Instalação de sistema de sensoriamento em unidade de armazenagem de grãos para prevenção de explosões por poeira

Eurípedes Camillo de Oliveira Neto[1], Fabíola Medeiros da Costa[2], Warley Augusto Pereira[3], Darlan Marques da Silva[4], Nattácia Rodrigues de Araújo Felipe Rocha[5], Edson Roberto da Silva[6]

[1]Graduando do curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[2] Prof. Dra. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[3] Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[4] Prof. Me. da Faculdade de Engenharia de Software, Universidade de Rio Verde.
[5] Prof. Dra. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[6]Orientador, Prof. Me. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde. edsonroberto@unirv.edu.br

.

Reitor:
Prof. Dr. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:
Profa. Dra. Ana Paula Fontana
Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia
Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob
Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2022-2023

Resumo: Este estudo avaliou a instalação de sensores em uma unidade de armazenamento de grãos para prevenir explosões de poeira e falhas de equipamentos. Motivado por explosões industriais na Imperial Sugar e na Cooperativa C.Vale, causadas por poeira suspensa e equipamentos superaquecidos, os sensores monitoraram temperatura, movimento, desalinhamento e bloqueio, além de chaves de segurança e sirenes de emergência. O objetivo foi a detecção precoce de falhas e a prevenção de acidentes. Os sensores foram conectados a uma Interface Homem-Máquina (IHM), permitindo monitoramento contínuo e desligamentos automáticos. Os resultados mostraram que os sensores reduziram falhas catastróficas, como o superaquecimento de rolamentos, prevenindo explosões. A prevenção de desalinhamentos e bloqueios também diminuiu a manutenção corretiva e paradas não programadas, gerando ganhos financeiros significativos. O investimento inicial de R$ 1,5 milhão mostrou-se economicamente viável com retorno rápido ao reduzir perdas operacionais e riscos à segurança.

Palavras-Chave: Monitoramento contínuo. Prevenção de acidente. Segurança Industrial.

Installation of a Sensing System in a Grain Storage Facility for Dust Explosion Prevention

Abstract: *This study evaluated the installation of sensors in a grain storage facility to prevent dust explosions and equipment failures. Motivated by industrial explosions at Imperial Sugar and Cooperativa C.Vale, caused by suspended dust and overheated equipment, the sensors monitored temperature, movement, misalignment, and blockage, in addition to safety*

switches and emergency sirens. The objective was early failure detection and accident prevention. The sensors were connected to a Human-Machine Interface (HMI), enabling continuous monitoring and automatic shutdowns. Results showed that the sensors reduced catastrophic failures like bearing overheating, preventing explosions. Misalignment and blockage prevention also lowered corrective maintenance and unplanned downtime, yielding significant financial gains. The initial investment of R$ 1.5 million proved economically viable with quick returns by reducing operational losses and safety risks.

Keywords: *Accident Prevention. Continuous Monitoring. Industrial Safety.*

Introdução

Dentro da indústria, o transporte, manuseio e descarregamento de grãos geram poeira que, ao ser combinada com outros fatores presentes no ambiente, pode resultar em explosões de poeira (Brandt, 2003).

Para que ocorra

uma explosão é necessária a presença de alguns componentes, como: Oxigênio, fonte de ignição, mecanismo de dispersão, fonte de combustível e um agravante, o espaço confinado. Dentro de uma indústria, todos esses elementos estão presentes.

Muitas pessoas que trabalham nessas áreas desconhecem os riscos associados à negligência na limpeza e manutenção dos equipamentos, frequentemente devido à falta de treinamento antes de começarem suas operações e à ênfase exclusiva na produção, deixando a segurança de lado.

Embora os registros de explosões por poeira não sejam frequentes como outros acidentes de trabalho, quando esses acidentes ocorrem, podem ser catastróficos, resultando na perda de vidas e na destruição total de uma fábrica ou armazém.

Em 7 de fevereiro de 2008, por volta das 19h15, uma série de explosões de pó de açúcar na Imperial Sugar fábrica em Port Wentworth, Geórgia, resultou na morte de 14 trabalhadores e 36 feridos por queimaduras e ferimentos graves causando lesões permanentes. As explosões e os incêndios subsequentes destruíram a área de empacotamento, sala de paletização e silos, e danificou gravemente a área de carregamento de vagões a granel e partes das áreas do processo de refino de açúcar (CSB, 2009). Na Figura 1(a) pode ser observada uma visão geral da refinaria um dia após a explosão, e na Figura 1(b) a correia onde iniciou a explosão.

Figura 1 - Explosões em unidades armazenadoras: a) Explosão Imperial Sugar Company; b) correia onde iniciou a explosão primária na Imperial Sugar Company
Fonte: (CSB, 2009)

De acordo com a investigação, ao longo dos anos a instalação sofreu incêndios causados por rolamentos superaquecidos ou dispositivos elétricos associados ao pó. No entanto, nenhum destes incidentes resultaram em uma explosão devastadora de pó de açúcar ou em um grande incêndio antes de fevereiro de 2008. As causas do acidente: um rolamento superaquecido na correia transportadora de aço provavelmente provocou uma explosão primária de poeira e essa explosão primária de poeira dentro da correia transportadora de aço, fechada sob os silos 1 e 2, levou a enormes explosões secundárias de poeira e incêndios em todos os edifícios de embalagem.

Em outro caso, auditores-fiscais da Inspeção do Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego, concluíram, após análises realizadas pela equipe, que o excesso de poeira de grãos em suspensão e, também, depositadas no chão, gerou uma atmosfera explosiva, que ocasionou a morte de 10 trabalhadores e deixou outros 10 feridos em acidente dentro da Cooperativa C.Vale, em Palotina no Paraná, em 26 de julho de 2023. A equipe de fiscalização lavrou 26 autos de infração, ainda em fase de recurso por parte da empresa. Segundo o laudo, a concentração, o comburente, e uma fonte de ignição, como um curto nas instalações elétricas precárias, ou aquecimento por fricção dos roletes das esteiras transportadoras, ou faíscas em motores, ou outro fator a ser identificado pela perícia técnica, levou a ocorrer a explosão na empresa (MTE, 2024). Na Figura 2 pode ser observado o armazém após a explosão.

Figura 2 - Explosão na C. Vale em Palotina
Fonte: (O presente, 2023)

Com base nas informações fornecidas, observa-se que a manutenção de rotina e a limpeza nesses locais são cruciais. Contudo, a instalação de sensores que previnem falhas e superaquecimento emerge como um dos elementos primordiais para garantir a segurança tanto das pessoas quanto dos processos.

De acordo com o exposto, esse trabalho tem como objetivo acompanhar a instalação de sensores em pontos estratégicos dos equipamentos de movimentação de carga em uma unidade de armazenamento de grãos da região de Chapadão do Sul – MS. Como metas específicas o trabalho visa identificar os locais de instalação e verificar o funcionamento e a eficiência dos sensores como prevenção de acidentes provocados pela falha/superaquecimento dos equipamentos e funcionar ainda como indicador de manutenção.

Material e Métodos

Com intuito de minimizar os riscos de acidente foram instalados alguns dispositivos de monitoramento. Os equipamentos e sensores utilizados no sistema contra explosão por poeira foram: sensor de movimento, de temperatura, de desalinhamento e de embuchamento e chave de segurança, ambos da marca 4b Components limited, chave de desalinhamento, marca schmersal, botão de emergência, marca Siemens, e sirene de partida, marca blinda.

O sensor de velocidade (Figura 3a) foi concebido para detectar o deslizamento da correia, a velocidade insuficiente da correia, o movimento de paragem, velocidade baixa ou a velocidade zero em elevadores de canecas transportadores ou máquinas rotativas (Figura 3b).

As chaves de desalinhamento (Figura 3c) foram instaladas ao longo das correias transportadoras, funcionando como chaves fim de curso. Quando a correia desalinha e aciona a chave, o sensor emite um sinal que interrompe automaticamente o funcionamento do equipamento, evitando um atrito com o trilho e, consequentemente, eliminando uma fonte de ignição. Assim, uma equipe pode se deslocar ao local para realizar o alinhamento e os reparos necessários no equipamento.

Os sensores de temperatura (Figura 3d) foram instalados nos mancais dos equipamentos para monitorar a temperatura de trabalho dos rolamentos. Eles foram configurados para interromper automaticamente o funcionamento do equipamento quando detectam uma temperatura superior a 55 °C. Esses sensores foram projetados com um bico graxeiro integrado, o que elimina a necessidade de

removê-los durante as lubrificações. Eles são essenciais para a segurança, pois previnem o superaquecimento dos rolamentos, evitando danos e reduzindo o risco de acidentes e explosões.

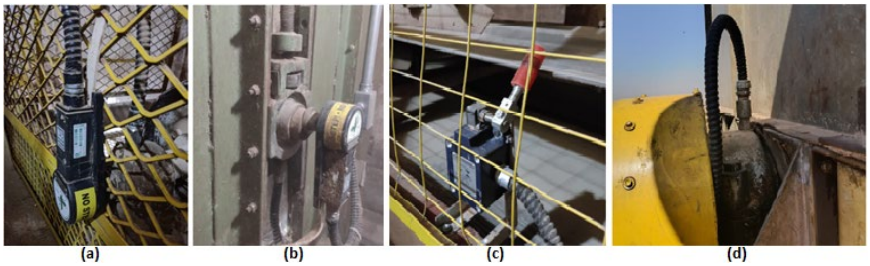

Figura 3 - (a) Sensor Zero Speed na correia transportadora; (b) Sensor Zero Speed no elevador de caneca; (c) Chave de desalinhamento de correia transportadora; (d) Sensor de temperatura
Fonte: Autoria própria

Os sensores de desalinhamento foram instalados para detectar problemas de alinhamento em elevadores de caneca. Um foi fixado no topo, próximo ao rolo motriz e outro na parte inferior, próximo ao rolo movido, conforme mostrado na Figura 4(a). Esses pontos foram escolhidos porque são os primeiros a sinalizar qualquer desalinhamento da correia. Eles foram instalados em pares em lados opostos da máquina. Esses sensores são essenciais porque o desalinhamento das correias de elevadores é uma das principais causas de contato com o corpo do elevador, gerando aquecimento e falhas que podem levar a problemas adicionais.

Os sensores de embuchamento (Figura 4b) foram utilizados para detectar níveis altos de pós e sólidos granulares, ele é acionado quando o nível do material no recipiente atinge a sonda. A unidade incorpora um escudo de energia exclusivo que compensa automaticamente o acúmulo de material ao redor da sonda e nas laterais do recipiente, evitando falsas indicações.

Normalmente esses dispositivos são instalados na seção de saída de uma correia transportadora para elevadores, pois, nesses pontos, pode ocorrer acúmulo que impede o escoamento adequado do produto e causa o bloqueio do fluxo.

O botão de emergência é um interruptor de parada de emergência para equipamentos fechados. A instalação é sugerida em três pontos: na parte superior do elevador, no nível do solo e na parte inferior.

O botão de emergência e a sirene de emergência são igualmente importantes quanto os sensores, pois permitem que os colaboradores parem o equipamento rapidamente caso identifiquem qualquer falha que não esteja sendo monitorada pelos sensores.

A sirene de partida, como o próprio nome sugere, ao ligar um transportador aberto, é disparada por dez segundos antes que o equipamento comece a operar, sinalizando que o transportador está prestes a entrar em funcionamento (Figura 4c).

A chave de emergência é um interruptor de parada de emergência com cabo de tração esticado a prova de falhas para transportadores abertos com acesso contínuo de parada ao longo de todo o transportador (Figura 4d).

Todos os sensores mencionados foram fabricados com certificação para uso em áreas com riscos de explosão.

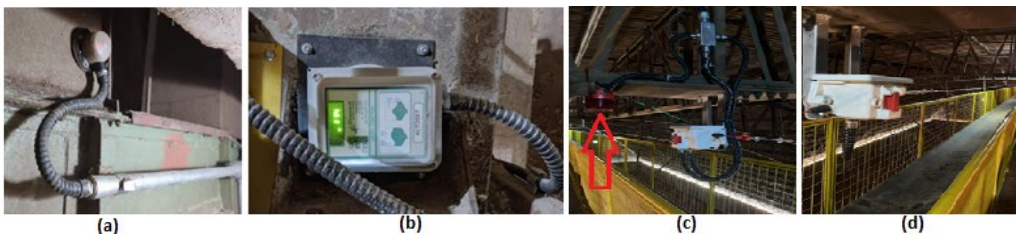

Figura 4 - (a) Sensor de desalinhamento; (b) Sensor de embuchamento; (c) Sirene de partida. (d) Chave de emergência instalada ao longo de uma correia transportadora
Fonte: Autoria própria

Foi ainda implantado um sistema de cascata que interligou todos os equipamentos. Quando um sensor aciona a parada de um equipamento, todos os outros equipamentos também param cessando o envio de carga, a fim de evitar danos adicionais.

Todos os sensores podem ser monitorados pelo IHM (Interface Homem-Máquina), que exibe informações sobre o funcionamento de cada sensor, indicando se algum está bypassado ou apresenta falhas. No entanto, o monitoramento através do IHM não substitui a necessidade de inspeções mensais dos sensores, que devem incluir testes, limpeza e verificação de cada um.

A comunicação do sensor com o IHM foi estabelecida por meio de cabos de 24 V, protegidos por eletrodutos e sealtubos anti-explosão, aumentando a segurança do sistema. Essa proteção adicional previne a ação de roedores e o acúmulo de poeira sobre os cabos, garantindo a integridade e a eficiência da comunicação.

Resultados e Discussão

A temperatura é de suma importância para a vida útil de um rolamento. Isso ocorre porque ela influencia diretamente no comportamento dos materiais que o compõem, bem como no desempenho do lubrificante que o protege contra o atrito. Nesse contexto, o sensor de temperatura do mancal não apenas previne a ocorrência de falhas catastróficas, como também contribui para a extensão da durabilidade dos rolamentos. Caso seja detectada qualquer alteração na temperatura, é possível intervir de forma preventiva, evitando a quebra prematura do equipamento.

É comum que haja uma pequena variação entre o rolo motriz e o rolo movido. Para gerenciar essa variação, o sensor de movimento foi configurado para emitir um alerta visual ou sonoro quando a diferença entre os rolos está entre 10% e 20%. Caso essa diferença ultrapasse 20%, o sensor aciona um sinal para parar o equipamento. Essa calibração do sensor foi crucial para evitar interrupções desnecessárias durante as condições normais de operação do equipamento.

A atuação do sensor contribuiu significativamente para prevenção de riscos de explosões ao evitar que a correia patine causando aquecimento excessivo. Além disso, o sensor reduz a necessidade de manutenções corretivas ao atuar como um monitor constante do equipamento. Vale ressaltar que a vibração do eixo não impacta o desempenho do sensor, uma vez que todo o conjunto se move de maneira sincronizada com o eixo.

Em situações anteriores, observou-se a queda de uma correia elevadora de grãos em um elevador. O incidente ocorreu devido à patinagem do rolo em atrito com a correia, que aqueceu a tal ponto que acabou rompendo. O aquecimento derreteu o revestimento do rolo, além de danificar parte da correia e das canecas.

Após uma análise com a equipe, foi identificado alguns possíveis fatores que contribuíram para a falha. Entre eles, destacam-se o desalinhamento da correia, que fez com que uma caneca se enganchasse e travasse a correia, impedindo seu movimento. Outro fator foi a falta de tensionamento adequado, que permitiu que o rolo continuasse girando até causar a queda da correia. Além disso, um excesso de carga pode ter gerado um embuchamento, dificultando a rotação da correia.

A queda da correia resultou em uma parada de 24 horas na área de recebimento do armazém, que pode ser descrita da seguinte forma na Tabela 1.

Registro de Paradas	
Horas extras	R$ 729,00
Mão de obra terceira	R$ 4.500,00
Peças e Materiais	R$ 7.000,00
Perda de 50% de produção	R$ 120.000,00
Total	R$ 132.229,00

Tabela 1 - Custo da parada não programada do elevador de canecas
Fonte: Autoria própria

Além desse impacto financeiro, houve exposição dos colaboradores a riscos durante as atividades de içamento de cargas, trabalho em espaço confinado, operações em altura e bloqueio de equipamentos. Na Figura 5 foi apresentado um exemplo de rompimento de uma correia transportadora de grãos.

Figura 5 - Correia transportadora rompida
Fonte: https://martin-engineering.com.br/esteiras-transportadoras-desalinhadas/

A implantação do sistema de sensoriamento contra explosões por poeira em uma unidade com 4 elevadores de grãos, 4 correias transportadoras e 2 redlers teve um custo aproximado de R$ 1.500.000,00. Esse investimento foi considerado baixo, uma vez que, em caso de explosão, seria necessário reconstruir todo ou parte do armazém. Além disso, o retorno financeiro é favorecido pela redução nas manutenções corretivas e nas paradas não programadas dos equipamentos. Portanto, ao investir nesses sensores, observa-se que o retorno do investimento se manifesta em curto prazo, por meio da diminuição das manutenções corretivas e quebras dos equipamentos.

Conclusão

A conclusão deste estudo evidencia a importância da instalação de sensores em unidades de armazenamento de grãos como uma estratégia eficaz para a prevenção de explosões por poeira e falhas de equipamentos. A integração de sensores de temperatura, movimento, desalinhamento e embuchamento, associados a chaves de segurança e sistemas de parada de emergência, demonstrou reduzir significativamente os riscos de acidentes catastróficos, como os verificados nos casos da Imperial Sugar e da C.Vale. A redução de manutenções corretivas, paradas não programadas e o retorno financeiro positivo validam o investimento realizado. Em suma, a instalação de sistemas de sensoriamento, aliada à manutenção preventiva, contribui não apenas para a segurança operacional, mas também para a viabilidade econômica da unidade industrial.

Referências Bibliográficas

BRANDT. Risco de explosão no manuseio de grãos. **BRANDT,** Timbó 8 de março de 2023. Disponível em: [https://brandt.ind.br/risco-de-explosao-no-manuseio-de-graos]. Acesso em 30/09/2024.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. Auditores-fiscais do MTE concluem que excesso de poeira em suspensão gerou explosão que matou 10 pessoas em Palotina (PR). Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024. Disponível em: [https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/noticias-e-conteudo/2024/Marco/auditores-fiscais-do-mte-concluem-que-excesso-de-poeira-em-suspensao-gerou-explosao-que-matou-10-pessoas-em-palotina-pr]. Acesso em: 27/09/2024.

CSB. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. INVESTIGATION REPORT; Sugar Dust Explosion and Fire. Georgia: **CSB.** 2008. Disponível: [https://www.csb.gov/assets/1/20/imperial_sugar_report_final_updated.pdf?13902]. Acesso em 25/09/2024.

MARTIN ENGINEERING. Esteiras transportadoras desalinhadas: como identificar e solucionar. **MARTIN ENGINEERING** [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://martin-engineering.com.br/esteiras-transportadoras-desalinhadas/. Acesso em: 29/09/2024.