a deflagração desta mistura ocorre, o confinamento, seja ele parcial ou completo, amplifica o desastre. Os gases liberados dessa explosão, ao serem aquecidos, se expandem e exercem pressões destrutivas no espaço circundante caso não haja áreas de alívio para evacuação.

De acordo com a ABNT NBR 16385 (2015), sempre que uma partícula sólida é manuseada ou processada existe potencial risco de deflagração, o grau do risco varia com o material analisado e os métodos de processamento utilizados. A fim de conduzir o desenvolvimento de processos e projeto de instalações para manusear, processar, transportar e armazenar partículas sólidas combustíveis, a norma

apresenta algumas tabelas com as características físico-químicas de deflagração para uma seleção de pós combustíveis, sejam eles de origem agrícola, carbonáceos, metálicos, químicos e plásticos.

Tabela 1 - Características de deflagração de produtos agrícolas

Substância	Granulometria μm	CMI g/m^3	$P_{\text{máx}}$ bar	K_{ST} bar-m/s	Classe de perigo para pós ST
Açúcar	30	200	8,5	138	1
Açúcar cristal	< 63	30	7,3	69	1
Amido de milho	7	–	10,3	202	2
Amido de arroz	18	60	9,2	101	1
Amido de trigo	22	30	9,9	115	1
Celulose	33	60	9,7	229	2
Celulose, polpa	42	30	9,9	62	1
Cortiça	42	30	9,6	202	2
Lactose	27	60	8,3	82	1
Leite em pó	83	60	5,8	28	1
Leite desnatado seco	60	–	8,8	125	1
Madeira, farinha	29	–	10,5	205	2
Milho	28	60	9,4	75	1
Ovo, clara	17	125	8,3	38	1
Sacarose	29	60	8,2	59	1
Soja, farinha	20	200	9,2	110	1
Soro de leite	41	125	9,8	140	1
Tapioca	22	125	9,4	62	1

Fonte: ABNT NBR 16385 - Sistemas de prevenção e proteção contra explosão: Fabricação, processamento e manuseio de partículas sólidas combustíveis (2015, p. 134)

A Tabela 1 representa a característica dos produtos agrícolas, no entanto, em anexo à tabela, a norma deixa uma observação para que os dados sejam usados com cuidado, uma vez que são características gerais destas substâncias. Valores mais confiáveis somente serão obtidos por meio de ensaios que representem as condições reais do material analisado.

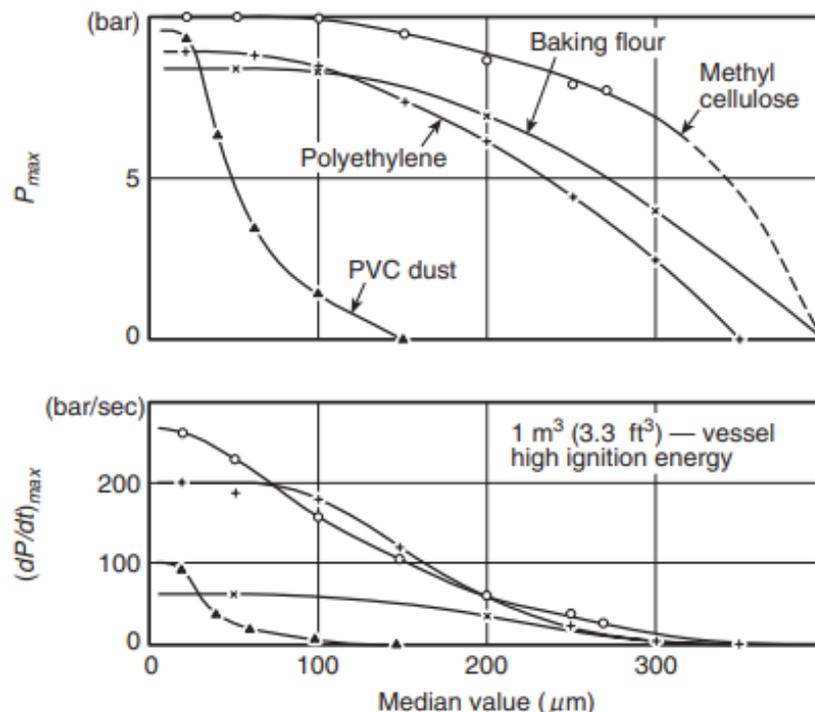
A dimensão da partícula está diretamente relacionada à facilidade de ignição da mesma. Além disso, partículas de menor dimensão apresentam uma dispersão acelerada e permanecem suspensas por períodos mais prolongados, o que aumenta o potencial de explosão. Partículas para serem consideradas explosivas, devem ter

a capacidade de se manterem suspensas no ar e possuir dimensão menor que 0,1 mm (MORAIS, 2019).

O CMI (Concentração Mínimo Inflamável), também conhecido como CME (Concentração Mínima de Explosão) ou LII/LIE (Limite Inferior de Inflamabilidade/Explosividade) trata da concentração mínima de pó combustível suspenso no ar que propaga a chama de uma fonte de ignição. Tal parâmetro depende de muitos fatores, incluindo a composição, distribuição e tamanho das partículas analisadas (ABNT NBR 16385). Reconhece-se que em um ambiente industrial, fazer a medição correta da concentração de pó no ar é muito difícil ou mesmo impossível, por isso é necessário recorrer a medidas subjetivas para determinar esse dado.

A NFPA 68 define P_{max} como a pressão máxima desenvolvida em um ambiente não ventilado, enquanto o K_{st} é o índice de deflagração para poeiras. Ambos os parâmetros aumentam com a diminuição do tamanho da partícula, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Efeito do tamanho das partículas na pressão máxima e na taxa de aumento de pressão



Fonte: NFPA 68- Norma sobre Proteção contra Explosão por Ventilação de Deflagração (2023, p 66)

A classe de perigo para deflagração de pós combustíveis foi definida na ABNT NBR 16385 com base na NFPA 68, que categorizou as poeiras em três classes (St-1, St-2 e St-3) como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de perigo de deflagração de pós combustíveis

Classe de perigo	KST	P _{máx}
ST	bar – m/s	Bar
1	≤ 200	10
2	201 – 300	10
3	> 301	12

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16385 - Sistemas de prevenção e proteção contra explosão: Fabricação, processamento e manuseio de partículas sólidas combustíveis (2015, p.137)

Segundo Moraes (2019), para ocorrer uma explosão originada por poeira combustível existem fatores que aumentam a possibilidade dos acidentes. As principais propriedades a serem consideradas são: a dimensão da partícula de poeira, limites de inflamabilidade/explosividade, teor de umidade, concentração de oxigênio e fonte de ignição.

Vale lembrar que os limites de cada parâmetro vão variar conforme o material avaliado. Para Conceição (2018), por exemplo, os parâmetros críticos para a explosão de poeiras, são:

- Tamanho da partícula: < 0,1 mm;
- Concentração da poeira: 40 a 4.000 g/m³;
- Teor de umidade do grão: <12%;
- Índice de oxigênio no ar: > 12%;
- Energia de ignição: > 10 a 100 mJ
- Temperatura de ignição: 410° a 600°C.

Diante da disponibilidade desses fatores em operações que utilizam produtos cuja movimentação ocasiona a suspensão de partículas, diversas são as ocorrências registradas ao longo da história, as quais passaram a ser estudadas e influenciaram na elaboração de normas e evolução dos critérios de projetos de engenharia para prevenção e mitigação desses riscos.

2.3. Normas regulamentadoras

Nos Estados Unidos da América, a NFPA (National Fire Protection Association) é a principal norma pela qual se baseiam as recomendações contra

incêndios e explosões. No Brasil, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é o órgão responsável pelas normas técnicas em geral no país (ROCHA, 2016).

Além disso, no Brasil não existe uma lei nacional que estabeleça as regras de prevenção e proteção. As normas são estaduais e elaboradas pelo Corpo de Bombeiros de cada região. Nesse sentido, serão utilizadas as normas do Corpo de Bombeiros Militar do Paraná como referência para esse estudo.

Em 1896 foi criada a NFPA, uma organização global sem fins lucrativos de desenvolvimento de códigos e normas que oferecem padrões de segurança contra incêndios e começa a reconhecer os riscos de explosão de poeira industrial e a criar padrões para o gerenciamento seguro desses perigos. A organização possui mais de 200 comitês técnicos que compreendem mais de 6.000 voluntários e fornece acesso online gratuito aos seus códigos e normas.

Segundo Rocha (2016), existem outras organizações estadunidenses envolvidas na prevenção de incêndio como a CSB, OSHA, EPA (Environmental Protection Agency), além de organizações industriais e sindicatos de trabalhadores que são responsáveis por investigar, aplicar penalidades e garantir o cumprimento das normas existentes.

A norma estadunidense mais utilizada para definição das medidas de segurança a serem empregadas em uma edificação é a NFPA 101 - Código de Segurança da Vida. Porém, quando se trata especificamente de explosão de poeiras combustíveis, as mais utilizadas são:

- NFPA 61 - Padrão para a Prevenção de Incêndios e Explosões de Poeira em Instalações Agrícolas e de Processamento de Alimentos;
- NFPA 484 - Padrão para Metais Combustíveis
- NFPA 652 - Padrão sobre os Fundamentos da Poeira Combustível;
- NFPA 654 - Padrão para a Prevenção de Incêndios e Explosões de Pó da Fabricação, Processamento e Manuseio de Partículas Sólidas Combustíveis;
- NFPA 655 – Padrão para Prevenção de Incêndios e Explosões de Enxofre
- NFPA 664 - Padrão para a Prevenção de Incêndios e Explosões em Instalações de Processamento e Marcenaria de Madeira

No entanto, atualmente essas normas supracitadas estão sendo compiladas em apenas uma, a NFPA 660 - Padrão para Pós Combustíveis. Tal NFPA consolidará todas as normas existentes sobre poeiras combustíveis num único documento simplificado. Em teoria, isso levará ao aumento da segurança do local e à redução dos conflitos de padrões. No momento a NFPA 660 está passando por um plano de consolidação e ainda não está disponível ao público.

Dentre essas normas específicas, é possível ver que as NFPA's 484, 655 e 664, tratam de materiais diferentes de grãos, sendo eles metais combustíveis, enxofre e madeira respectivamente. Além disso, apesar das NFPA's 652 e 654 tratarem de incêndios e explosões de poeira combustível em instalações no geral, ambas deixam claro que não se aplicam especificamente a materiais armazenados ou utilizados em edifícios agrícolas, direcionando o leitor para outras normas da NFPA. Por isso para análises de incêndios e explosões de poeiras combustíveis em unidades de beneficiamento e armazenamento de grãos a norma mais utilizada ainda é a NFPA 61.

No Brasil, de acordo com Rocha (2016), até 2015, não existia norma que tratava especificamente sobre explosão de pó. O que se utilizava eram normas acessórias ao tema, como a NBR ISO 6184-1 (Sistemas de proteção contra explosão - parte 1: determinação dos índices de explosão dos pós combustíveis no ar) ou NBR IEC 60079-10-2 (Classificação de áreas – Atmosferas de poeiras explosivas). Atualmente, algumas das normas utilizadas para tratar do assunto são:

- ABNT NBR 16385 - Sistemas de prevenção e proteção contra explosão - fabricação, processamento e manuseio de partículas sólidas combustíveis – requisitos;
- NPT 027 CBMPR - Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos - agosto de 2022

A NBR 16385 é baseada principalmente na NFPA 654 de 2013, mas também se utiliza outras normas da NFPA como a 484 e 68, outras normas da ASTM (American Society for Testing and Materials), ASME (American Society of Mechanical Engineers), ANSI (American National Standards Institute), EN (European Standard), IEC (International Electrotechnical Commission) e VDI (Association of German Engineers) também são utilizadas (ABNT NBR 16385, 2015).

Já a NPT 027 tem por objetivo estabelecer as medidas de segurança para a proteção contra incêndios e explosões em unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos. Esta Norma de Procedimento Técnico (NPT) está dividida em três partes, sendo elas:

- Parte 1 – Regras Gerais: apresenta o objetivo, aplicação, referências da norma e algumas definições do assunto que será abordado.
- Parte 2 – Grãos: trata especificamente das unidades de armazenamento a granel e/ou beneficiamento de grãos.
- Parte 3 – Insumos Agrícolas: refere-se às medidas de segurança que devem ser tomadas em locais destinados à armazenagem ou manipulação de produtos agrícolas e insumos.

De acordo com Fortuna (2018), mesmo que as instruções da NBR não sejam obrigatórias, se for citada em alguma norma regulamentadora (NR), ela passa automaticamente a ser lei em âmbito federal. De mesmo modo, se uma NBR for citada em uma NPT, ela deverá ser cumprida.

Nesse sentido, como a NPT 027 referencia a ABNT NBR 16385 em seu escopo, a NBR é utilizada como a principal diretriz no que diz respeito a projeto de proteção e prevenção contra incêndios no estado do Paraná.

Para elaboração de projetos de prevenção de incêndio no geral deve-se primeiramente definir as medidas de segurança da edificação e em seguida verificar as normas específicas para aquele caso. Nesse sentido, no Paraná, por exemplo, para a elaboração de um projeto de prevenção de incêndios de uma unidade de beneficiamento de grãos, deve ser definido primeiramente as medidas básicas necessárias na edificação pelo CSCIP (Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico) e só então analisar as normas específicas (NPT 027 e NBR 16385).

O CSCIP do Corpo de Bombeiros do Paraná é um conjunto de normas, diretrizes e regulamentos estabelecidos pela instituição para garantir a segurança contra incêndio e pânico em edificações e áreas de risco no estado do Paraná, Brasil. Esse código tem como objetivo principal estabelecer requisitos mínimos de segurança que devem ser seguidos durante o projeto, construção, ocupação e operação de edificações e instalações, visando proteger a vida e o patrimônio contra os riscos de incêndio (CSCIP, 2021).

Do mesmo modo, com a norma estadunidense é necessário primeiramente definir as medidas básicas de prevenção pela NFPA 101 e só em seguida analisar a NFPA 61 que apresenta as definições específicas para aquela edificação.

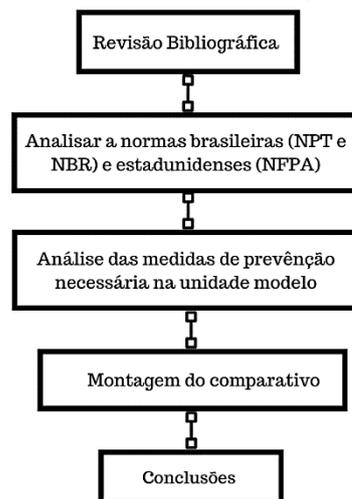
A NFPA 101 - Código de Segurança da Vida é um documento técnico que aborda uma variedade de tópicos relacionados à segurança, incluindo saídas de emergência, sistemas de alarme de incêndio, iluminação de emergência, proteção contra incêndio, e requisitos para o design e manutenção de edifícios, entre outros aspectos. Ela fornece diretrizes e requisitos mínimos que coletivamente ajudam a garantir a segurança dos ocupantes contra incêndios e emergências (NFPA 101, 2024).

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia proposta neste trabalho visa atender o objetivo de comparar as normatizações brasileiras aplicáveis no Paraná (CSCIP, NPT e NBR) e estadunidenses (NFPA) referente a explosão de poeira combustível em unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos. Sendo assim, a pesquisa é bibliográfica qualitativa e exploratória.

O ordenamento lógico desta pesquisa segue a seguinte sequência de etapas: revisão bibliográfica, análise das normas, análise das medidas necessárias em uma unidade modelo, montagem do comparativo das diferenças entre normas e conclusão. Como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma das etapas do estudo referente às medidas de segurança contra incêndios e explosões decorrentes da presença de poeira



Fonte: Autoria própria (2023)

Para isso, inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica para o embasamento teórico, tratando dos temas abordados, sua conceituação e contextualização, com o objetivo de absorver e compreender o assunto abordado.

Em seguida foram analisadas as normatizações que dizem respeito ao assunto, sendo elas: NFPA 61 e 101 (norte americana) e ABNT NBR 16385, CSCIP e NPT 027 (normas brasileiras válidas no Paraná). Para tanto foram utilizados os textos originais mais recentes das normas e materiais adicionais com referência nos assuntos tratados.

Utilizando o CSCIP e a NFPA 101, foi realizada uma análise de uma unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos modelo que exemplifica a aplicação

das mesmas, ou seja, foram verificadas quais medidas de proteção contra incêndios e explosões são necessárias em um mesmo layout, primeiramente seguindo o especificado nas normas brasileiras e em seguida conforme solicitado na norma estadunidense.

A unidade a qual se baseia o estudo, trata-se de um modelo genérico de uma edificação destinada ao armazenamento e beneficiamento de grãos, com um layout padrão dessas construções, incluindo todas as etapas convencionais do processo.

A planta baixa da construção, bem como o corte da mesma está representada nos Anexo A e B respectivamente. Neles é possível observar os seguintes itens: tombador; moega; túnel da moega e dos silos; máquinas de limpeza; redlers; elevadores; silo pulmão; silo de descarga e silos de armazenamento.

A área total dos ambientes desta unidade exemplo está demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Áreas totais dos ambientes da unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos modelo

Ambiente	Área (m²)
Unidade de beneficiamento e armazenamento	1045,63
Túnel da moega	30,29
Túnel dos silos	227,4
Silo-pulmão	41,51
Silo de descarga	16,62
Silo Metálico de Armazenamento 1	275,47
Silo Metálico de Armazenamento 2	275,47
Silo Metálico de Armazenamento 3	275,47
Silo Metálico de Armazenamento 4	275,47

Fonte: Autoria própria (2024)

A análise das medidas básicas de segurança necessárias em uma unidade modelo de beneficiamento e armazenamento de grãos teve por objetivo exemplificar as diferenças das medidas de prevenção solicitadas nas normas de cada país (Brasil e Estados Unidos) na prática. Com isso, foi possível obter estimativas mais próximas da realidade da diferença entre as normas.

Em seguida foi realizado um comparativo direto entre as normas de explosão de poeira combustível dos dois países (NBR 16385 e NFPA 61) a fim de encontrar a diferença entre as medidas específicas de cada norma.

Por fim, seguindo as etapas descritas foi atendido o objetivo principal de comparar a normatização brasileira aplicadas no Paraná (NBR e CSCIP) e a normatização estadunidense (NFPA) referente a explosão de poeira combustível em uma unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo apresenta os resultados e discussões do que foi proposto na metodologia da pesquisa anteriormente.

4.1. Definição das medidas básicas de segurança

Para entender detalhadamente as diferenças entre as normas estadunidenses e brasileiras no que diz respeito a explosão de poeira combustível em unidade de beneficiamento e armazenamento de grãos foi necessário inicialmente analisar o que as legislações de cada país exigem de medidas de segurança contra incêndios nesses casos.

Para isso, como já explicado anteriormente, utiliza-se a NFPA 101 nos EUA e o CSCIP e NPT 027 no Paraná. Ambas, cada uma a sua maneira, determinam como se deve classificar as edificações e definem as medidas que devem ser usadas em cada uma delas dependendo de suas características específicas.

Para essa análise foi considerada a unidade de beneficiamento de grãos modelo disposta nos anexos A e B.

4.1.1. Análise pelo CSCIP e NPT 027

Analisando o CSCIP do Corpo de Bombeiros do Paraná, após algumas definições gerais, a norma já apresenta logo no início de seu escopo a Tabela 1 que apresenta a classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação. Baseando-se na Tabela 1 do CISCIP (CBMPR) foi possível observar que a edificação analisada se enquadra em:

- Grupo: M
- Ocupação/Usos: Especial
- Divisão: M-5
- Descrição: Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos
- Exemplos: Silos, armazéns de grãos a granel, fertilizantes e assemelhados

Além disso, por se tratar de uma edificação de apenas um pavimento, com a “Tabela 2- Classificação das edificações quanto à altura” foi possível definir a edificação como “Tipo I – Edificação térrea”.

Com isso definido, foi possível seguir diretamente para a Tabela 6M.5. A Tabela 6M.5 do CSCIP, representada na Figura 13 apresentará todas as exigências para edificações e áreas de risco “M” da divisão “M-5”.

Figura 13 - Tabela 6M.5 do CSCIP
EXIGÊNCIAS PARA EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO “M” - DIVISÃO “M-5”

Grupo de Ocupação e Uso	GRUPO M – ESPECIAIS
Divisão	M-5 (Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de grãos, produtos agrícolas e insumos)
Medidas de Segurança contra Incêndio ²	Classificação quanto à altura
	Térrea
Acesso de Viatura na Edificação	X
Segurança Estrutural contra Incêndio	X
Saídas de Emergência	X
Plano de Emergência	X
Brigada de Incêndio	X
Iluminação de Emergência	X
Controle de Temperatura	X
Sistema de detecção e Alarme	X
Sinalização de Emergência	X
Sistema de Abafamento	X
Extintores	X
Hidrante e Mangotinhos	X
Chuveiros Automáticos	X ¹
Controle de Fontes de Ignição	X
Controle de “Pós”	X
SPDA	X

NOTAS ESPECÍFICAS:

1- Para as unidades de armazenamento e beneficiamento de açúcar.

2- As medidas de segurança contra incêndios para insumos agrícolas devem obedecer ao previsto nas tabelas “3A”, “3B”, “3C”, “3D”, “3E” e “3F” da NPT 027 – Parte 03.

Fonte: Corpo de Bombeiros do Paraná, CSCIP (2021, p.48)

Analisando a Figura 13, foi possível concluir que as medidas de segurança contra incêndio para edificações destinadas a unidades de beneficiamento e armazenamento de grãos são:

- Acesso de viatura na edificação;
- Segurança estrutural contra incêndio;
- Saídas de Emergência;
- Plano de Emergência;
- Brigada de Incêndio;
- Iluminação de emergência;

- Controle de temperatura;
- Sistema de detecção e alarme;
- Sinalização de emergência;
- Sistema de abafamento;
- Extintores;
- Hidrantes;
- Controle de Fontes de ignição;
- Controle de Pós;
- Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Sendo especificado que para unidades de armazenamento e beneficiamento de açúcar especificamente, são exigidos também sistemas de chuveiros automáticos. Além disso, embora também não seja o caso da nossa unidade avaliada, em nota a norma destaca que as medidas de segurança contra incêndios para insumos agrícolas como defensivos e fertilizantes devem obedecer ao previsto nas tabelas da NPT 027 – Parte 03.

Considerando a análise da NPT 027 Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos - Parte 2 do CBMPR, que aborda mais especificamente as unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas no que diz respeito a grãos, foi possível constatar a necessidade de cuidados adicionais para edificações desta classificação.

Além de considerações importantes sobre os elementos estruturais dos equipamentos instalados na unidade, tais como silos, secadores e elevadores de caneca, a NPT 027 define também como deve ser feito o acesso a silos, elevadores de produtos agrícolas e túneis de quaisquer naturezas. Nesse sentido, são especificados requisitos mínimos referente a qual tipo de escada pode ser usada para acessar esses locais, como: largura mínima dessas escadas, dimensões dos degraus, guarda corpos, etc.

No que diz respeito as medidas de segurança exigidas pela NPT 027 do CBMPR, tem-se:

- Exigência de brigada de incêndio conforme a NPT 017 – Brigada de incêndio;
- Elaboração de um plano de emergência que inclua ações em casos de soterramento e resgate de pessoas nos espaços confinados e de

armazenagem, de acordo com a NPT 016 – Plano de emergência contra incêndio e NR-33;

- Elaboração de um procedimento de limpeza em conformidade com o anexo A da NPT 027;
- Sistema de iluminação de emergência de acordo com a NPT 018 – Iluminação de emergência, sendo que as luminárias onde há formação de poeira, devem ser à prova de explosão;
- Sinalização de emergência de acordo com a NPT 020 – Sinalização de emergência, sendo que nos locais confinados e de acessos restrito, o emprego da sinalização poderá ser dispensado;
- Sistema de alarme instalado de acordo com a NPT 019 – Sistema de detecção e alarme de incêndio, sendo que no acesso aos túneis devem ser instalados acionadores de alarme manuais, sendo dispensada a instalação de acionadores manuais no interior dos túneis desde que haja pessoal com treinamento comprovado de acordo com a NR 33;
- Instalação de 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;
- Sensores de temperatura e movimento nos transportadores verticais e horizontais;
- Sensor de temperatura nos secadores;
- Extintores de incêndio conforme a NPT 021 – Sistema de proteção por extintores de incêndio, sendo proibido a instalação dos mesmos em espaços confinados com possíveis acumulações de poeira e isentos nas baterias de silos (exceto próximo a motores elétricos);
- Sistema de hidrantes de acordo com a NPT 022 – Sistemas de hidrantes e de mangotinhos, sendo dispensada a instalação do mesmo nas edificações destinadas ao recebimento, movimentação, secagem e depósito de sementes a granel, grãos e assemelhados;
- Reserva Técnica de Incêndio de acordo com a NPT 022 – Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate de incêndios, independente da exigência de sistema fixo, dimensionada em função

da área do projeto, podendo ser desconsiderada as áreas dos silos e armazéns graneleiros;

- SPDA para todas as edificações e estruturas metálicas de manuseio e armazenagem dos produtos agrícolas;
- Instalação de exaustores ou ventiladores, em conformidade com a ABNT - NBR IEC 60079-14:2016 em todos os locais confinados;
- Sistema de detecção e extinção de faísca (supressão de explosões) nos dutos coletores de pó do sistema de filtro de manga dispostos ao longo dos túneis;
- Sistema de alívio de explosão em todos os equipamentos enclausurados;
- Sistema de abafamento nos secadores.

É importante ressaltar, que para a elaboração completa do projeto de prevenção contra incêndio seria necessário avaliar além da NPT 027, todas as NPT's específicas das medidas de segurança supracitadas, sendo elas, dentre outras:

- NPT 006 - Acesso de viatura na edificação e áreas de risco (2014);
- NPT 011 - Saídas de Emergência (2024);
- NPT 016 - Plano de emergência contra incêndio (2014);
- NPT 017 - Brigada de Incêndio (2021);
- NPT 018 - Iluminação de Emergência (2014);
- NPT 019 - Sistema de detecção e alarme de incêndio (2012);
- NPT 020 - Sinalização de Emergência (2014);
- NPT 021 - Sistema de proteção por extintores de incêndio (2014);
- NPT 022 - Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio (2015).

4.1.2. Análise pela NFPA 101

A NFPA 101 é conhecida como o "Código de Segurança Humana" e serve como um padrão abrangente para a segurança contra incêndios e outros riscos relacionados à vida em edificações. Entre as suas finalidades está a de também definir a ocupação da edificação avaliada e destacar as medidas de segurança contra incêndio mínimas que devem ser adotadas na área avaliada.

A norma é subdividida em capítulos do 1 ao 43, sendo o capítulo 6 especificamente destinado a classificação de ocupação e perigo de conteúdo. Nele é possível definir que a edificação modelo pode ser definida como ocupação múltipla. A parte que contém os equipamentos de beneficiamento é classificada como industrial e os silos têm ocupação de armazenamento. A definição das duas ocupações segundo a norma é a seguinte:

Industriais: As ocupações industriais expõem os ocupantes a uma ampla gama de processos e materiais de diversos perigos. As ocupações industriais para fins especiais, que se caracterizam por grandes instalações de equipamentos que dominam o espaço, são abordadas separadamente das instalações industriais para fins gerais, que apresentam maiores densidades de ocupação humana.

Armazenamento: As ocupações de armazenamento são caracterizadas por uma ocupação humana relativamente baixa em comparação com o tamanho do edifício e por riscos variados associados aos materiais armazenados. (NFPA 101, 2024. p. 55).

Além disso, ainda no mesmo capítulo é possível definir a classificação dos perigos do conteúdo. Em se tratando então os grãos susceptíveis a liberação de poeiras combustíveis, ou seja, susceptíveis de queimar com extrema rapidez ou a partir dos quais são prováveis explosões, a edificação foi classificada como de alto risco.

Com a definição de ocupação industrial para o edifício onde estão as máquinas do processo e beneficiamento de grãos e ocupação de armazenamento para os silos, ambos de alto risco, foram analisados os capítulos 40 e 42 da NFPA 101 respectivamente. O capítulo 40 é específico para ocupações industriais e o capítulo 42, para armazenamento.

Com base no capítulo 40, as medidas necessárias para ocupação industrial são:

- Proteção de aberturas verticais;
- Meios de saídas;
- Iluminação dos meios de saída;
- Sinalização dos meios de saída;
- Sistemas automáticos de sprinklers;
- Sistemas de detecção, alarme e comunicação (para população acima de 100 pessoas);
- Acabamento interno.

Com base no capítulo 42, as medidas necessárias para ocupação de armazenamento são:

- Proteção de aberturas verticais;
- Meios de saídas;
- Iluminação dos meios de saída;
- Sinalização dos meios de saída;
- Acabamento interno;
- Sistemas de detecção, alarme e comunicação (em locais de armazenamento sem sprinklers com uma área útil total de mais de 9.300 m²).

Além disso, embora não seja exigido, a instalação de um sistema de extinção automática de sprinklers é permitida.

É importante ressaltar, que assim como na análise das NPT's para a avaliação do projeto de prevenção contra incêndios completo seria imprescindível a avaliação das NFPA's específicas de cada medida de segurança (MANESS, 2012), tais como:

- NFPA 10 - Padrão para extintores de incêndio portáteis;
- NFPA 13 - Padrão para a instalação de sistemas de sprinklers;
- NFPA 14 - Padrão para a instalação de sistemas de tubo vertical e mangueira;
- NFPA 15 - Padrão para sistemas fixos de spray de água para proteção contra incêndio;
- NFPA 25 - Padrão para a inspeção, teste e manutenção de sistemas de proteção contra incêndio à base de água;
- NFPA 30 - Código de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis;
- NFPA 31 - Padrão para a instalação de equipamentos de queima de óleo;
- NFPA 36 – Padrão para plantas de extração por solvente;
- NFPA 51B – Padrão para prevenção de incêndio durante soldagem, corte e outros trabalhos a quente;
- NFPA 54 – Código Nacional de Gás Combustível;
- NFPA 58 – Código de Gás Liquefeito de Petróleo;

- NFPA 68 – Padrão de proteção contra explosão por ventilação de deflagração;
- NFPA 69 – Padrão em sistemas de prevenção de explosão;
- NFPA 70 – Código Elétrico Nacional;
- NFPA 72 – Código Nacional de Alarme de Incêndio e Sinalização;
- NFPA 77 – Prática Recomendada sobre Eletricidade Estática;
- NFPA 80 – Padrão para portas de incêndio e outros protetores de abertura;
- NFPA 86 – Padrão para fornos;
- NFPA 91 – Padrão para sistemas de exaustão para transporte de ar de vapores, gases, névoas e partículas sólidas;
- NFPA 496 – Padrão para gabinetes purgados e pressurizados para equipamentos elétricos;
- NFPA 505 – Padrão de segurança contra incêndio para caminhões industriais motorizados, incluindo designações de tipo, áreas de uso, conversões, manutenção e operações;
- NFPA 654 – Padrão para a Prevenção de Fogo e Explosões de Pó da Fabricação, Processamento e Manuseio de Partículas Sólidas Combustíveis;
- NFPA 780 – Padrão para a instalação de sistemas de proteção contra raios.

4.2. Comparativo entre a ABNT NBR 16385 e NFPA 61

Além da análise preliminar das medidas de segurança da edificação, faz-se necessário também comparar as legislações específicas para explosão de poeira combustível em unidades de beneficiamento de grãos (NFPA 61 e NBR 16385).

A divisão dos capítulos de ambas as normas está demonstrada no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparativo entre os capítulos da NBR 16385 e NFPA 61

	ABNT NBR 16385	NFPA 61
ITEM	CAPÍTULO	CAPÍTULO
1	Escopo	Administração
2	Referências	Publicações referenciadas
3	Termos e Definições	Definições
4	Requisitos	Requisitos Gerais
5	Projeto Baseado em desempenho	Identificação de perigos
6	Projeto da instalação e de sistemas	Opção de Design Baseado em desempenho
7	Equipamento de processo	Análise de risco de poeira (DHA)
8	Controle de escape de pó e limpeza	Sistema de Gestão
9	Fontes de Ignição	Gestão de riscos: Mitigação e prevenção
10	Sistemas de proteção contra incêndio	N/A
11	Treinamento e processamentos	N/A
12	Inspeção, ensaios e manutenção	N/A
A	Anexo A – Informações adicionais	Anexo A – Material explicativo
B	Anexo B – Proteção contra explosão	Anexo B – Informações complementares sobre proteção contra incêndios
C	Anexo C – Detecção de fagulhas/faíscas e sistema de extinção	Anexo C – Informações complementares sobre fumigação
D	Anexo D – Caracterização da camada de pós e precauções	Anexo – Saúde e segurança dos funcionários
E	Anexo E – Métodos de isolamento de propagação da deflagração	Anexo E – Esquemas de instalações típicas de transporte pneumático
F	Anexo F – Uso de água como agente extintor em partículas sólidas combustíveis	Anexo F – Lista de verificações para análise de perigo de poeira
G	Anexo G – Características de deflagração de uma seleção de pós combustíveis	Anexo G – Referências Informativas
H	Anexo H - Abreviaturas	N/A

Fonte: Autoria própria (2024)

Para elaboração desse comparativo o texto da NBR 16385 utilizado foi o da última revisão, do ano de 2015, enquanto a versão da NFPA 61 utilizada é de 2020, também em vigor. Embora ambas as normas compartilhem o objetivo geral de proteger vidas e propriedades contra incêndios e explosões, diferem em seus escopos específicos e abordagens detalhadas para atingir esses objetivos.

4.2.1. Escopo

No que diz respeito ao escopo geral das normas, a NBR 16385 especifica requisitos técnicos para a segurança contra incêndios e explosões de pós em instalações industriais que lidam com partículas sólidas combustíveis em todas as fases de seu ciclo de produção. Em contrapartida, a NFPA 61 estabelece requisitos de segurança para a prevenção de incêndios e explosões de material particulado combustível em instalações agrícolas e/ou de processamento de alimentos.

4.2.2. Objetivo

Ambas as normas analisadas têm por objetivo geral estabelecer critérios técnicos para garantir a segurança de vidas e propriedades, bem como limitar os danos causados por incêndios ou explosões em instalações industriais que lidam com poeiras combustíveis.

No que diz respeito a seus objetivos específicos, a norma brasileira define metas gerais de segurança, sem prescrever, no entanto, métodos específicos para alcançá-las. Em vez disso, ela estabelece requisitos técnicos para a segurança como análise de risco; gerenciamento de risco de explosão; gerenciamento de modificações, segurança à vida e saúde ocupacional, etc.

A NFPA, em contraste com a NBR, detalha seus objetivos de forma específica e estabelece que esses objetivos devem ser alcançados através da aplicação da norma. Esses objetivos incluem segurança de vida, continuidade da missão e mitigação da propagação de incêndios e explosões. Além disso, a norma define critérios para determinar quando esses objetivos são considerados atingidos, proporcionando assim uma estrutura clara para avaliar a conformidade e a eficácia das medidas de segurança implementadas.

4.2.3. Retroatividade

A não ser nos tópicos limpeza e fontes de ignição, na qual a NBR deixa clara quais subitens devem ser atendidos retroativamente, ela não especifica outras questões de retroatividade. Nesse sentido subentende-se que as demais disposições dessa norma provavelmente se aplicariam principalmente a novas instalações.

No Paraná a norma do Corpo De Bombeiros subdivide as edificações antigas e existentes em três categorias:

- Antiga: edificações construídas até 1975;
- Existente tipo 1: edificações construídas entre 1976 até 7 Jan 2012;
- Existente tipo 2: edificações construídas entre 8 Jan 2012 até 31 Dez 2018.

De acordo com a NPT 027 Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos - Parte 2 (2020), para edificações

enquadradas como antigas ou existentes, algumas exigências da norma podem ser adaptadas. Por exemplo:

- a) Os acessos a silos com diâmetros superiores a 10 metros, que pela norma deveriam ser feitos por escadas tipo caracol, podem ser substituídos por escadas tipo marinheiro;
- b) Os acessos aos túneis, que pela norma deveriam ser feitos escadas em L ou U com largura mínima de 80 centímetros, podem ter largura de 60 centímetros ou ser feitos integralmente por escadas tipo marinheiro;
- c) Caso haja inviabilidade técnica de se prever sistema de abafamento para controle de incêndio nos secadores poderá ser previsto um sistema de resfriamento por aspersores de água com rede seca;
- d) Não é obrigatória a instalação de um sistema de detecção e extinção de faíscas nos dutos coletores de pó do sistema de filtro de manga dispostos ao longo dos túneis;
- e) Para edificações classificadas como existentes tipo 1, dispensa-se a instalação de sensores de temperatura e movimento nos transportadores verticais e horizontais.

Já a norma estadunidense no que diz respeito à retroatividade é clara e pragmática. Salvo disposição em contrário, como nos capítulos de sistema de gestão; análise de perigo de poeira e controle de fontes de ignição; as diretrizes da norma não se aplicam a instalações, equipamentos, estruturas ou sistemas que já existiam ou foram aprovados para construção antes da data de entrada em vigor da norma. No entanto, caso a autoridade competente determine que a situação existente representa um risco inaceitável, ela tem a autoridade para aplicar retroativamente quaisquer partes da norma que considerar apropriada. Isso permite uma abordagem flexível, garantindo que a segurança das edificações seja priorizada.

4.2.4. Quando considerar o pó do grão combustível

A ABNT NBR explica que caso a dimensão mínima do particulado seja superior a 500 μm , é improvável que este material seja considerado pó combustível. Porém a determinação só ocorre através dos ensaios indicados pela ASTM (norma

norte-americana), podendo considerar os dados do anexo G apresentado na própria NBR.

Para a NFPA 61 o proprietário/operador de uma instalação com poeiras potencialmente combustíveis será responsável por determinar se os materiais são combustíveis ou explosivos sendo permitido que o mesmo considere o pó gerado a partir de grãos como pós combustíveis agrícolas, a menos que dados disponíveis e/ou testes específicos definidos no Capítulo 5 da norma demonstrem o contrário.

4.2.5. Análise de risco

Segundo a NBR 16385, o projeto e o dimensionamento de dispositivos contra incêndio e/ou explosão devem se basear no estudo de análise de risco de projeto efetuado para o processo e instalação, conforme ABNT NBR 15662. Esta análise de riscos deve ser revisada e atualizada a cada cinco anos ou a qualquer tempo, quando houver modificação de processo na instalação. Além disso, em um subitem do Anexo A da norma ela especifica melhor de que forma o documento deve ser elaborado e o que ele deve considerar.

Já a NFPA trata de um documento de análise de risco de poeira, o DHA (Dust Hazard Analysis), o qual o proprietário/operador de uma instalação onde há materiais determinados como combustíveis será responsável por garantir que tal documento seja elaborado por uma pessoa qualificada conforme os requisitos da norma. O DHA identificará quais áreas de processos apresentam risco de incêndio, deflagração e explosão, as faixas operacionais seguras para essas áreas e fornecerá recomendações para gerenciar os riscos encontrados.

4.2.6. Projeto baseado em desempenho

Quanto ao projeto baseado em desempenho, as duas normas analisadas têm muitas semelhanças. Ambas exigem que o projeto seja minuciosamente documentado e que uma ampla gama de riscos seja considerada, os quais estão representados no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparativo dos critérios de desempenho pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61

ABNT NBR 16385	NFPA 61
Segurança da integridade física e da saúde dos ocupantes	Segurança da vida
Integridade estrutural	Integridade estrutural
Continuidade da missão	Continuidade da missão
Atenuação da propagação do incêndio e da explosão	Mitigação da propagação de incêndios e explosões
Prevenção dos efeitos da explosão	Efeitos de explosões

Fonte: Autoria própria (2024)

No entanto, a NFPA é mais clara na descrição dos elementos a serem levados em conta para a elaboração do projeto, mesmo abordando o mesmo tema. Além disso, um aspecto interessante da NFPA 61 é sua exigência de que propostas de projeto incluam documentação que notifique todas as partes envolvidas na propriedade ou gestão do edifício o seguinte:

(1) Aprovação do edifício, instalações, equipamentos ou processos, no todo ou em parte, como um projeto baseado em desempenho com determinados critérios e suposições de projeto especificados

(2) Necessidade de necessária reavaliação e reaprovação em casos de remodelação, modificação, renovação, alteração de uso ou alteração de pressupostos estabelecidos (NFPA 61, 2020, p.11)

4.2.7. Projeto de construção

No tópico sobre “Projeto da instalação e de sistemas” a NBR 16385 trata sobre uma análise de risco específica destinada a analisar o risco de início de incêndio de pó ou risco de explosão conforme a espessura da camada do pó acumulado externamente aos equipamentos do processo. Para definir se a área analisada apresenta risco de incêndio instantâneo ou perigo de explosão de pó, deve ser utilizado um dos 4 métodos:

- a. Método do critério de espessura de camada;
- b. Método de massa A;
- c. Método de massa B;
- d. Método de avaliação de risco.

Além disso a NBR destaca quando o risco de explosão em equipamento enclausurado deve ser considerado.

Nesse sentido, nas áreas em que o acúmulo de pó exceda o limite determinado pela análise de risco anterior deve estar separada de outras edificações através de uma barreira física, ou pela distância mínima de 11 metros.

No que diz respeito a construção desses ambientes de risco a norma destaca alguns pontos importantes no que diz respeito a:

- Porta corta-fogo
- Saída de emergência
- Passagem
- Tempo requerido de resistência ao fogo
- Alívio de deflagração
- Equipamentos elétricos

Já para a NFPA é permitida uma avaliação de risco para determinar o nível de projeto do edifício com o objetivo de adicionar recursos de proteção além dos citados nesse tópico. No que diz respeito a separação de edificações a norma estadunidense considera como distância segura os mesmos 11 metros da NBR, a não ser no caso de estruturas que abrigam áreas com uso intensivo de pessoal (escritório, balança etc.) que devem distar pelo menos 30m de silos de concreto armado convencional e 15m se o silo for de aço ou concreto armado anti-explosão.

Além desse item de separação das edificações, no que diz respeito a projeto de construção, a NFPA determina alguns requisitos específicos como:

- Compartimentação
- Construção de paredes internas
- Separação de áreas de risco de outras áreas de risco e de outras ocupações
- Meios de saída
- Torres marinhas

4.2.8. Projeto de equipamentos

Os tópicos que dizem respeito a equipamentos nas normas avaliadas são:

Quadro 3 – Comparativo dos tópicos sobre equipamentos pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61

	ABNT NBR 16385		NFPA 61
7	Equipamento de processo	9.3	Projeto de equipamento
7.1	Geral	9.3.1	Avaliação de Risco.
7.2	Avaliação de risco	9.3.2	Projeto para Contenção de Poeira. (Reservado)
7.3	Proteção contra explosão para equipamento	9.3.3	Sistemas de transporte pneumático, coleta de pó e aspiração centralizada.
7.4	Proteção contra incêndio para equipamento	9.3.4	Locais AMS (separador ar-material)
7.5	Isolamento de equipamento	9.3.5	Reciclagem da exaustão de ar limpo do AMS.
7.6	Isolamento de áreas de trabalho a montante	9.3.6	Sistemas de Dutos. (Reservado)
7.7	Proteção contra incêndio em instalações	9.3.7	Visores. (Reservado)
7.8	Recipiente de armazenamento de pó	9.3.8	Abortar Comportas/Amortecedores. (Reservado)
7.9	Sistema de transferência de material	9.3.9	Caixas, Tanques e Silos
7.10	Requisitos para sistemas que transportam metal particulado	9.3.10	Redução de tamanho. (Reservado)
7.11	Sistemas que transportam misturas híbridas	9.3.11	Separação por Tamanho de Partículas. (Reservado)
7.12	Sistemas de dutos	9.3.12	Sistemas de Proteção de Pressão. (Reservado)
7.13	Visores	9.3.13	Dispositivos de alimentação de material. (Reservado)
7.14	Sistemas de proteção de pressão	9.3.14	Pernas do Elevador de Caçambas.
7.15	Dispositivo de alimentação de produto	9.3.15	Transportadores, Bicos e Lançamentos de Material.
7.16	Elevadores de caneca	9.3.16	Misturadores e Liquidificadores.
7.17	Transportadores enclausurados	9.3.17	Secadores
7.18	Sistemas de ventilação	9.3.18	Pontos de Transferência. (Reservado)
7.19	Separadores de material-ar	9.3.19	Operações de transferência de calor.
7.20	Isolamento mecânico/dispositivo divisor de fluxo	9.3.20	Ventilação
7.21	Redução de tamanho	9.3.21	Máquinas e Equipamentos de Processamento.
7.22	Separação de tamanho de partícula	9.7.3	Proteção de Equipamentos.
7.23	Misturadores	9.7.3.1	Requisitos de Equipamento
7.24	Secadores	9.7.3.2	Isolamento de Equipamentos.

Fonte: Autoria própria (2024)

Como é possível observar pelo volume de subitens que tratam desse assunto, as duas normas trazem várias especificações sobre equipamentos no geral, dentre eles dutos, elevadores, transportadores, secadores, silos, etc.

Nesse sentido, desconsiderando mais uma vez os capítulos reservados que não puderam ser avaliados pode se dizer que a NBR 16385 apresenta, com ressalvas, praticamente as mesmas recomendações que a NFPA 61 nos seguintes assuntos:

- Proteção contra explosão para equipamento;
- Proteção contra incêndio para equipamento;
- Isolamento de equipamento;
- Recipientes de armazenamento de pó (caixas, tanques e silos);

- Secadores;
- Misturadores.

Ao contrário da NBR 16388 que discorre poucas especificações sobre alívio de deflagração, material de construção, limpeza, correias, entre outros itens dos elevadores de caneca, a NFPA 61 é bem mais didática e completa nesse sentido, trazendo inclusive uma imagem que representa a correta instalação dos alívios de explosão nesse equipamento.

Nos demais aspectos, as normas apresentam menos semelhanças evidentes. É notável que a NBR foca principalmente nos materiais em si, abordando elementos como visores e dutos e fornecendo especificações detalhadas sobre seu material e resistência mecânica. Por outro lado, a NFPA concentra-se mais nos processos e riscos associados, considerando questões como a localização ideal dos equipamentos e como estes funcionam em conjunto dentro da unidade. Isso contrasta com a abordagem mais individualizada dos equipamentos adotada pela norma brasileira.

4.2.9. Controle de pó e limpeza

No que diz respeito a escape de pó, a NBR estipula que seja feita uma aspiração contínua de forma a minimizar o escape de pó, no entanto não apresenta sugestões que minimizem esse efeito.

Em relação a limpeza, ela define que as superfícies devem ser limpas de forma que seja minimizado o risco de gerar um incêndio e/ou explosão, deixando que o proprietário defina a frequência da limpeza a ser realizada, bem como os métodos aplicados na inspeção para avaliar as taxas de acúmulo de pó de acordo com o cálculo de espessura máxima da camada de pó realizada anteriormente. Contudo a normativa determina quais tópicos devem ter o procedimento que será elaborado na unidade. Ademais, a norma ressalta que o método prioritário de limpeza deve ser a aspiração a vácuo, com explicações detalhadas sobre as precauções a serem observadas caso outro método seja utilizado.

Por outro lado, a NFPA 61 não determina uma fórmula para o cálculo da espessura da camada do pó como a NBR, ela define um limite de acúmulo de poeira doméstica de 3,2 mm.

Além disso, a norma enfatiza a necessidade de desenvolver e implementar um programa de limpeza por escrito, determinando a frequência e os métodos ideais para reduzir o acúmulo de poeira. No mesmo contexto, a NFPA 61 aborda diversos métodos de limpeza em subseções específicas, porém tais informações são reservadas e não estão disponíveis ao público.

Observa-se, portanto, que a NFPA é bem concisa no quesito definição do programa de limpeza, não expondo todos os riscos que esse processo pode ocasionar.

Já no que diz respeito a controle de poeira a NFPA é mais completa que a NBR. Explicando precisamente como utilizar supressores e sistema de ventilação ou aspiração de ar em alguns equipamentos como elevadores e balanças podem evitar o escape de pó.

4.2.10. Fontes de ignição

Neste capítulo a NBR 16385 apresenta observações importantes a serem levadas em consideração durante o processo para se evitar a formação de faíscas. Dentre as observações, destaca-se a necessidade de se evitar a entrada de materiais estranhos nos sistemas, principalmente rebarbas metálicas.

Outro aspecto relevante abordado são os rolamentos e correias. A NBR ressalta a importância de interromper o funcionamento do equipamento em casos de deslizamento de correia.

Novamente, nesse capítulo a NFPA apresenta vários subitens reservados, os quais não podemos ter acesso. No entanto os tópicos sobre rolamentos e motores são bem mais aprofundados que os apresentados na NBR.

Para demonstrar como as duas normas abordam o mesmo assunto, embora a NFPA 61 seja mais detalhada, o Quadro 4 apresenta um comparativo direto sobre o que cada uma das normas diz a respeito de controle de fontes de ignição em rolamentos.

Quadro 4 - Comparativo sobre controle de fontes de ignição em rolamentos pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61

ABNT NBR 16385	NFPA 61
<ul style="list-style-type: none"> • Rolos ou esferas devem ser utilizados em todos os equipamentos de transporte e de processamento. • Buchas podem ser utilizadas quando a documentação de avaliação de engenharia indicar que as cargas mecânicas e as velocidades evitam ignição por formação de calor decorrente de fricção. • Lubrificação deve ser utilizada de acordo com as recomendações do fabricante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rolamentos antifricção devem ser usados em todas as máquinas, transportadores, pernas e equipamentos de processamento. • Mancais de luva e de fricção, mancais de plástico ou mancais de madeira impregnados de óleo serão permitidos para equipamentos operando a 150 rpm ou menos. • Todos os rolamentos devem ser mantidos de acordo com as recomendações dos fabricantes e devem ser mantidos livres de poeira, produtos e lubrificante excessivo. • Se um rolamento estiver diretamente exposto a uma atmosfera de poeira combustível que represente um risco de deflagração ou estiver sujeito ao acúmulo de poeira que represente um risco de deflagração, o rolamento deverá ser monitorado quanto a superaquecimento por equipamentos automatizados, dispositivos instalados ou verificações manuais periódicas em uma frequência estabelecida pelo proprietário/operador. Todos os rolamentos nas pernas e transportadores devem estar localizados fora dos compartimentos das máquinas e isolados do fluxo de produto para minimizar a exposição à poeira e para serem mais acessíveis para inspeção e manutenção. • Os rolamentos de suporte antifricção em transportadores helicoidais e equipamentos similares que exigem que os rolamentos estejam dentro do fluxo de produto devem ser do tipo vedado. • Mancais de deslizamento e de fricção serão permitidos para equipamentos operando a 150 rpm ou menos.

Fonte: Autoria própria (2024)

Além disso, A NFPA destaca que será permitido fumar apenas em áreas designadas .

O Quadro 5 apresenta o comparativo direto das duas normas sobre os tópicos apresentados desse assunto. É possível observar que, embora a NFPA traga maior quantidade de subitens, o fato de grande parte deles estarem reservados dificulta a análise.

Quadro 5 – Comparativo dos tópicos sobre fontes de ignição pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61

ABNT NBR 16385	NFPA 61
Calor de faíscas mecânicas e fricção	Trabalho a quente (reservado)
Equipamento elétrico	Superfícies quentes (reservado)
Eletricidade estática	Rolamentos
Ferramentas com acionamento por cartucho	Fiação elétrica e equipamentos
Chamas abertas e fagulhas	Descargas eletrostáticas
Processos de aquecimento e sistemas de conforto térmico	Chamas abertas e equipamentos movidos a combustível (reservado)
Superfícies quentes	Motor e equipamentos motorizados
Caminhões industriais e empilhadeiras	Temperaturas do ar e do meio do processo (reservado)
	Auto aquecimento (reservado)
	Faíscas por atrito e impacto (reservado)
	Fumar
	Correias de transmissão

Fonte: Autoria própria (2024)

4.2.11. Sistema de proteção contra incêndio e explosão

A NBR define que os sistemas de proteção contra incêndio devem ser projetados e instalados em edificações para protegê-las e proteger os equipamentos de processo e os produtos em fase de processo. Embora nem todas as medidas citadas tenham suas normas específicas, elas serão mais profundamente abordadas nas normas estaduais do corpo de bombeiros que definirá qual delas realmente será exigida na edificação avaliada.

A NFPA difere as medidas de incêndio e explosão, definindo como principal medida de segurança em áreas que existam risco de explosão a instalação de sistemas de alívio de explosão, não se aplicando a túneis e fossas onde a ventilação de explosão não é prática devido ao confinamento pelo solo, restrições de construção ou ambos.

De forma geral a norma indica que todas essas medidas de prevenção de incêndio sejam instaladas conforme suas NFPA's específicas não especificando cuidados adicionais que devem ser tomados.

As medidas de prevenção de incêndio exigidas por cada uma das normas estão representadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Comparativo das medidas de prevenção de incêndio exigidas pela ABNT NBR 16385 e NFPA 61.

ABNT NBR 16385	NFPA 61
Sistemas de detecção	Extintores de Incêndio
Dispositivos do sistema de extinção	Hidrantes
Portas de alívio e dispositivos de corte de fluxo	Sprinklers Automáticos
Extintores de incêndio	Sistemas de detecção e extinção de faíscas/brasas
Hidrantes e mangotinhos	Sistemas Especiais de Proteção contra Incêndio (Reservado)
Difusores	
Chuveiros automáticos (sprinklers)	
Sistema de alarme	

Fonte: Autoria própria (2024)

4.2.12. Treinamentos

Um tema de extrema importância é a realização de treinamentos e a conscientização sobre os riscos envolvidos. Isso porque, a ameaça de explosões devido a poeiras combustíveis não é amplamente reconhecida, levando muitos trabalhadores dessas unidades a se exporem a perigos sem estarem cientes disso.

Nesse sentido a NBR 16385 exige que todos os funcionários recém contratados sejam treinados de forma a assegurar que tenham o devido conhecimento sobre os seguintes assuntos:

- a) Perigos em local de trabalho;
- b) Orientação geral, inclusive regulamentos de segurança de processo e de trabalho;
- c) Descrição do processo;
- d) Operação de equipamentos, partida e parada de modos seguros e ações de resposta em casos de operações anormais e/ou flutuações no processo de operação da planta;
- e) A necessidade de operação apropriada dos sistemas de proteção e combate a incêndio e de proteção contra explosão;
- f) Requisitos e práticas de manutenção em equipamentos, inclusive espaços confinados;
- g) Requisitos de limpeza;
- h) Planos de ação de emergência. (NBR 16385, 2015, p. 51).

Tal treinamento deve ser feito anualmente ou sempre que houver mudanças no processo ou necessidade de atualização dos planos.

A NPT 027 Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos - Parte 2 (2020) do Corpo de Bombeiros do Paraná, exige que além desses itens solicitados pela NBR os funcionários tenham conhecimento sobre a utilização adequada de equipamento de proteção individual (EPI) e combate a incêndios em secadores.

Outrossim, em seu anexo a NBR 16385 descreve ainda os requisitos mínimos que deve conter o plano de emergência, sendo eles:

- a) Descrição dos cenários de emergência;
- b) Descrição do sistema de sinalização ou alarme;
- c) Identificação dos meios de evacuação;
- d) Minimização dos efeitos sobre os operadores e a comunidade;
- e) Minimização das perdas de equipamentos e propriedade;
- f) Cooperação entre os departamentos e fábricas;
- g) Cooperação de agências externas;
- h) Liberação de informações precisas ao público. (NBR 16385, 2015, p.103).

Além disso, o empregador deve garantir que os contratados e subcontratados além de serem treinados para trabalhos nesse tipo de unidade, estejam sempre portando ferramentas adequadas e seguras para o local utilizado. Ademais os mesmos devem ser habilitados para atender os treinamentos e procedimentos de segurança específico da edificação em questão estando ciente dos planos de segurança, rotas de fuga, etc.

Assim como no Brasil, a norma dos Estados Unidos exige o treinamento anual de conscientização dos riscos de explosão de poeiras combustíveis a todos os trabalhadores do local, adicionando também a essa exigência que esse treinamento seja dado aos prestadores de serviços, trabalhadores temporários e visitantes.

A NFPA traz também os requisitos que devem conter no plano de emergência da unidade, tais como:

- (1) Um meio de notificação para os ocupantes em caso de incêndio e explosão
- (2) Uma área de montagem de evacuação pré-planejada
- (3) Pessoa(s) designada(s) para notificar equipes de emergência, incluindo o corpo de bombeiros
- (4) Desenho(s) de layout da instalação mostrando rotas de saída, locais de produtos químicos perigosos e equipamentos de proteção contra incêndio
- (5) Localização de ficha(s) de dados de segurança para produtos químicos perigosos
- (6) Um(s) número(s) de telefone de emergência
- (7) Deveres de resposta a emergências para ocupantes
- (8) Uma(s) pessoa(s) designada(s) para atender o(s) atendente(s) de emergência externo(s) para coordenar o incidente (NFPA 61, 2020, p. 19).

4.2.13. Inspeção, ensaios e manutenção

Por último a ABNT NBR 16385 exige que sejam elaborados planos de inspeção e de manutenção, além de um programa de ensaios de forma a garantir que todos os equipamentos, instalações elétricas e dispositivos existentes estejam sempre de acordo com as normas vigentes, em bom estado de funcionamento e

seguros para a utilização. Por fim, deve ser elaborado relatórios das conclusões observadas a partir desses planos que devem ser registrados e arquivados conforme procedimentos internos da empresa.

Embora a NFPA não exija um plano específico, ela pede que todos os equipamentos que afetam a prevenção de incêndios devem ser inspecionados, testados e mantidos de acordo com a norma NFPA aplicável ou a recomendação do fabricante, não estendendo, no entanto, essa análise para todos os equipamentos envolvidos na unidade. Os procedimentos e cronogramas que ditam a realizações desses testes devem estar devidamente documentados.

4.2.14. Anexos

De maneira geral, os anexos das duas normas analisadas têm por objetivo facilitar a compreensão da norma. Ou seja, para interpretar corretamente todo o escopo da norma, é essencial considerar as observações levantadas nesses anexos para as duas normas.

Os conteúdos contidos nos anexos de A a H da ABNT NBR 16386 divergem completamente do conteúdo dos anexos A a E da NFPA 61, pois foram elaborados pensando em quais informações adicionais faltariam a compreensão do leitor para cada escopo de norma individualmente.

Dessa forma, fazer o comparativo direto desses anexos não é válido, uma vez que o material contido nele tem caráter explicativo do texto que já foi comparado anteriormente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho objetivou comparar as normatizações brasileiras e estadunidenses no que diz respeito a explosões de poeira combustível em unidades de beneficiamento e armazenamento de grãos.

Em se tratando das medidas de segurança solicitadas pelo CSCIP, NPT 027 e pela NFPA 101, observa-se que a legislação do Paraná exige maior número de medidas embora não indique a instalação de um sistema de sprinklers nas unidades de grãos. No mesmo sentido a norma estadunidense é mais sucinta, deixando as especificidades para serem detalhadas na NFPA 61.

Já no comparativo direto entre a ABNT NBR 16385 e a NFPA 61, considera-se então que as normas são bastante semelhantes quanto aos requisitos de segurança nas edificações. Porém, em relação ao nível de especificação dos requisitos, a NFPA é muito mais clara e objetiva.

Nesse sentido, observa-se também que no Brasil, por se tratar de documentos elaborados por organizações diferentes, a legislação estadual (CSCIP e NPT) e federal (NBR) apresentam linguagens bastante distintas, o que dificulta a compreensão do leitor. Já as NFPA's, tem um certo padrão de linguagem e organização de capítulos, o que facilita a compreensão geral dos documentos.

Embora os tópicos de ambas as normas sejam muitos semelhantes, percebe-se que as recomendações da ABNT NBR 16385 são bastante genéricas e não descrevem detalhadamente de que forma cumprir o requisito de cada item. Já a NFPA detalha muito mais cada um de seus capítulos, e aborda cenários mais variados que possam ser questionados.

Como fechamento desse trabalho, pode-se dizer que os objetivos foram alcançados, bem como a questão de estudo foi respondida.

Como sugestão para futuros trabalhos, tem-se:

- Elaborar um projeto de prevenção contra incêndios completo em uma unidade modelo e avaliar os custos de sua execução.

- Reavaliar o comparativo entre a norma estadunidense NFPA e as normas brasileiras de prevenção contra incêndio e explosão aplicáveis no estado do Paraná em unidades de beneficiamento e armazenamento de grãos após o lançamento da nova NFPA 660 - Padrão para Pós Combustíveis.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16385**: Sistemas de prevenção e proteção contra explosão – fabricação, processamento e manuseio de partículas sólidas combustíveis– requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DO PARANÁ. **NPT 27** Parte 1 a 3: Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos. Paraná: CBMMPR, 2020.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DO PARANÁ. **Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (CSCIP)**. Paraná: CBMMPR, 2021
- CHEREMISINOFF, N. P. **Dust Explosion and Fire Prevention Handbook**. Scrivener, 2014.
- CONCEIÇÃO, M. G. C. S. **Controle de risco de explosão em silos de cereais**. Monografia—Taubaté - SP: Universidade de Taubaté, 2018.
- COSTELLA, M. F.; PILZ, S. E.; BET, A. Método de coleta e análise de amostras de poeira para avaliação de riscos de explosões de pós em suspensão em unidades de recebimento e armazenagem de grãos. **Gestao e Producao**, v. 23, n. 3, p. 503–514, 1 jul. 2016.
- ECKHOFF, R. K. **Dust Explosions in the Process Industries**. 3. ed. Burlington: Gulf Professional Publishing, 2003b.
- FORTUNA, A. DE B. P. **Classificação de área para poeiras explosivas em uma planta industrial de vedantes**. Monografia—Rio de Janeiro - RJ: UFRJ, jul. 2018.
- GOMIDE, D. S. **Desenvolvimento de Gestão de segurança em espaços confinados em de Beneficiamento e Armazenamento de Grãos**. Tese de TCC—Pelotas - RS: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 2017.
- GUARALDO, M. C. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>>. Acesso em: 18 out. 2023.
- HAAS STROSCHÖN, D. G. **Comparação da legislação e normatização aplicáveis ao plano de prevenção e proteção contra incêndios, antes e após o incêndio na boate Kiss a partir de um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso—Ijuí: UNIJUÍ, 9 nov. 2015.
- MANESS, J. E. Prevención de Incendios. Em: PÉREZ, J. M.; MONCADA, J. A. (Eds.). **Manual de Protección Contra Incendios**. 5ª ed. [s.l: s.n.]. v. 2p. 251–271.
- MANTOVANI, E. C. et al. Cultivo do Milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2015.

MASSUNARI, C. R. DA C. L. **Explosão de pó em unidades armazenadoras de grãos**. Monografia (especialização)—Taubaté - SP: Universidade de Taubaté, 2009.

MORAIS, T. L. **Prevenção de acidentes por explosões em silos de armazenamento de grãos**. Trabalho de Conclusão de Curso—Campo Mourão: UTFPR, 2019.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA nº 61** Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Processing Facilities. USA, 2020.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA nº 101** The Life Safety Code. USA, 2024.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA nº 68** Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting. USA, 2023.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA nº 654** Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids. USA, 2020.

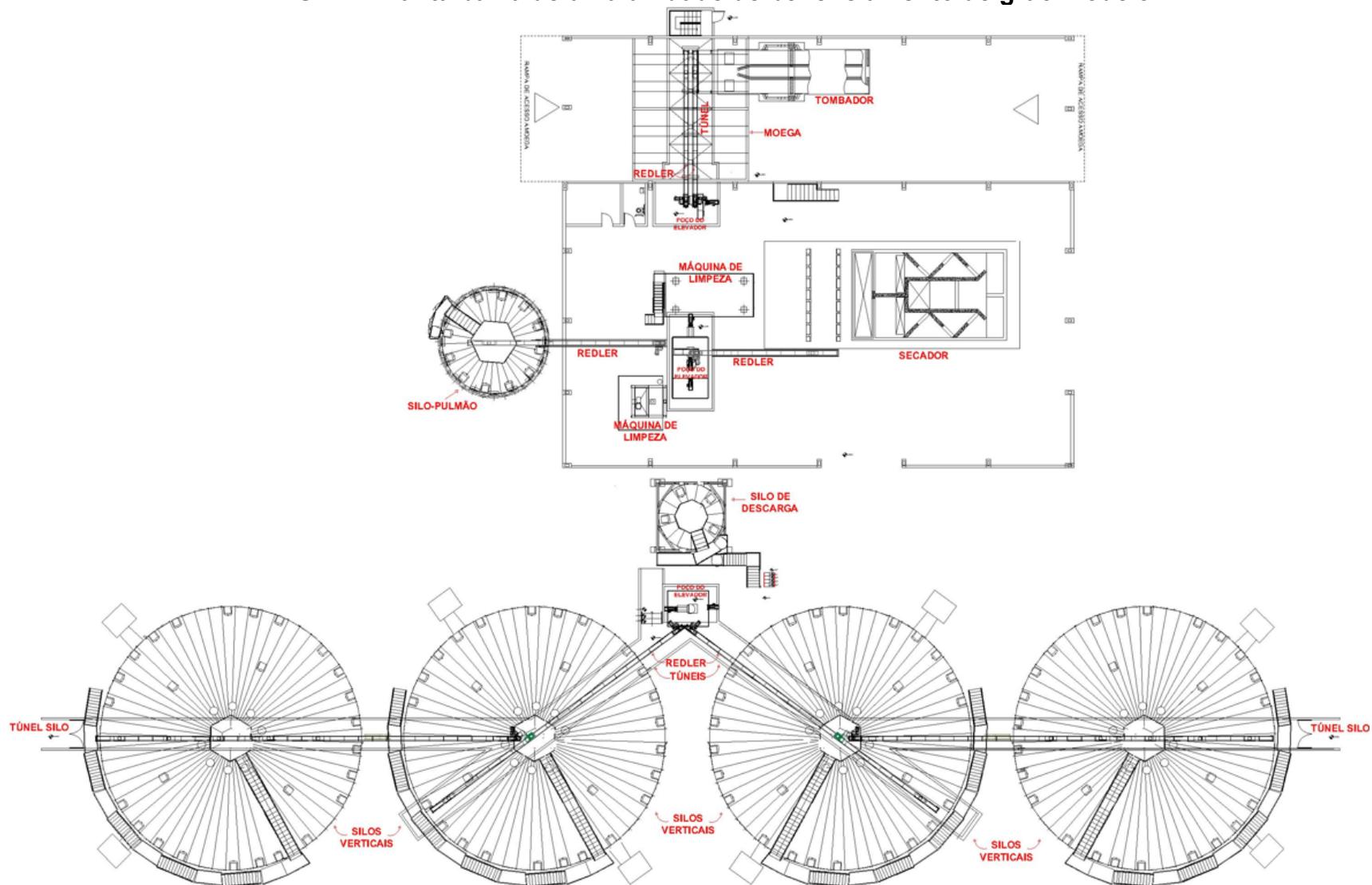
JUNIOR, E. R. **Atmosferas explosivas de pós: todo cuidado é pouco!** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/267860514>>.

ROCHA, V. A. **Explosão de Pó em Indústrias - Estudos de Casos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

SCHEER, R. D. **Avaliação de unidade de secagem e armazenamento de grãos pela ótica trabalhista prevencionista**. Trabalho de Conclusão de Curso—Porto Alegre: UFRS, 2019.

SILVA, J. DE A. **Modelagem CFD de explosões de pós em silos**. Dissertação mestrado—Lavras - MG: UFLA, 2012.

ANEXO A - Planta baixa de uma unidade de beneficiamento de grão modelo



ANEXO B - Corte de uma unidade de beneficiamento de grão modelo

