



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**



**BEATRIZ TATIKAWA DA SILVA**

**Análise de risco em moegas de soja**

Uberlândia, MG

2022

Beatriz Taticawa da Silva

## **Análise de risco em moegas de soja**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro habilitação Engenharia Química.  
Área de concentração: Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. Rubens Gedraite

Uberlândia

2022

Beatriz Taticawa da Silva

Análise de risco em moegas de soja

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro habilitação Engenharia Química apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia.

Área de concentração: Engenharia Química

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rubens Gedraite  
Orientador  
Faculdade de Engenharia Química / UFU

Prof. Dr. Rodrigo Sislian  
Instituto Federal de São Paulo – Campus Guarulhos

Eng. Rafael Yuri Medeiros Barbosa  
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química / UFU

Uberlândia, 07 de abril de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a minha família, por me apoiar e estar presente em todos os momentos durante essa caminhada. À minha mãe, Julia, minha maior inspiração nos estudos e na vida, sempre acreditou e me incentivou em tudo que me dispus a realizar. Ao meu pai, Marcos e minha irmã Thais pelo amor imenso e pelo apoio de todos esses anos.

A pessoa que sempre esteve presente durante a maior parte da graduação, agradeço ao Alexandre, pela companhia e pelos momentos maravilhosos que temos e tivemos juntos.

Aos meus poucos, mas bons amigos, agradeço o apoio e por fazerem parte dessa etapa da minha vida, alguns mais perto do que outros, mas sempre presentes nessa jornada.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Prof. Rubens Gedraite, pela compreensão e suporte durante esse tempo. Por ser um exemplo de pessoa e de profissional para mim durante a faculdade.

## RESUMO

A segurança de processos é um tema muito abordado na indústria, em especial naquelas que ofereçam uma atmosfera explosiva em sua produção. As indústrias de beneficiamento de grãos, se enquadram nesse tema, devido à alta presença de poeiras explosivas em algumas áreas. Uma dessas áreas de preocupação são as moegas, que são equipamentos que recebem os grãos para serem encaminhados para o armazém. Nessa etapa, os grãos passam por transportadores e por ambientes enclausurados, o que podem acarretar no aumento de poeira em suspensão, tornando o ambiente mais propenso a acidentes catastróficos. Considerando uma planta típica de beneficiamento de soja, com o uso do HAZOP como ferramenta de análise de risco, foi realizado o levantamento das principais desvios e possíveis ações mitigatórias para esse de situação. Fazendo com que o ambiente se torne mais seguro, com menores chances de ocorrência de acidente, uma vez que os problemas relacionados já foram identificados.

**Palavras-chave:** poeira explosiva, moega, HAZOP, análise de risco, soja.

## ***ABSTRACT***

Process safety is a much-discussed topic in the industry, especially in those that offer an explosive atmosphere in their production. The grain processing industries fit this theme, due to the high presence of explosive dust in certain areas. One of these areas of concern are the hoppers, which are equipment that receives the grains to be sent to the warehouse. At this stage, the grains pass through conveyors and through enclosed environments, which can lead to a suspended dust increase, making the environment more prone to catastrophic accidents. Considering a typical soybean processing plant, using HAZOP as a risk analysis tool, a survey of the main deviations and possible mitigating actions for this situation was carried out. Making the environment safer, with less chance of an accident occurring, since the related problems have already been identified.

**Keywords:** explosive dust, hopper, HAZOP, risk analysis, soybean.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	7
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	9
2.1	RECEPÇÃO E ARMAZENAMENTO DA SOJA .....	9
2.2	INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS PARA PROCESSAMENTO DE GRÃOS A GRANEL .....	10
2.3	EXPLOSÃO ENVOLVENDO POEIRAS COMBUSTÍVEIS .....	12
2.4	HISTÓRICO SOBRE EXPLOSÕES ENVOLVENDO POEIRAS COMBUSTÍVEIS.....	16
2.5	MÉTODOS MITIGATÓRIOS .....	18
3	METODOLOGIA.....	21
3.1	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS MOEGAS .....	21
3.2	TRANSPORTADORES DE GRÃOS .....	23
3.3	INFLUÊNCIA DE POEIRAS COMBUSTÍVEIS E EQUIPAMENTOS .....	26
3.4	CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA .....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	ANÁLISE DE HAZOP DE UMA MOEGA .....	29
5	CONCLUSÃO .....	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A segurança de processos dentro da indústria tem grande valor, uma vez que surge com estratégias contra acidentes englobando prevenção de vazamentos e falhas em equipamentos causado pela falta de integridade dos mesmos e descontroles na operação. A inspeção, testes e manutenção preventiva consegue assegurar que acidentes com grandes proporções sejam evitados, tanto em questões relacionadas com pessoas e meio ambiente quanto com o ativo das empresas.

Toda a atividade industrial em seu processo de transformação – seja devido às perdas ou seja devido às ineficiências no processo – podem gerar resíduos sólidos, líquidos ou gasosos com características diversas, podendo ser inflamáveis e explosivos. Este fato afeta diretamente as atividades rotineiras desempenhadas pelos trabalhadores e, também, partes físicas da instalação industrial. Existe, inclusive, a possibilidade de vir a afetar a comunidade vizinha e o meio ambiente, através das emissões do processo para o meio externo ou movimento no âmbito interno da indústria.

As indústrias de processamento de insumos que, em alguma de suas fases, se apresentam na forma de pó são instalações que apresentam potencial elevado de riscos quanto a incêndios e explosões. Pode-se citar especificamente as indústrias de armazenagem, secagem e beneficiamento de produtos agrícolas, os fabricantes de rações animais balanceadas, as indústrias alimentícias, as indústrias metalúrgicas, as indústrias farmacêuticas, as transformadoras de plásticos, as indústrias de beneficiamento de carvão mineral e de madeira. Para tais tipos de instalações industriais deve-se, antes da respectiva implantação, efetuar uma análise rigorosa dos riscos envolvidos e tomar as precauções cabíveis, eliminando ou mitigando os riscos que ofereçam perigo de acidentes com vítimas e mortes (SÁ, 1997).

Nas atividades industriais descritas anteriormente, há riscos para os trabalhadores, riscos estes físicos, químicos, biológicos e ergonômicos. No entanto, dentre os principais riscos observados em tais instalações, os acidentes causados por incêndios e explosões por poeiras em suspensão são os que mais danos trazem ao patrimônio, com perdas irreparáveis inclusive de vidas humanas, incontáveis dias de

paralisação, perda de mercado, de competitividade, investimento necessário para colocar novamente em operação o complexo, além das consequências psicológicas que isto representa no futuro, pois sempre haverá alguém que participou ou assistiu a catástrofes e que terá dificuldade de conviver com ela novamente.

As explosões de pós em suspensão são fenômenos que ocorrem com pouca frequência; porém, quando acontecem, suas consequências são desastrosas. Em razão disso, a busca por métodos de prevenção é cada vez mais importante.

Diante do exposto, o presente trabalho visa avaliar e identificar os potenciais riscos apresentados à segurança do processo decorrentes da operação de moegas tipicamente empregadas em indústrias de processamento de soja.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

A soja é o principal produto da pauta de exportação brasileira. Nos últimos 40 anos, a produção de soja se multiplicou mais de quatro vezes, saindo de 26 milhões de toneladas para as 120 milhões de toneladas da última safra, transformando o país se tornar no maior exportador mundial do grão (APROSOJA, s.d.).

O processo de beneficiamento da soja foi escolhido devido a sua importância no mercado brasileiro e, também, em virtude do fato de existirem diversas empresas que atuam nesse segmento na região do triângulo mineiro. A soja é fundamental na economia brasileira, sendo o produto mais importante do agronegócio do país, arrecadando com exportações mais de 30 bilhões de dólares ao ano. Além do papel importante na política econômica, a indústria de soja tem estimulado o desenvolvimento econômico-social das cidades em que se instala, visto que além de trazer muitos empregos – cerca de 1,5 milhão de empregos em 17 estados do país, e aumentar a renda familiar – incentiva o investimento em educação e capacitação do empregado (GONDIN, 2019).

### **2.1 RECEPÇÃO E ARMAZENAMENTO DA SOJA**

Saindo das unidades produtoras a soja chega por meio de caminhões e trens e chegando na indústria, passa pelo recebimento onde é feita a classificação dos grãos conforme descrita na Instrução Normativa (IN) 11, de 16 de maio de 2007. Testando os fatores de qualidade como umidade, grãos esverdeados, impurezas e grãos avariados. Para a soja da chamada Grupo II, destinado para a indústria de esmagamento e não para o consumo in natura. A classificação será feita conforme os limites máximos de tolerância apresentados na Tabela 1.

Após a recepção passando pela descarga, os grãos são encaminhados para as moegas, que são equipamentos de armazenamento. Depois de descarregada a soja passa por um processo de pré-limpeza, geralmente constituído por peneiras vibratórias, as quais conseguem separar boa parte das cascas, pó e particulados presentes. A depender da umidade do grão, normalmente acima de 12%, é necessário

passá-lo pela etapa de secagem antes do armazenamento, expondo os grãos a uma corrente de ar quente, a qual é aquecida diretamente com fogo ou indiretamente com vapor.

**Tabela 1:** Parâmetros bases para classificação do grão de soja

<b>Fator de qualidade</b>	<b>Valor limite (%)</b>
Umidade	14
Grãos quebrados	30
Impurezas / corpos estranhos	1
Grãos avariados (Queimado, ardido ou mofado)	8
Grãos esverdeados	8

Fonte: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (2017)

O armazenamento pode ser feito em armazéns ou em três tipos diferentes de silos, a saber: Muskogee, Semiesférico e Vertical. Este último - devido à sua geometria cilíndrica – é especificamente recomendado para armazenar a soja, já que esta apresenta boas características de escoamento (MORETTO; FETT,1989).

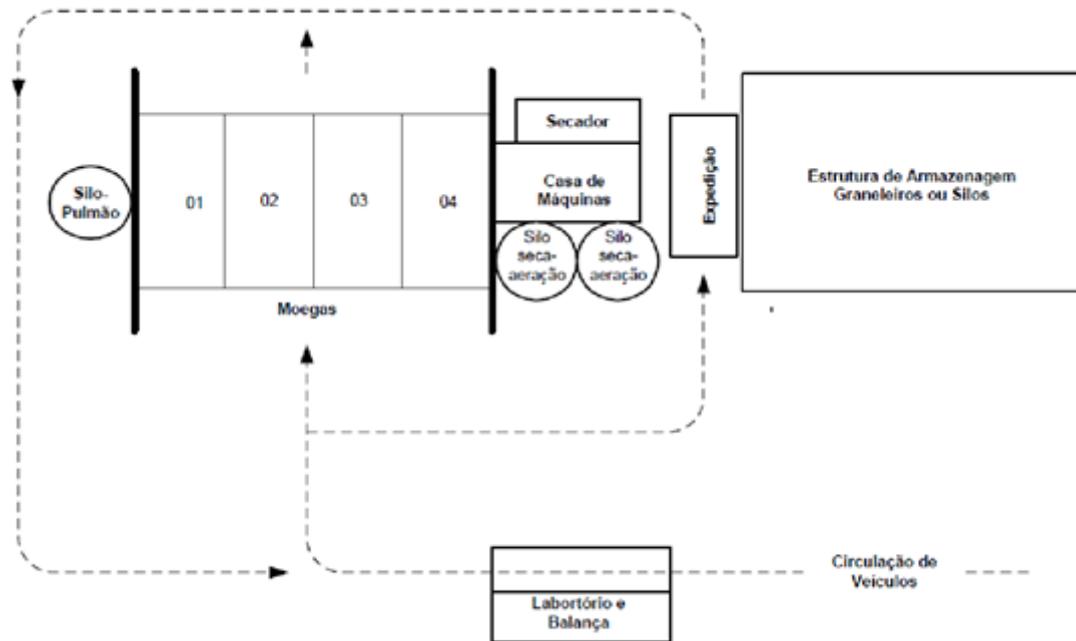
## **2.2 INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS PARA PROCESSAMENTO DE GRÃOS A GRANEL**

Como já citado anteriormente, na cadeia de processamento de grãos, as unidades armazenadoras devem se apresentar adequadamente projetadas, estruturadas e gerenciadas para a recepção, limpeza, secagem, armazenagem e expedição. Dessa forma, esse sistema deve possuir: (i)- maquinários: máquinas de pré-limpeza, máquinas de limpeza e secadores; (ii)- transportadores de grãos, como: correias transportadoras, elevadores, transportadores de arraste (*redlers*) e transportadores helicoidais ou pneumáticos; e (iii)- estruturas para o acondicionamento dos grãos durante o pré-processamento, tais como: moegas, silos-pulmão, silos para seca-aeração, silos e, ou graneleiros para armazenagem, e sistema de expedição.

A disposição das estruturas pode ser feita, por exemplo, conforme o *layout* apresentado na Figura 2.1, no qual a unidade conta com um silo-pulmão, quatro moegas, um secador, casa de máquinas onde são instaladas as máquinas de pré-

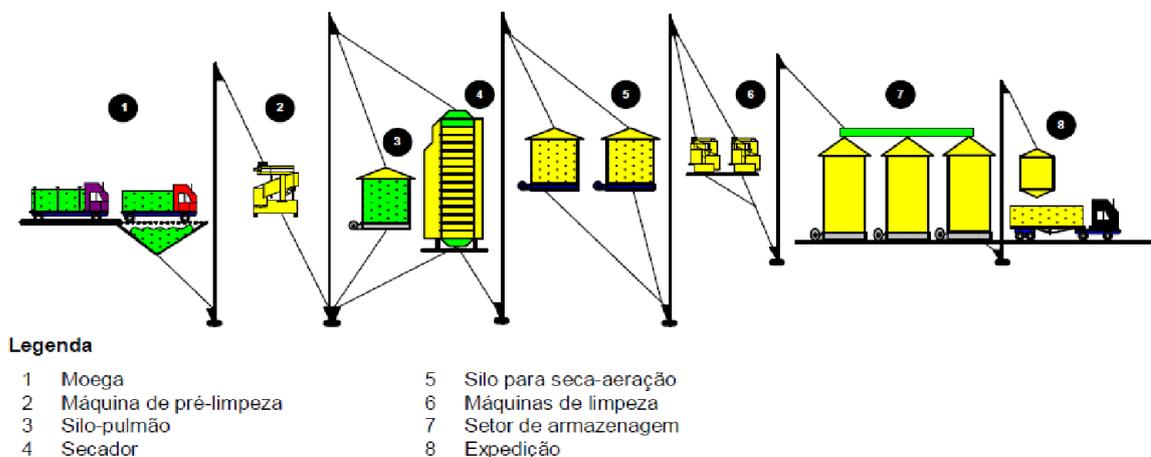
limpeza e limpeza, dois silos destinados à seca-aeração e as estruturas para armazenagem e expedição. Complementa a estrutura o setor de recepção que deve contar com um laboratório de análise de grãos e balança rodoviária. O fluxograma de processo de uma unidade de processamento de grãos a granel é apresentado na Figura 2.2.

**Figura 2.1:** Layout típico de uma unidade armazenadora a granel



Fonte: Silva (2015)

**Figura 2.2:** fluxograma de processo típico de unidade de processamento de grãos



Fonte: Silva (2015)

As moegas são estruturas empregadas para recepção de produto a granel. Em um projeto de unidades armazenadoras a capacidade e o número de moegas são definidos em função dos seguintes parâmetros: (i)- tipos de produtos que serão recebidos e se será ao mesmo tempo; (ii)- expectativa horária de recebimento; (iii)- horário de funcionamento do setor de recepção; (iv)- expectativa da extensão máxima de caminhões na fila e (v)- tempo de retenção, que é definido de acordo com o fluxo horário do setor de secagem (SILVA, 2015).

O termo moega tem sua origem da palavra “moenga”, ou seja, peça de moinho ou atividade relacionada à moagem. É facilmente caracterizada por ser um equipamento industrial metálico de grande porte, destinado a depósito e posterior moagem de grãos. Possui faces com ângulo de inclinação maiores que 40°, garantindo que toda a massa seja escoada, mesmo que haja impurezas.

### **2.3 EXPLOÇÃO ENVOLVENDO POEIRAS COMBUSTÍVEIS**

Devido a sua aplicação na indústria, juntamente com correias transportadoras, elevadores de canecas ou até mesmo equipamentos de moagem. Todos esses equipamentos que quando combinado a alta velocidade e a negligência de cronograma de limpeza e combinado com o fato de muitos deles estarem em poços e fossos acabam oferecendo altos riscos à unidade.

Segundo a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*), desde 1976 ocorreram 503 ocorrências de explosão em elevadores de canecas, ocasionando 677 feridos e 184 óbitos. Além dos prejuízos em ativos destruídos ou danificados e parada de processos produtivos a perda de vidas é o impacto mais dramático neste tipo de acidente.

As explosões podem ocorrer em unidades processadoras de grãos à granel, onde as poeiras costumam ter propriedades combustíveis e estão dispersas no ar e em concentrações adequadas. Normalmente ocorrem em locais das instalações industriais onde existem equipamentos usados para processamento de materiais particulados, envolvendo operações tais como: moagem, descarga, movimentação, transporte etc. Não havendo sistemas de exaustão convenientemente dimensionados

acoplados aos equipamentos em que as operações anteriormente citadas são realizadas e considerando a presença de eventuais fatores desencadeadores estão criadas as condições para que possam ocorrer explosões. Como exemplos, pode-se citar instalações industriais que processam farinha de trigo, de milho, de soja, cereais etc. Ou em instalações onde ocorram a presença de materiais particulados, tais como: açúcar, arroz, cacau, couro, carvão, madeira, enxofre, magnésio, eletro-metal (ligas) (SÁ, 2012).

Vijayaraghavan (2004), relaciona os eventos com os principais equipamentos, apresentados na Tabela 2. Moegas de carga e descarga, tuneis e galerias devem ter sistemas de captação de pó. Filtros acoplados a elevadores e *redlers* também são muito importantes, embora sejam pouco vistos na maior parte das instalações que eu conheço. Correias transportadoras devem possuir pontos de coleta de pó com sistema de limpeza por jato pulsante.

**Tabela 2** - Equipamentos e % de acidentes envolvendo explosões de pó

<b>Equipamentos</b>	<b>% de acidentes</b>
Silos e moegas	20
Unidades de despoeiramento, separadores moinhos e sistema de quebradores	17,2
sistema de transportadores	13,2
secadores	8
Unidades queimadoras	5,4
Misturadores	4,7
Equipamentos de lixamento e polimento	4,5
Balanças	0,5
Outros	16,4

Fonte: Vijayaraghavan (2004)

As diferenças entre incêndio e explosão é que um se propaga em área não confinada onde o calor não se dissipa e conseqüentemente não tem aumento de pressão, já o outro caracterizado pelo confinamento e rápido aumento de pressão, formação de ondas e alta liberação de energia, respectivamente.

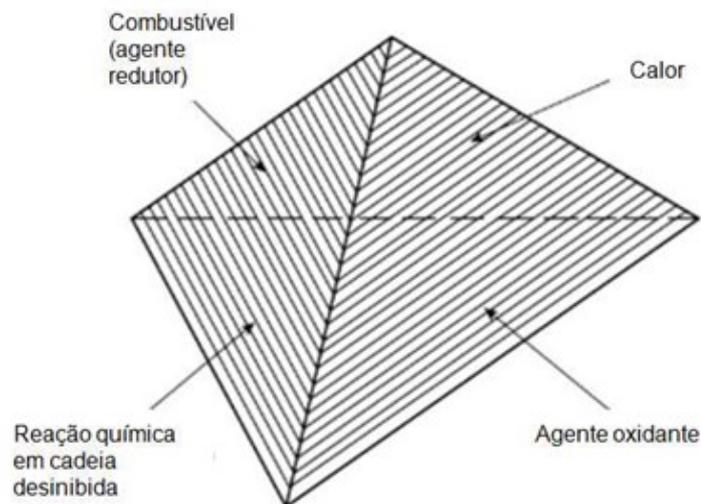
Um incêndio ocorre quando há a combinação de fatores, pode ser simplificado através do triângulo do fogo, caracterizado por três componentes: o combustível, o oxidante e a fonte de ignição, como na Figura 2.3. Quando se adiciona um componente adicional, surge o tetraedro do fogo, esse fator é a reação em cadeia, o que permite que o fogo se mantenha por mais tempo. Esse diagrama é apresentado na Figura 2.4 (Rabelo, 2020).

**Figura 2.3:** Triângulo do fogo



Fonte: Adaptado de Rabelo (2020)

**Figura 2.4:** Tetraedro do fogo



Fonte: Adaptado de Rabelo (2020)

Segundo Crowl (2003) as poeiras podem causar tanto incêndio quanto explosões. Em incêndios, ocorre geralmente com o acúmulo em camadas na superfície dos equipamentos, este o isola termicamente, causando aquecimento, servindo como a fonte de ignição e podendo ocorrer o chamado *smoulder* (princípio de incêndio). Já em casos de explosão, a poeira é arrastada pelo ar, ficando em suspensão e gerando a formação de nuvens de poeiras combustíveis, que tem sua severidade aumentada quando se trata de áreas confinadas, muito comuns na agroindústria.

Segundo Sá (2012), as explosões primárias e secundárias podem ser consideradas como aquelas produzidas a partir do acúmulo de poeira (ou material particulado) combustível ao longo do tempo e que, quando agitada ou colocada em suspensão e na presença de uma fonte de ignição, tem energia suficiente para a primeira deflagração. A partir daí, vem a explosão, causando vibrações subsequentes pela onda de choque e fazendo com que mais poeira combustível acumulada entre em suspensão e produza mais explosões e em níveis mais devastadores do que a anterior. Via de regra, as explosões provocam a parada do processo, podendo até mesmo causar graves lesões nos trabalhadores, com a consequente incapacidade total ou permanente, e mesmo a perda de vidas.

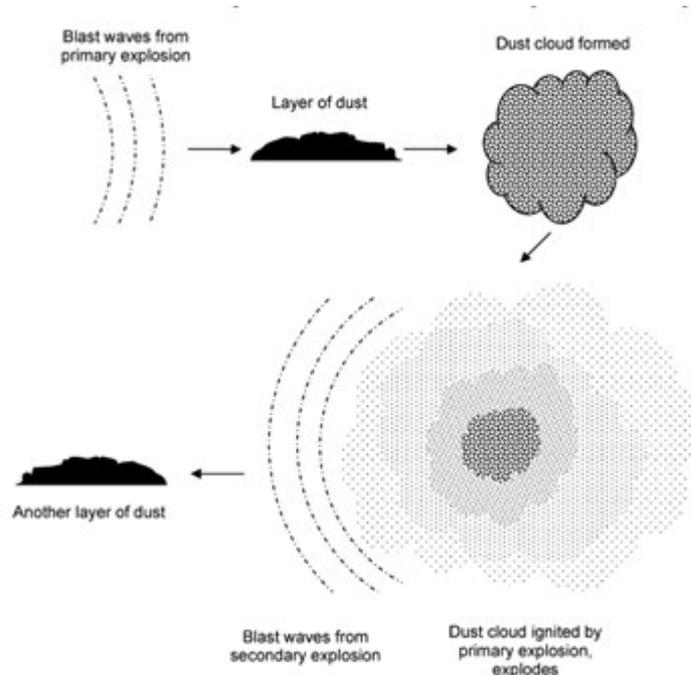
“Mesmo que seja importante tentar eliminar a possibilidade de explosões de poeira primária, é ainda mais importante reduzir a possibilidade da primeira explosão desencadear uma série de outras explosões, evitando o efeito dominó representado na Figura 2.5. Ainda mais porque as explosões secundárias de poeira são muitas vezes mais violentas do que a explosão primária” (ABBASI & ABBASI, 2007.)

Os incêndios podem ocorrer com qualquer material particulado combustível, mas para que ocorram é necessário que a quantidade presente no ar ambiente seja suficientemente elevada, de maneira a estar compreendida entre os limites inferior e superior de inflamabilidade. Importante destacar que os incêndios podem facilmente se transformar em explosões, desde que as condições apropriadas para tal estejam presentes (SÁ, 2012).

Segundo a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ, s.i.), os seguintes parâmetros são críticos para que uma explosão devido à presença de poeiras aconteça:

- Tamanho da partícula:  $< 0,1 \text{ mm}$ ;
- Concentração da poeira: 40 a  $4.000 \text{ g/m}^3$ ;
- Teor de umidade do grão:  $< 11 \%$ ;
- Índice de oxigênio no ar:  $> 12\%$ ;
- Energia de ignição:  $> 10$  a  $100 \text{ mJ}$  (mega Joule); e
- Temperatura de ignição:  $410$  a  $600^\circ\text{C}$ .

**Figura 2.5:** Efeito “dominó” de uma explosão



Fonte: Adaptado de Abbasi & Abbasi, 2007

## 2.4 HISTÓRICO SOBRE EXPLOSÕES ENVOLVENDO POEIRAS COMBUSTÍVEIS

Na literatura é possível encontrar diversos registros de explosões envolvendo poeiras. Segundo Lunn (1992) “no período de 1958 a 1967 no Reino Unido houve 247 explosões, com 9 fatalidades e com 324 lesões não fatais. Já entre o período de 1962 a 1979 houve 474 explosões reportadas, com 25 mortes e 633 lesões não fatais.”

Abbasi & Abbassi (2007) apresentam o levantamento de vários acidentes com explosões por pó no período de 1911 a 2004, e segundo esses mesmos autores é possível admitir que pelo menos uma explosão devido a presença de pó ocorre todos os dias em cada país industrializado. Mesmo havendo diversos comentários sobre esse tipo de acidente, ainda é muito difícil de se obter informações detalhadas acerca deles.

Proust (1996) reuniu alguns dos dados resumidos de acidentes com poeiras, tais como: (i)- na Alemanha, no período de 1965 a 1985, ocorreram cerca de 160 explosões devido a presença de poeiras combustíveis em indústrias; (ii)- nos Estados Unidos, entre os anos de 1990 a 1956, ocorreram mais de 1000 acidentes; (iii)- no Japão, no período de 1969 a 1973, cerca de 187 explosões aconteceram em unidades armazenadoras de grãos e (iv)- no Reino Unido, mais de 400 explosões ocorreram no período de 1969 a 1976. Segundo o autor, as explosões estavam diretamente ligadas ao nível de industrialização dos países.

O CSB (*Chemical Safety and Hazard Investigation Board*), órgão oficial de investigação do governo americano, com base nos relatos históricos de acidentes, começou a publicar relatórios detalhados contendo as investigações de acidentes para que pudessem ser usados como fonte de informação para engenheiros de segurança (BLAIR, 2007).

Um dos casos mais famosos já abordado foi o acidente ocorrido em 2008 na empresa Imperial Sugar, uma refinaria de açúcar, em Savannah / EUA, matou 14 e feriu 38 pessoas. Embora a causa exata da ignição seja desconhecida, a explosão começou em um transportador de açúcar localizado abaixo dos silos da empresa. A explosão primária levantou a poeira de açúcar que havia acumulado nos pisos e superfícies dos equipamentos, deflagrando uma série de explosões secundárias (RABELO, 2020).

A análise de risco é comumente conhecida pela abreviatura em inglês HAZOP, que significa *Hazard and Operability Study* (Estudo de Risco e Operabilidade). Na década de 1970 foram iniciados estudos de operabilidade, baseados na hipótese de

que um problema existe apenas quando há um desvio do que é normalmente esperado (ROSSING et al., 2010).

No Brasil, destaca-se a explosão da célula C-2 do silo vertical do Porto de Paranaguá, Curitiba (PR), que causou o falecimento de dois trabalhadores além de cinco ficarem feridos. A provável causa apontada para a explosão teria sido a combustão da poeira de cevada armazenada no local, durante uma operação de limpeza que acontecia no décimo andar do silo, o qual tinha 13 andares e 55 metros de altura (RANGEL, 2007).

## **2.5 MÉTODOS MITIGATÓRIOS**

Segundo a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ, s.i.), para a diminuição das chances de risco de explosão, algumas medidas podem ser tomadas, são elas: Procedimento de limpeza frequente do local, também conhecido como *housekeeping*, evitar fontes de ignição como solda, manutenção periódica dos equipamentos, equipamentos que possuam peças girantes devem trabalhar sem pó; instalação de sistema de aterramento para eletricidade estática, nunca utilizar método de varrição no armazém, nem ar comprimido, usar o aspirador de pó;

Através do gerenciamento dos riscos, uma vez identificadas as ameaças ao processo, pode-se então controlá-las de maneira eficaz e eficiente, ou seja, atingindo o objetivo principal de segurança com maior excelência (RANGEL, 2007).

O HAZOP é o procedimento que gera perguntas de maneira estruturada e sistemática através do uso apropriado de um conjunto de palavras-guias aplicadas a pontos críticos do sistema em estudo (SILVA; SOUSA, 2018). Ou seja, investiga minuciosamente cada etapa do processo, com o objetivo de identificar todos os possíveis desvios das condições normais de operação (SANTOS; THEOBALD, 2013)

Essa análise proporciona uma metodologia sistemática, que possibilita a identificação, avaliação minuciosa e mitigação de possíveis riscos de cada parcela do processo, sobretudo de alguns pontos específicos (os chamados nós) que podem causar graves perdas humanas, ambientais e econômicas. Diferentes métodos são

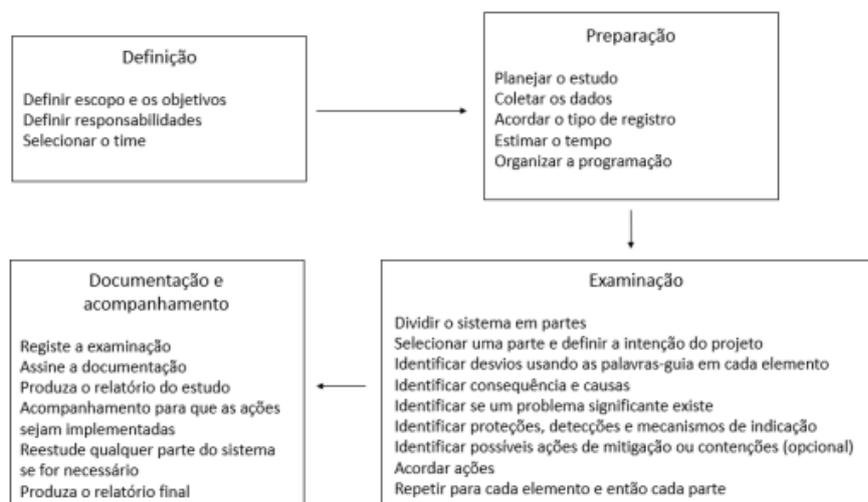
praticados em vários estágios durante o ciclo de vida da planta (SWANN; PRESTON, 1995).

Dessa forma, a saída esperada de um HAZOP é a descoberta de todos os possíveis desvios das condições normais de operação, identificando as causas responsáveis por tais desvios e as respectivas consequências. Em seguida, deve-se propor medidas para eliminar ou controlar o perigo ou para sanar o problema de operabilidade da instalação (CROWL; LOUVAR, 2015).

A metodologia HAZOP, engloba tanto problemas de segurança, buscando identificar os perigos que possam colocar em risco os operadores e aos equipamentos da instalação, quanto os problemas de operabilidade que embora não sejam perigosos, podem causar perda de produção ou que possam afetar a qualidade do produto ou a eficiência do processo.

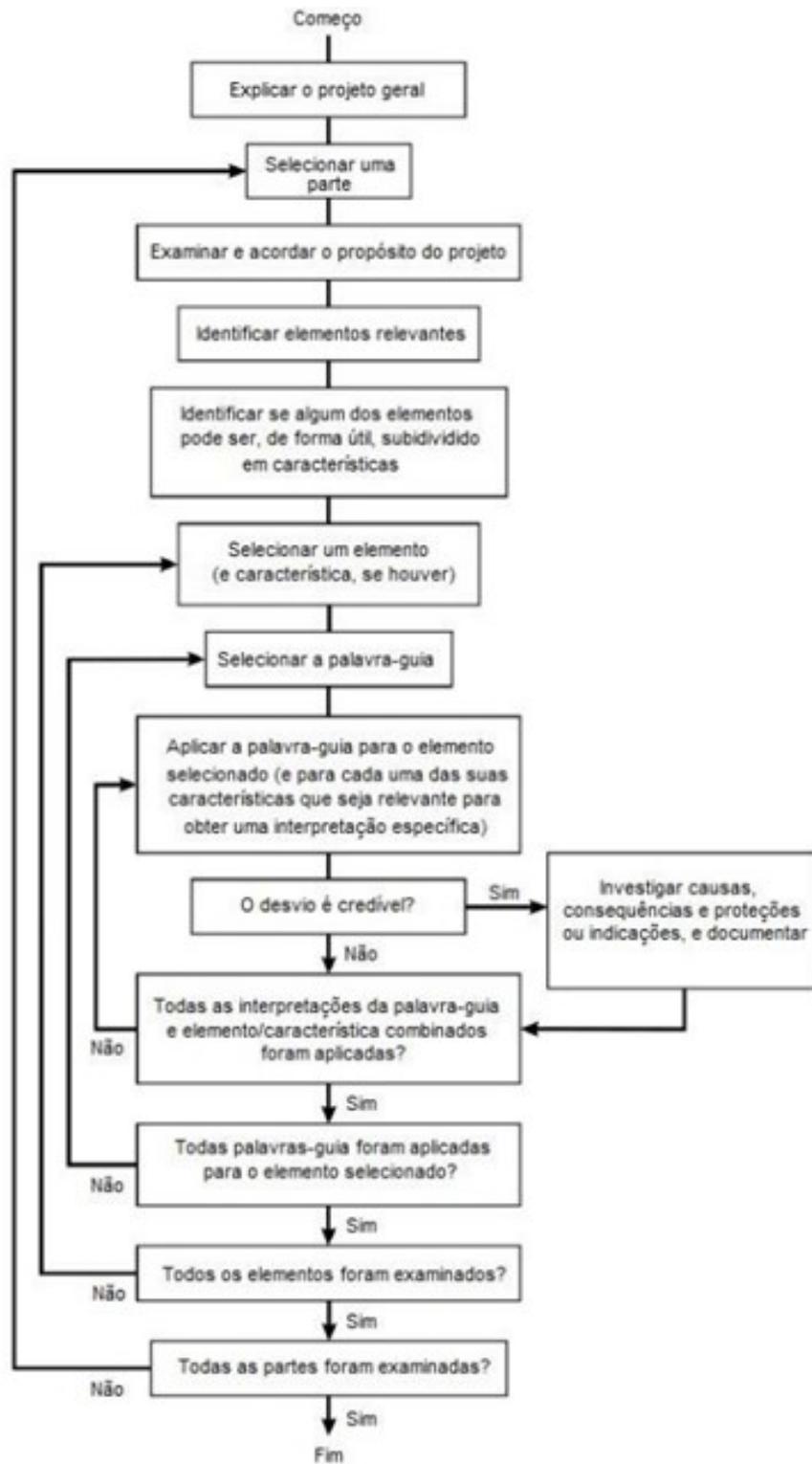
De acordo com Silva e Souza (2018), a metodologia de HAZOP proposta pela IEC 61882: Estudo de Perigo e Operabilidade, orienta a sua aplicação dividindo em quatro fases: definição, preparação, avaliação, documentação e acompanhamento, como mostrado na Figura 2.6. O HAZOP propriamente dito, ocorre na terceira fase (avaliação), conforme apresentado na Figura 2.7.

**Figura 2.6:** Metodologia HAZOP



Fonte: Adaptado de Silva e Souza (2018)

Figura 2.7: Fluxograma de procedimento da etapa avaliação HAZOP



Fonte: Adaptado de Silva e Souza (2018)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS MOEGAS

Segundo Marostega (2017), uma estrutura de armazenamento é composta por equipamentos com funções próprias que engloba desde a descarga dos grãos até a armazenagem em silos. A primeira etapa desse fluxo se inicia no recebimento de grãos que acontece na moega, estrutura responsável pela coleta dos grãos proveniente dos caminhões e possui estrutura tronco piramidal com o objetivo de facilitar a descarga. Podem ser encontradas em concreto armado e em metal, como mostrado na Figura 3.1a e na Figura 3.1b.

**Figura 3.1:** Moegas tipicamente empregadas na indústria



**(a):** construída em metal

Fonte: Marostega (2017)



**(b):** construída em concreto armado

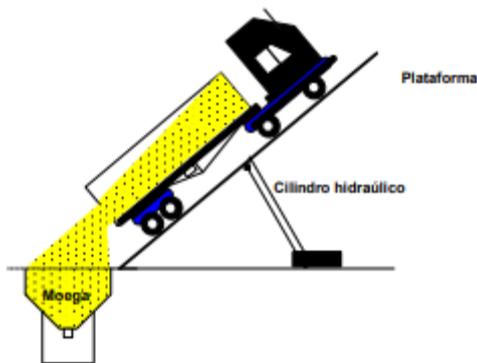
Fonte: Oximag. Disponível em: <https://www.oximag.com/blog/o-que-e-moega-e-como-ela-pode-ser-usada-associada-aos-nossos-produtos/>

De acordo com Silva (2015), é importante que essa estrutura possua ângulo superior a  $40^\circ$  para que na descarga, mesmo os grãos com alta umidade e impurezas não fique retida em seu interior.

Milman (2002), afirma que a moega é usada na indústria para receber os grãos usando a força da gravidade em sua descarga, exercendo também a função de pré-processamento deles. Se trata de uma estrutura subterrânea, tipicamente construída em alvenaria, cujo acesso para carregamento está localizado ao nível do solo, sendo

coberto por uma grelha metálica ou em madeira. Esta característica construtiva faz com que seja possível o posicionamento de veículos pesados para a descarga do produto com o emprego de dispositivo tombador, fazendo assim com que a passagem dos grãos para o interior da moega seja possível, como representado na Figura 3.2. Na Figura 3.3 é apresentada uma ilustração de grelha tipicamente empregada na indústria.

**Figura 3.2:** Moega e tombador



Fonte: Morais (2019)

**Figura 3.3:** Grelha de descarga de grãos



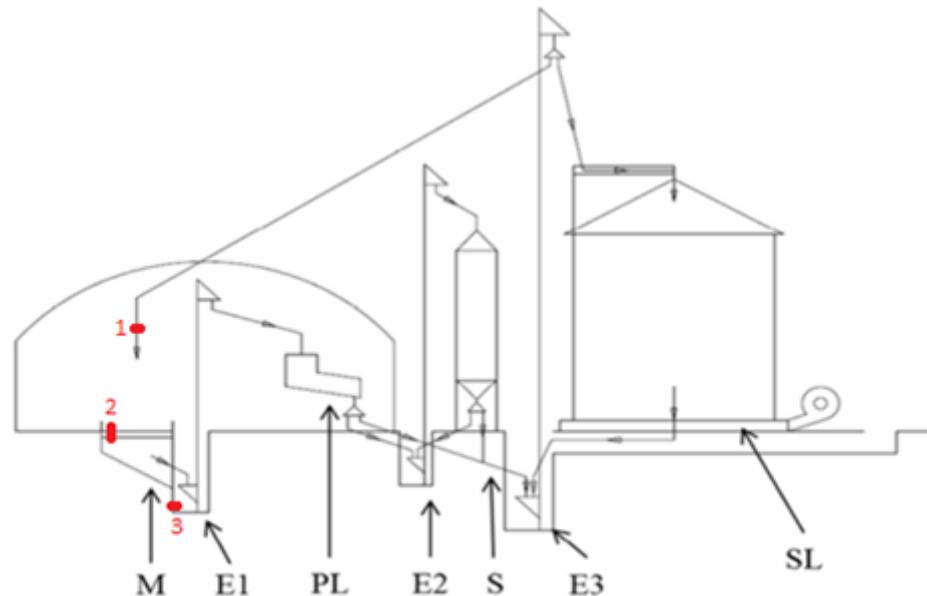
Fonte: Morais (2019)

“Em sua aplicação, ela pode direcionar o produto para correias transportadoras, elevadores de canecas ou ainda diretamente para o beneficiamento. Geralmente, o grão quando triturado, passa por outra moega para futura destinação ou distribuição, como produção, armazenagem ou ensaque”. (OXIMAG, 2021).

WEBER (2005) apresenta na Figura 3.4 o layout simplificado de uma unidade beneficiamento de grãos de pequeno porte, representando uma estrutura comumente usada.

No contexto deste trabalho, os principais nós abordados são a entrada e a saída da moega, representada pela alimentação de soja na moega e a sua descarga no elevador de canecas respectivamente. A alimentação da moega, pode ocorrer nesse caso, tanto pelo by-pass do silo de armazenamento, podendo ser representado por transportadores de correntes ou roscas transportadoras (1), quanto pelo transporte rodoviário através do tombador (2) e a descarga no pé do elevador de canecas (3).

**Figura 3.4:** Representação simplificada do beneficiamento de grãos



**Legenda:**

M - Moega; E1, E2 e E3 - pé do elevador de canecas; PL - Pré-Limpeza; S - Secador; SL - Silo

Fonte: Adaptado de Baal (2013)

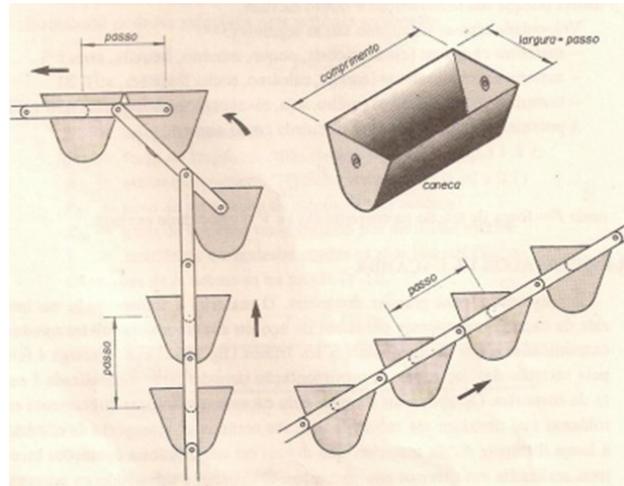
### 3.2 TRANSPORTADORES DE GRÃOS

Segundo Baal (2013), os transportadores geralmente usados no recebimento de grãos são os transportadores que apresentam auxílio da gravidade, utilizando em sua maioria equipamentos auxiliares. sendo eles: elevadores de canecas, transportadores de correias, rosca transportadora e transportadores de correntes.

Os elevadores de canecas ou elevadores de caçambas, como também são conhecidos, são descritos por Gebert e Viar (2015) como transportadores de sólidos, que com o auxílio de cabos de aço ou roletes suspendem caçambas ou canecas com o produto e despejam. Suas canecas podem ser confeccionadas com inox 316, nylon reforçado, poliuretano entre outros. Como a indústria de beneficiamento de grãos é conhecida pela alta produção de poeira combustível, opta-se pelas canecas não metálicas. São ideais para longas distâncias, porém possuem baixa velocidade, cerca de 20 m/min. Na Figura 3.5 é apresentada uma ilustração de um elevador de canecas típico e na Figura 3.6 é apresentada uma representação típica das canecas.

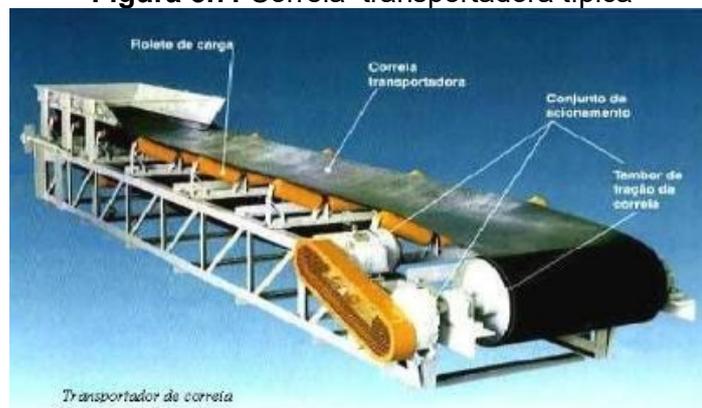
**Figura 3.5:** Elevador de canecas

Fonte: AMPLA (2021)

**Figura 3.6:** Caneca típica

Fonte: GOMIDE (1983)

Ainda segundo Gebert e Viar (2015), “transportadores de correias são usadas na indústria devido à sua boa relação custo-benefício, apresentando baixos custos e ótimo desempenho quanto a funcionalidade, além de ter construção compacta. É constituído com uma correia sem fim que se movimenta por um tambor livre e apoiada por roletes. Podem trabalhar com velocidade de até 1.000 ft/min e transportar no máximo 5.000 ton/h, porém também funcionam bem em curtas distancias.” Na Figura 3.7 é apresentada uma representação típica das canecas.

**Figura 3.7:** Correia transportadora típica

Fonte: GEBERT e VIAR (2015)

Por se tratar de uma correia em constante movimento, é preciso ficar atento ao alinhamento da mesma e constante inspeção dos roletes. Equipamentos desalinhados

costumam gerar altas temperaturas, o que combinado com espaços confinados e poeiras de grãos são geralmente os causadores de acidentes.

Baal (2013) define rosca transportadora como um transportador que depende do sentido da rotação e do tipo do helicóide, uma vez que sua movimentação se dá pela rotação do helicóide. Esse tipo de transportador também é conhecido como trua ou caracol. É basicamente uma estrutura fechada, um tubo ou calha, com um helicóide em seu interior apoiado em mancais de rolamento localizados nas suas extremidades, como mostrado na Figura 3.8.

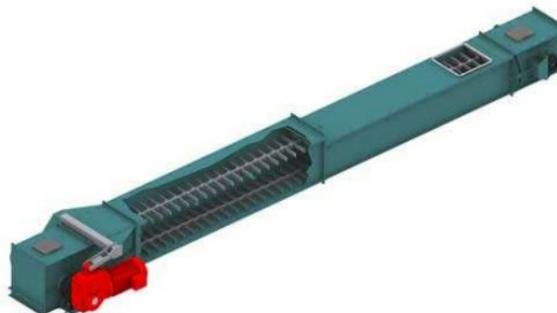
**Figura 3.8:** rosca transportadora típica



Fonte: Baal (2013)

Segundo Teixeira (2002), os transportadores de arraste do tipo Redler são “constituídos de uma caixa e uma corrente de paletas montadas sobre rolos contrapinados, que arrastam tracionadas por uma roda dentada seguido de um guia fixado na parte inferior da caixa”. Na Figura 3.9 é apresentado um exemplo típico deste tipo de transportador.

**Figura 3.9:** Transportador de Arraste do tipo Redler



Fonte: Baal (2013)

Baal (2013) descreve esse tipo de transportador como, sendo “constituído basicamente de uma corrente com raspadores (taliscas), que se move entre duas estações (rodas dentadas), uma motora, e outra esticadora; a corrente desliza sobre uma prancheta, arrastando os grãos dentro de uma caixa metálica fechada”

O transportador tipo *Redler* apresenta baixa velocidade e capacidade reduzida de transporte, além de baixa eficiência mecânica. A vantagem dele em relação aos demais é o fato que permite trabalhar com o transportador inclinado – e não somente na posição horizontal – admitindo, também, carga e descarga em vários pontos, desde que sejam projetados bocais adequados.

### 3.3 INFLUÊNCIA DE POEIRAS COMBUSTÍVEIS E EQUIPAMENTOS

Segundo Silva e Souza (2018), durante a movimentação dos grãos, eles acabam atritando entre si, levando a quebras e arranhões que acabam por produzir certa quantidade de poeira, a depender do tipo de grão, podendo variar entre 0,1 a 1% do volume do grão processado.

A poeira de grãos além de estar associada com a higiene ocupacional, pela possibilidade de tornar o ambiente prejudicial a saúde, ainda está associada à segurança de processo, uma vez que pode tornar o ambiente propício a explosões quando combinada com uma fonte de ignição.

Silva e Souza (2018) afirmam que a presença de superfícies aquecidas nos transportadores ou a ocorrência de faíscas elétricas acabam por gerar condições de incêndio ou explosões. Na Tabela 3.1 são apresentadas as condições específicas – juntamente com os limites críticos de explosividade – responsáveis pela ocorrência desse tipo de acidente.

**Tabela 3.1:** Limites Críticos de Explosividade de Poeiras Agrícolas

<b>Características da partícula</b>	<b>Limites Críticos</b>
Tamanho	< 0,1 mm
Concentração	40 g/m <sup>3</sup> - 4000 g/m <sup>3</sup>
Teor de Umidade	<100% b.u.
Concentração de Oxigênio	> 12%
Energia de Ignição	> 10 mJ – 100 mJ
Temperatura de Ignição	410°C – 600°C

Fonte: Silva e Souza (2018)

Abbasi & Abbasi (2007) afirmam que quanto menor a partícula, mais rápida e explosiva a queima, quando confinada mesmo que parcialmente, o calor de combustão resulta em rápido desenvolvimento de pressão com propagação de chama na nuvem causando explosão. Quando em espaço não confinado é apresentada em um incêndio relâmpago. A condição necessária para uma explosão de poeira é uma presença de nuvem de poeira de concentração adequada no ar que apoiará a combustão durante todo o processo e uma fonte da ignição.

Essa fonte de ignição nesse ambiente é oferecida principalmente pelos equipamentos relacionados com o processo. No caso de transportadores, a fricção entre partes móveis é comumente a fonte de calor responsável pelos acidentes, além de causas indiretas como falta de manutenção preventiva e lubrificação adequadas.

### **3.4 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA**

Freitas (2010) afirma que “Desde o projeto de *layout* da planta tem-se a premissa básica de evitar sempre que possível a criação de atmosferas explosivas, desde a posição de equipamentos até a utilização de métodos de proteção ou de salvaguardas em equipamentos elétricos para reduzir a probabilidade de ocorrência de atmosfera explosiva. A ausência de dados suficientes para a avaliação quantitativa destas probabilidades, o julgamento baseado em históricos e na experiência do projetista deve ser aplicado na seleção dos métodos apropriados de salvaguarda a serem usados em dada situação, não se esquecendo de considerar os critérios e parâmetros estabelecidos em normas e recomendações nacionais e internacionais.”

Ainda segundo Freitas (2010), normas como a ABNT, IEC e NFPA definem proteções específicas para cada tipo de zona, de modo que quanto maior a probabilidade ou frequência de ocorrência de uma atmosfera explosiva maior será o nível de exigência do equipamento.

Utilizando a representação simplificada de uma unidade beneficiadora de grãos apresentada na Figura 4.1, localizada no próximo item desta monografia, é realizado o estudo de HAZOP. Levando em consideração os principais equipamentos utilizados nesse tipo de processo e considerando especificamente na moega os nós de estudo,

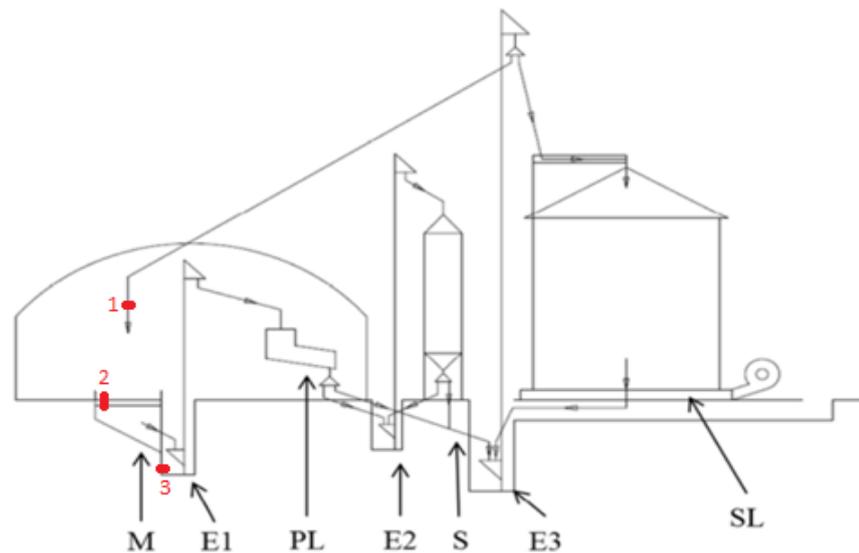
conforme metodologia apresentada no subitem 2.5, tendo o principal objetivo identificar os pontos de risco e trazer ações mitigatórias para essas unidades. O HAZOP propriamente dito é apresentado na próxima seção desse trabalho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DE HAZOP DE UMA MOEGA

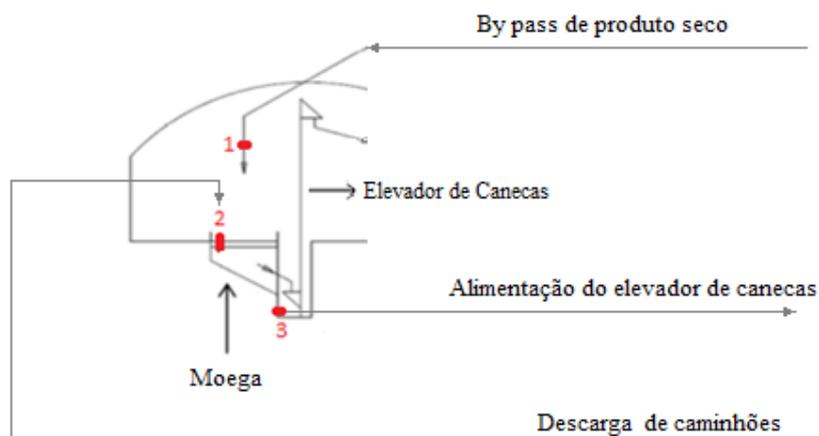
Na Figura 4.1 é mostrada a da representação simplificada do processo estudado, levando em consideração os nós de estudo escolhidos. Na Figura 4.2 é apresentada uma vista detalhada dos nós.

**Figura 4.1:** Representação dos nós do processo



Fonte: Adaptado de Baal (2013)

**Figura 4.2:** Representação dos nós do processo



Fonte: Adaptado de Baal (2013)

O interesse nesse trabalho são os nós 1, 2 e 3, representados pelas entradas e saídas da moega, que é a primeira etapa da recepção de grãos do beneficiamento de soja. De acordo com o apresentado no Quadro 4.1, foram considerados os seguintes desvios para os parâmetros de interesse nos nós adotados.

**Quadro 4.1:** Desvios considerados dos parâmetros de interesse

	Nenhum(a)	Mais	menos
Vazão	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Temperatura		<b>X</b>	<b>X</b>
Pressão			
Composição		<b>X</b>	<b>X</b>
Reação			
Absorção			
Separação			
Viscosidade			

**Quadro 4.2:** HAZOP parcial da moega de grãos

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Aluna: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Vazão de alimentação de soja na moega</b>			Nó: <b>1</b>	Página: <b>01</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Nenhuma	Ausência de vazão no nó.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Falta de soja seca na entrada do transportador de canecas E3;</li> <li>Falha com parada completa do transportador de canecas E3;</li> <li>Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Transportador de canecas E3 trabalhando vazio;</li> <li>Transportador de canecas E3 parado e risco de incêndio em seu interior devido acúmulo de soja;</li> <li>Conflitos entre os setores envolvidos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Instalar medidor de vazão equipado com alarme de vazão muito baixa na linha de by-pass</li> <li>Instalar alarme de falha do(s) motor(es) de acionamento do transportador de canecas E3;</li> <li>Instalar medidor de temperatura equipado com alarme de temperatura alta no corpo do transportador de canecas E3;</li> <li>Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção.</li> </ol>
Menos	Menos vazão no nó.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Baixa vazão de soja seca na entrada do transportador de canecas E3;</li> <li>Falha do transportador de canecas E3, operando com vazão menor do que a desejada;</li> <li>Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Transportador de canecas E3 trabalhando com a alimentação de soja abaixo do recomendado, gastando mais energia do que o necessário por quantidade de material transportado;</li> <li>Transportador de canecas E3 funcionando com velocidade menor do que a desejada e risco de incêndio em seu interior devido acúmulo de soja.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Instalar medidor de vazão equipado com alarme de vazão baixa na linha de by-pass</li> <li>Instalar alarme de falha do(s) motor(es) de acionamento do transportador de canecas;</li> <li>Instalar medidor de temperatura equipado com alarme de temperatura alta no corpo do transportador de canecas;</li> <li>Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção.</li> </ol>

### Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Aluna: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Vazão de alimentação de soja na moega</b>			Nó: <b>1 (cont.)</b>	Página: <b>02</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais vazão no nó	<ol style="list-style-type: none"> <li>Vazão elevada de soja seca no by-pass;</li> <li>Falha do transportador de canecas E3, operando com vazão maior do que a desejada;</li> <li>Falha na válvula de by-pass instalada na saída do transportador de canecas E3;</li> <li>Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Maior quantidade de soja alimentada à moega e consequentemente produção de mais pó de soja em seu interior;</li> <li>Transportador de canecas E3 funcionando com velocidade maior do que a desejada, provocando desgaste acentuado do equipamento;</li> <li>Transportador de canecas E3 funcionando com velocidade maior do que a desejada, com risco de incêndio em seu interior devido aumento do atrito entre os componentes internos do equipamento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Instalar medidor de vazão equipado com alarme de vazão alta na linha de by-pass</li> <li>Instalar alarme de falha do(s) motor(es) de acionamento do transportador de canecas;</li> <li>Instalar medidor de temperatura equipado com alarme de temperatura alta no corpo do transportador de canecas;</li> <li>Instalar chave de nível alto na moega, interrompendo a alimentação do by-pass de soja seca.</li> <li>Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção.</li> </ol>

**Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos**

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Aluna: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Vazão de alimentação de soja na moega</b>			Nó: <b>2</b>	Página: <b>03</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Nenhuma	Ausência de vazão no nó.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Problema no Tombador;</li> <li>Entupimento total das grelhas por resíduos presentes na soja fresca;</li> <li>Falha no suprimento da soja fresca;</li> <li>Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação).</li> </ol>	<p>Acúmulo de soja fresca nos caminhões carregados;</p> <p>Acúmulo de soja fresca na grelha de entrada da moega;</p> <p>Nível muito baixo de soja fresca no interior da moega;</p> <p>Perda de produção;</p> <p>Conflito entre os setores envolvidos.</p>	<p>Instalar medidor de nível na moega, gerando alarme de nível baixo para a sala de controle e alarme de nível muito baixo para desligar o motor do elevador de canecas E2.</p> <p>Estabelecer rotina de acompanhamento dos pedidos de compra de soja junto ao departamento de compras da empresa;</p> <p>Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção.</p>
Menos	Menos vazão no nó.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Problema no Tombador</li> <li>2. Entupimento parcial das grelhas por resíduos presentes na soja fresca;</li> <li>3. Falha no suprimento da soja fresca;</li> <li>4. Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acúmulo de soja fresca nos caminhões carregados;</li> <li>2. Acúmulo de soja fresca na grelha de entrada da moega;</li> <li>3. Nível baixo de soja fresca no interior da moega;</li> <li>4. Perda de produção;</li> <li>5. Conflito entre os setores envolvidos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalar medidor de nível na moega, gerando alarme de nível baixo para a sala de controle e alarme de nível muito baixo para desligar o motor do elevador de canecas E2.</li> <li>2. Estabelecer rotina de acompanhamento dos pedidos de compra de soja junto ao departamento de compras da empresa;</li> <li>3. Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção.</li> </ol>

### Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Aluna: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Vazão de alimentação de soja na moega</b>			Nó: <b>2 (cont.)</b>	Página: <b>04</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais vazão no nó.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Retirada parcial das grelhas de entrada da moega para manutenção ou limpeza;</li> <li>Falha no suprimento da soja fresca;</li> <li>Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Acúmulo de soja fresca e com resíduos no interior da moega;</li> <li>Maior produção de poeira a partir dos grãos de soja;</li> <li>Maior risco de explosão no interior da moega devido ao aumento de material particulado em suspensão no seu interior;</li> <li>Nível alto de soja fresca no interior da moega;</li> <li>Perda de produção;</li> <li>Conflito entre os setores envolvidos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Instalar medidor de nível na moega, gerando alarme de nível alto para a sala de controle e alarme de nível muito alto para interromper o funcionamento do tombador.</li> <li>Estabelecer rotina de acompanhamento dos pedidos de compra de soja junto ao departamento de compras da empresa;</li> <li>Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção.</li> </ol>

**Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos**

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Equipe: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Vazão de retirada de soja na moega</b>			Nó: <b>3</b>	Página: <b>05</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Conseqüências	Providências
Nenhuma	Ausência de vazão no nó.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falha com parada completa do transportador de correia instalado na região de descarga da moega;</li> <li>2. Falha com parada completa do transportador de canecas E2;</li> <li>3. Nível muito baixo de soja fresca no interior da moega</li> <li>4. Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transportador de correia funcionando com velocidade maior do que a desejada, provocando desgaste acentuado do equipamento e risco de incêndio em seu interior devido aumento do atrito nos mancais do equipamento.</li> <li>2. Transportador de canecas E2 funcionando com velocidade maior do que a desejada, provocando desgaste acentuado do equipamento e risco de incêndio em seu interior devido aumento do atrito entre os componentes internos do equipamento.</li> <li>3. Perda de produção;</li> <li>4. Conflito entre os setores envolvidos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalar alarme de falha do(s) motor(es) de acionamento do transportador de correia e do transportador de canecas E2;</li> <li>2. Instalar medidor de temperatura dos mancais do transportador de correio com alarme de temperatura alta;</li> <li>3. Instalar medidor de temperatura equipado com alarme de temperatura alta no corpo do transportador de canecas E2;</li> <li>4. Instalar chave de nível muito baixo na moega, interrompendo o funcionamento do transportador de correia e do transportador de canecas E2.</li> <li>5. Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção.</li> </ol>

**Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos**

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Equipe: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Vazão de retirada de soja na moega</b>			Nó: <b>3</b>	Página: <b>06</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Menos	Menos vazão no nó.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Nível baixo de soja fresca no interior da moega</li> <li>Falha do transportador de correia, operando com vazão menor do que a desejada;</li> <li>Falha do transportador de canecas E2 , operando com vazão menor do que a desejada;</li> <li>Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Transportador de correia funcionando com velocidade maior do que a desejada, provocando desgaste acentuado do equipamento e risco de incêndio em seu interior devido aumento do atrito nos mancais do equipamento.</li> <li>Transportador de canecas E2 funcionando com velocidade maior do que a desejada, provocando desgaste acentuado do equipamento e risco de incêndio em seu interior devido aumento do atrito entre os componentes internos do equipamento.</li> <li>Perda de produção;</li> <li>Conflito entre os setores envolvidos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Instalar alarme de falha do(s) motor(es) de acionamento do transportador de correia e do transportador de canecas E2;</li> <li>Instalar medidor de temperatura dos mancais do transportador de correio com alarme de temperatura alta e medidor de temperatura equipado com alarme de temperatura alta no corpo do transportador de canecas E2;</li> <li>Instalar chave de nível baixo na moega, interrompendo o funcionamento do transportador de correia e do transportador de canecas E2.</li> <li>Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção</li> </ol>

**Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos**

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Equipe: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Vazão de retirada de soja na moega</b>			Nó: <b>3</b>	Página: <b>07</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Conseqüências	Providências
Mais	Mais vazão no nó	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falha em válvula de descarga da moega, trabalhando completamente aberta</li> <li>2. Nível muito alto de soja fresca no interior da moega</li> <li>3. Falha do transportador de correia, operando com vazão maior do que a desejada;</li> <li>4. Falha do transportador de canecas E2 , operando com vazão maior do que a desejada;</li> <li>5. Intervenção não programada da equipe de manutenção (falha de comunicação</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sobrecarga no transportador de correia, com o conseqüente aumento de temperatura dos mancais e risco de explosão;</li> <li>2. Sobrecarga no transportador de correia, com o derramamento de material;</li> <li>3. Transportador de canecas E2 funcionando com sobrecarga, provocando desgaste acentuado do equipamento e risco de incêndio em seu interior devido aumento do atrito entre os componentes internos do equipamento.</li> <li>4. Perda de produção;</li> <li>5. Conflito entre os setores envolvidos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalar alarme de falha do(s) motor(es) de acionamento do transportador de correia e do transportador de canecas E2;</li> <li>2. Instalar medidor de temperatura dos mancais do transportador de correio com alarme de temperatura alta e medidor de temperatura equipado com alarme de temperatura alta no corpo do transportador de canecas E2;</li> <li>3. Instalar chave de nível baixo na moega, interrompendo o funcionamento do transportador de correia e do transportador de canecas E2.</li> <li>4. Melhorar a comunicação interna entre as equipes de operação e de manutenção</li> </ol>

**Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos**

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Equipe: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Temperatura de alimentação de soja na moega</b>			Nó: <b>1</b>	Página: <b>08</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais temperatura no nó	1. Temperatura alta da soja seca na saída do transportador de canecas E3.	1. Risco de explosão devido ao elevado valor da temperatura da soja.	1. Instalar medidores de temperatura equipados com alarme de temperatura alta na saída e na entrada do elevador de canecas E3; 2. Instalar medidor de velocidade de escoamento da soja na tubulação, para manter a velocidade de escoamento em um valor seguro

**Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos**

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Equipe: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Temperatura de alimentação de soja na moega</b>			Nó: <b>2</b>	Página: <b>09</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais temperatura no nó	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Temperatura alta da soja seca reciclada na grelha de entrada da moega;</li> <li>2. Temperatura alta da soja fresca descarregada no tombador, devido à fermentação indesejada dos grãos;</li> <li>3. Presença de maior teor de resíduos na soja recebida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Risco de explosão devido ao elevado valor da temperatura da soja.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalar medidor de temperatura equipado com alarme de temperatura alta na moega;</li> </ol>

**Quadro 4.2 (cont.): HAZOP parcial da moega de grãos**

Análise de Perigos e Operabilidade				
Unidade: Unidade: <b>Unidade de Beneficiamento de Grãos</b>				
Sistema: <b>Moega de recebimento de soja</b>			Equipe: <b>Beatriz Tatikawa da Silva</b>	Data: <b>06/03/2022</b>
Parâmetro: <b>Temperatura de alimentação do elevador de canecas E2</b>			Nó: <b>3</b>	Página: <b>10</b>
Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Providências
Mais	Mais temperatura no nó	1. Temperatura alta da soja descarregada da moega.	1. Risco de explosão devido ao elevado valor da temperatura da soja.	1. Instalar medidores de temperatura equipados com alarme de temperatura alta na entrada e no corpo do elevador de canecas E2.

## 5 CONCLUSÃO

O conhecimento sobre os perigos em moegas é o primeiro passo para que haja mitigação de riscos associados a esse equipamento com poeiras combustíveis, comuns em unidades de beneficiamento de grãos. Importante destacar que acidentes neste segmento industrial podem apresentar efeitos catastróficos quando associados a vários fatores de risco.

O uso de metodologia apropriada para prever os riscos e propor medidas mitigatórias para eles é essencial em casos de áreas com potencial explosivo. O uso do HAZOP, prevendo através de palavras guias os possíveis desvios que podem acontecer no sistema, consegue agrupar as possíveis causas e consequências de cada cenário.

Esse estudo de caso realizado de forma geral e simplificada para uma unidade de beneficiamento de grãos, focado na área da moega ajuda a exemplificar o uso do HAZOP e a instrumentação proposta para o caso estudado neste TCC, visando evitar acidentes nesse processo.

As providencias adotadas a partir dos desvios de processo postulados, contemplando o emprego de automação industrial e procedimentos padronizados de classificação de grãos, auxilia na prevenção de acidentes.

Estudos realizados neste trabalho, permitiram a avaliação de cenários característicos de situações encontradas em indústrias de processamento de soja. A Análise de Risco da moega empregada na produção de derivados de soja foi realizada com sucesso, levantando medidas para mitigação dos possíveis riscos dessas instalações industriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, T; ABBASI, S.A. Dust explosions – cases, causes, consequences, and control. **Journal of Hazardous Materials**, Pondicherry/India, Ed. 140, n. 6, p. 7-44, nov. 2006.
- APROSOJA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE SOJA. **Economia**. Brasília/DF: [s.d.]. Disponível em <<https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/economia/>> Acesso em 21/01/2022.
- BAAL, E. **Recomendações para projeto de unidades de beneficiamento e armazenagem de grãos com enfoque em segurança do trabalho**. Ijuí / RS: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2013. Monografia (pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho)
- 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**. v. 23, n. 3, p. 503-514. Universidade Comunitária Regional de Chapecó – UNOCHAPECO, 2015.
- CROWL, D.A.; LOUVAR, J.F. **Segurança de Processos Químicos - Fundamentos e Aplicações**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- CROWL, D.A. **Understanding Explosions**. CCPS - Center for Chemical Process Safety. New York: 2003. 222 p. ISBN 0-8169-0779-X.
- FREITAS, R. **Classificação de áreas – instalações elétricas e equipamentos em atmosferas explosivas**. Curitiba/PR: Universidade Federal do Paraná, 2010. Monografia (trabalho de conclusão de curso).
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Grãos: classificação de soja e milho**. Brasília: 2017. 152 p. Coleção SENAR. ISBN 978-85-7664-150-6.
- GEBERT, D; VIAR, K. **Transporte de materiais na indústria**. Toledo/PR: UNIOESTE, 2015.
- GOMIDE, R. **Operações Unitárias – Vol. I. Operações com sistemas sólidos granulares**. Edição do autor: São Paulo, 1983
- MANNAN, S. **Lee's loss prevention in the process industries: Hazard Identification, Assessment and Control**. 3 ed. Texas, USA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 0-7506-7555-1.
- MAROSTEGA, M. **Ações atuantes em moegas para recebimento de grãos**. Santa Maria / RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2017. Monografia (trabalho de conclusão de curso).

- MORAIS, T. **Prevenção de acidentes por explosões em silos de armazenamento de grãos**. Campos Mourão, PR: UFTPR, 2019. Monografia (trabalho de conclusão de curso).
- OXIMAG. **Saiba tudo sobre moegas e como é usada**. Publicada em 01 jul 2021. Disponível em: <<https://www.oximag.com/blog/o-que-e-moega-e-como-ela-pode-ser-usada-associada-aos-nossos-produtos/>>. Acesso em: 27/02/2022.
- RABELO, C.M. **Estudo sobre explosões com material particulado: uma análise do caso da Imperial Sugar Company**. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2020. Monografia (trabalho de conclusão de curso).
- UFRRJ. **Riscos no trabalho em silos e armazéns**. [S.l.: s.n.]: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Disponível em <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/silo>>. Acesso em: 27/01/2022.
- SANTOS, W.L.; THEOBALD, R. Estudo de perigos e operabilidade (HAZOP) em uma planta piloto de desestabilização de emulsões de petróleo via micro-ondas. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013, Salvador. **Anais** [S.l.: s.n.].
- SILVA, R.F.; SOUZA, G.F.M. Descarregamento de grãos em tombador de terminais portuários: um Estudo de Perigo e Operabilidade (HAZOP) para a gestão de risco do processo. In: XXV SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP, 2018, Bauru. Anais .
- SWANN, C.D.; PRESTON, M.L. Twenty-five years of HAZOPs. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 1995, 8 (6), p. 349–353. DOI:[10.1016/0950-4230\(95\)00041-0](https://doi.org/10.1016/0950-4230(95)00041-0).
- VIJAYARAGHAVAN, G. (2004). **Impact assessment, modelling, and control of dust explosions in chemical process industries** (Dissertação de mestrado). Department of Chemical Engineering, Coimbatore Institute of Technology, Coimbatore. <http://www.technicaljournalsonline.com>
- WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Canoas: Salles, 2005. 586 p.