



POLITÉCNICO
DE LISBOA

POLYTECHNIC
UNIVERSITY
OF LISBON

Estágio em saúde ocupacional numa indústria de panificação

Judite Matilde Nunes Costa

Relatório no âmbito do Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho

Lisboa, 2026



POLYTECHNIC
UNIVERSITY
OF LISBON

Estágio em saúde ocupacional numa indústria de panificação

Judite Matilde Nunes Costa

Relatório no âmbito do Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho

ORIENTADORAS:

Prof.^a Doutora Carla Viegas, Escola Superior de Saúde de Lisboa -ESSL-IPL

Dra Renata Cervantes, Escola Superior de Saúde de Lisboa -ESSL-IPL

Eng.^a Angélica Mateus - Orientadora externa

JÚRI:

Doutora Paula Cristina Albuquerque, Escola Superior de Saúde de Lisboa -ESSL-IPL

Especialista Hélder José da Silva Simões - Escola Superior de Saúde de Coimbra
-ESTESC-IPC

(esta versão inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri)

Lisboa, 2026

Resumo

O presente relatório descreve as atividades desenvolvidas no âmbito de um estágio curricular realizado numa indústria de panificação ultracongelada no contexto do Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho. O estágio teve como foco a avaliação do risco de atmosferas explosivas numa sala de silos de farinha, área considerada crítica devido à presença de poeiras combustíveis e ao elevado grau de confinamento.

A metodologia utilizada seguiu uma abordagem prática e operacional, adequada ao contexto industrial e alinhada com os requisitos legais e normativos aplicáveis à prevenção em atmosferas explosivas. A avaliação do risco considerou a frequência de formação de atmosferas explosivas, a probabilidade de existência de fontes de ignição e a gravidade das possíveis consequências, de acordo com os princípios definidos na legislação e nas normas técnicas em vigor.

Como principal resultado do estágio, foi elaborado um Manual de Proteção para Atmosferas Explosivas específico para a sala de silos de farinha, integrando a caracterização da área, a classificação de zonas de atmosferas explosivas, o inventário de equipamentos certificados e a definição de medidas de prevenção e proteção. Este documento constitui um apoio à gestão de risco em atmosferas explosivas na empresa e contribui para o cumprimento das obrigações legais em matéria de segurança e saúde no trabalho.

O estágio permitiu ainda o desenvolvimento de competências práticas na identificação dos perigos, análise de riscos e aplicação de requisitos legais e normativos em contexto industrial, reforçando a importância de uma abordagem sistemática e preventiva na gestão dos riscos associados a poeiras combustíveis.

Palavras chave: Poeiras combustíveis, atmosferas explosivas, silos de farinha, indústria de panificação.

Abstract

This report describes the activities carried out within the framework of curricular internship conducted in a frozen bakery industry, as part of the Master`s degree in Occupational Safety and Health. The internship focused on the assessment of explosion risks in a flour silo room, an area considered critical due to the presence of combustible dusts and the high level of confinement.

The methodology followed a practical and operational approach, suitable for the industrial context and aligned with the legal and regulatory requirements applicable to the prevention of explosive atmospheres. The risk assessment considered the frequency of formation of explosive atmospheres the probability of the presence of ignition sources, and the severity of potential consequences, in accordance with the principles established in the applicable legislation and technical standards.

As the main outcome of the internship, an explosion protection document was developed specifically for the flour silo room, including the characterization of the area, explosive atmospheres zone classification, an inventory of certified equipment, and the definition of prevention and protection measures. This document supports explosive atmospheres risk management within the company and contributes to compliance with occupational health and safety legal obligations.

The internship also enables the development of practical skills in hazard identification, risk analysis, and the application of legal and regulatory requirements in an industrial context, highlighting the importance of a systematic and preventive approach to managing risks associated with combustible dusts.

Keywords: combustible dust, explosive atmospheres, flour silos, bakery industry.

ÍNDICE

Resumo	I
Abstract	II
Índice de Figuras	V
Índice de Tabelas	VI
Lista de Siglas e Abreviaturas	VII
Glossário	VIII
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivo do estágio.....	1
1.2. Justificação e Pertinência do estágio	1
1.3. Caracterização do local de estágio.....	2
2. Enquadramento Teórico.....	5
2.1. Farinha enquanto poeira combustível na indústria de panificação.....	5
2.2. Poeiras combustíveis e mecanismos de explosão.....	6
2.3. Conceito de atmosferas explosivas	7
2.4. Riscos intrínsecos associados à farinha e ao armazenamento em silos	7
2.5. Fontes de ignição típicas em atmosferas com poeiras combustíveis.....	8
2.6. Importância da manutenção preventiva em áreas ATEX.....	8
2.7. Enquadramento legal e normativo aplicável às atmosferas explosivas	9
2.7.1. Diretivas ATEX e legislação portuguesa aplicável.....	9
2.7.2. Normas técnicas aplicáveis às atmosferas explosivas	10
2.7.3. Requisitos normativos de marcação e certificação de equipamentos ATEX ..	11
3. Cronograma de Atividades.....	13
3.1. Descrição das atividades desenvolvidas.....	13
3.2. Cronograma de atividades.....	15
4. Fundamentação das Atividades Realizadas.....	16
4.1. Enquadramento metodológico do estágio.....	16
4.2. Caracterização da área em estudo.....	16

4.3.	Identificação de perigos associados a atmosferas explosivas.....	17
4.4.	Fundamentação da análise de risco de explosão (metodologia ATEX)	17
4.5.	Classificação de zonas com risco de explosão	18
4.6.	Definição de medidas de prevenção e proteção	19
4.7.	Elaboração do manual de proteção em atmosferas explosivas.....	19
5.	Discussão Legal e Científica das Atividades Realizadas.....	21
6.	Reflexão Crítica	23
7.	Proposta de Trabalho de Investigação na Área.....	25
8.	Referências Bibliográficas	28
	Apêndice I – Inventário e Verificação de Conformidade dos Componentes ATEX	33
	Apêndice II – Identificação de Perigos e Avaliação de Risco de Explosão por Poeiras e Combustíveis.....	43
	Apêndice III – Lista de Verificação de Apoio à Avaliação do Risco ATEX na Sala de Silos.....	51
	Apêndice IV – Manual de Proteção contra Atmosferas Explosivas da Sala de Silos	54

Índice de Figuras

Figura 1 - Foto dos 2 silos exteriores	4
Figura 2 - Foto de 4 silos interiores.....	4
Figura 3 - Pentágono de explosão	6
Figura 4 - Símbolo de referência a atmosfera explosiva	12
Figura 5 - Exemplo de etiqueta utilizada em equipamentos adequados às zonas ATEX	12

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Cronograma de atividades.....	15
Tabela 2 - Classificação de zonas da sala de silos.....	19
Tabela 3 - Inventário e componentes dos silos grandes de armazenamento.....	33
Tabela 4 - Inventário e componentes do silo abastecimento linha de produção	35
Tabela 5 - Inventário e componentes dos silos pequenos	36
Tabela 6 - Inventário e componentes dos quadros elétricos e pneumáticos.....	37
Tabela 7 - Inventário e componentes das luminárias.....	39
Tabela 8 - Inventário e componentes dos silos exteriores	40
Tabela 9 - Inventário e componentes dos aspiradores	41
Tabela 10 - Inventário e componentes do arrefecedor de farinha.....	42
Tabela 11 - Frequência da fonte de ignição.....	43
Tabela 12 - Matriz de atribuição de frequência.....	43
Tabela 13 - Categoria de gravidade	44
Tabela 14 - Matriz de risco de explosão.....	45
Tabela 15 - Matriz de atribuição de risco.....	45
Tabela 16 - Avaliação de risco na sala de silos	46

Lista de Siglas e Abreviaturas

ACT – Autoridade para as Condições de Trabalho

ATEX – Atmosferas Explosivas

DL – Decreto-Lei

EU- União Europeia

Fe – Frequência de formação da atmosfera explosiva

Fi – Frequência de ignição

G – Gravidade

SHT - Segurança e Higiene no Trabalho

ISO - *Internacional Organization for Standardization*

NFPA - *National Fire Protection Association* (Associação Nacional de Proteção de Incêndios)

NP EN – Norma Portuguesa Europeia (indica que é uma norma europeia (EN) que foi adotada como norma nacional em Portugal (NP))

OIT - Organização internacional do Trabalho

Glossário

Atmosfera explosiva (ATEX) – Mistura com o ar, em condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis sob a forma de gases, vapores, névoas ou poeiras, na qual, após ignição, a combustão se propaga à totalidade da mistura não queimada (Diretiva 1999/92/CE).

Zona 20 – Área onde uma atmosfera explosiva sob a forma de nuvem de poeira combustível está presente continuamente, por longos períodos ou frequentemente (NP EN 60079-10-2:2015).

Zona 21 – Área onde é provável a formação de uma atmosfera explosiva sob a forma de nuvem de poeira combustível durante o funcionamento normal (NP EN 60079-10-2:2015).

Zona 22 – Área onde a formação de uma atmosfera explosiva sob a forma de nuvem de poeira combustível não é provável durante o funcionamento normal e, se ocorrer, é de curta duração (NP EN 60079-10-2:2015).

Kst – Índice de explosividade de poeiras, que caracteriza a severidade de uma explosão de poeiras (adaptado de Rolf K. Eckhoff e Li, 2021).

Poeira Combustível – Partículas sólidas finamente divididas que apresentam risco de combustão ou explosão quando dispersas no ar em concentrações adequadas (*National Fire Protection Association, NFPA 652, 2019*).

Spirocool – Sistema de arrefecimento de produto a granel, frequentemente utilizado em indústrias de panificação, que promove a redução da temperatura de materiais como farinha através da circulação de ar em espiral ou em fluxo controlado podendo contribuir para a dispersão e, conseqüentemente, para a formação de atmosferas explosivas.

1. Introdução

A opção pela modalidade de estágio mostrou-se adequada, por permitir desenvolver o trabalho num contexto industrial real e aplicar diretamente os princípios de Segurança e Higiene no Trabalho relevantes para a problemática das atmosferas explosivas.

1.1. Objetivo do estágio

O presente estágio consistiu na aplicação prática de alguns dos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho, no contexto de uma indústria de panificação ultracongelada com elevado grau de automatização com foco na gestão do risco de Atmosferas Explosivas (ATEX).

De forma específica, as atividades desenvolvidas tiveram como objetivos:

- Caracterizar o funcionamento da sala de silos de farinha;
- Identificar perigos e potenciais fontes de ignição associados à presença de poeiras combustíveis;
- Avaliar o risco de formação de atmosferas explosivas na área;
- Analisar as medidas de prevenção e de proteção implementadas;
- Contribuir para a elaboração de um manual de proteção contra explosões (ATEX).

1.2. Justificação e Pertinência do estágio

O presente trabalho justifica-se, não apenas pelo cumprimento das obrigações legais, mas também pelo contributo para a melhoria contínua do sistema gestão de segurança e saúde no trabalho da empresa. Esta abordagem está alinhada com as recomendações da Organização Internacional de Trabalho (OIT, 2022), que promovem a integração da segurança nos processos produtivos como elemento essencial de sustentabilidade industrial, bem como com os princípios da norma ISO 45001:2018.

A indústria de panificação é conhecida por apresentar diferentes riscos de exposição para os seus trabalhadores. Estudos documentam que trabalhadores em padarias são expostos a elevados níveis de fungos no ar e em superfícies, decorrentes da matéria particulada no ar, frequentemente superiores aos limites recomendados pela Organização Mundial de saúde, reforçando a necessidade de avaliar e controlar o risco biológico para além dos riscos físicos e químicos (Viegas *et al*, 2019).

Além disso, a indústria de panificação é também reconhecida como um setor com risco elevado de explosão de poeiras combustíveis, em particular em áreas como silos, sistemas de transporte e zonas de armazenamento de farinhas (Kuracina *et al.*, 2019). As poeiras orgânicas apresentam propriedades explosivas bastante documentadas, sendo este risco agravado em ambientes confinados e com elevada concentração de material pulverulento (Eckhoff & Li, 2021).

Neste seguimento, o cumprimento das diretivas ATEX assume um papel central na mitigação e controlo deste tipo de risco de explosão, exigindo a implementação de medidas técnicas, organizacionais e procedimentais adequadas às características específicas das instalações.

Apesar da reduzida exposição direta dos trabalhadores proporcionada pela automatização das linhas de fabrico, a literatura demonstra que a ocorrência de incidentes continua associada a fatores como falhas de manutenção, deposição de poeiras e inadequação de procedimentos operacionais (Perelli *et al.*, 2013). A acumulação e deposição de poeiras em zonas técnicas e de difícil acesso aumenta significativamente a probabilidade de ocorrência de explosões secundárias (Xiao *et al.*, 2018).

Adicionalmente, o estágio possibilitou o desenvolvimento de competências para a área de Segurança e Higiene no Trabalho nomeadamente a observação do ambiente industrial, a análise de riscos específicos e a compreensão entre as exigências legais, normas técnicas e práticas operacionais. Esta análise está de acordo com os princípios defendidos por Nagy & Verakis, que salientam a importância da identificação estruturada de perigos e da análise integrada de riscos em instalações industriais com poeiras combustíveis (Nagy & Verakis, 1983).

1.3. Caracterização do local de estágio

O estágio curricular foi desenvolvido, entre os meses de agosto e novembro, numa indústria alimentar com elevada capacidade produtiva e elevado grau de automatização, dedicada à produção, comercialização e distribuição de produtos de panificação destinados ao mercado nacional e internacional.

A organização opera há mais de duas décadas e integra um número significativo de trabalhadores distribuídos por diferentes áreas funcionais, desde a receção de matérias-primas até à expedição do produto final. A atividade industrial assenta em processos automatizados, o que contribui para a redução da exposição direta dos trabalhadores a

riscos operacionais, mantendo, contudo, a necessidade de controlo rigoroso dos perigos associados aos processos e equipamentos.

A área de incidência do estágio correspondeu à sala de silos de farinha de uma nova unidade industrial, destinada ao armazenamento e manuseamento de matérias-primas pulverulentas e outros aditivos utilizados no fabrico de produtos de panificação. Esta sala é constituída por catorze silos, dos quais dois, com capacidade aproximada de 60 toneladas cada, se encontram instalados no exterior do edifício, doze silos de menor capacidade localizados no interior da unidade, integrando ainda um arrefecedor, um *spirocool*, aspiradores centrais de poeiras e postos de abastecimento manuais.

O sistema de alimentação das linhas de produção é assegurado por transporte pneumático e por sistemas de transporte mecânico, nomeadamente senfins, que conduzem a farinha a duas linhas de produção. Trata-se de uma zona de acesso condicionado, associada ao elevado nível de automatização e ao carácter técnico dos equipamentos instalados, sendo as operações de manutenção asseguradas por técnicos internos especializados e por técnicos dos fabricantes dos equipamentos, devidamente qualificados.

Todos os equipamentos e componentes instalados na sala de silos, incluindo válvulas, motores, medidores de nível, sensores de abertura de portas, painéis de controlo de pressão, encontram-se certificados para utilização em atmosferas explosivas, de acordo com os requisitos da Diretiva 2014/34/EU estando a conformidade documentada e identificada através de marcação específica (conforme apresentado no Apêndice I).

A conceção da sala de silos apresenta um elevado nível de conformidade técnica, com um *layout* adequado, sistemas de ventilação e filtragem, ligações equipotenciais e um plano de manutenção preventiva implementado. No entanto, atendendo à natureza intrinsecamente explosiva da farinha, o risco não pode ser totalmente eliminado, o que justifica a necessidade de uma avaliação sistemática e da melhoria contínua das condições de segurança.

As figuras 1 e 2 apresentam, respetivamente, uma imagem dos silos exteriores e de parte dos silos interiores existentes na área em estudo.



Figura 1 - Foto dos 2 silos exteriores

Fonte: Elaboração própria (instalação industrial, 2025)



Figura 2 - Foto de 4 silos interiores

Fonte: Elaboração própria (instalação industrial, 2025)

2. Enquadramento Teórico

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais conceitos teóricos, técnicos e legais associados às atmosferas explosivas por poeiras combustíveis, com particular incidência na indústria de panificação. O enquadramento apresentado baseia-se na literatura científica, em normas técnicas e no regime jurídico aplicável, necessários para a compreensão das atividades desenvolvidas no âmbito do estágio.

2.1. Farinha enquanto poeira combustível na indústria de panificação

A farinha de trigo é um material orgânico constituído maioritariamente por hidratos de carbono, apresentando um elevado teor de carbono disponível para combustão (Bartknecht, 1989).

A composição química da farinha e o seu comportamento durante os processos industriais de panificação encontram-se bastante descritos na literatura técnica do setor dos cereais (Cauvain, 2015).

Durante os processos de moagem, transporte e manuseamento industrial, a farinha é fragmentada em partículas de reduzida dimensão, o que aumenta significativamente a sua área superficial específica (Eckhoff, 2003). Este aumento favorece a reatividade do material quando disperso no ar (Cashdollar, 1996). A fragmentação da farinha durante operações de transporte e armazenamento origina partículas finas com maior área superficial específica, aumentando o seu potencial de combustão (Cauvain & Young, 2009)

Ensaio laboratoriais demonstram que poeiras de farinha apresentam valores mensuráveis de pressão máxima de explosão (P_{max}) e de índice de explosividade (K_{st}) (Eckhoff & Li, 2021), estes são parâmetros utilizados na caracterização do seu comportamento explosivo (Eckhoff & Li, 2021). Com base nestes parâmetros, a farinha é habitualmente classificada como poeira do tipo ST1, evidenciando a capacidade de originar explosões em condições industriais específicas (NFPA 652, 2019). Estudos experimentais demonstram que a redução do tamanho das partículas de amido de trigo aumenta significativamente a violência das explosões de poeiras (Saeed *et al.*, 2018).

Em instalações de panificação, o risco associado à farinha enquanto poeira combustível é influenciado pela frequência de operações que promovem a sua libertação e dispersão no ambiente de trabalho (Kuracina *et al.*, 2019).

2.2. Poeiras combustíveis e mecanismos de explosão

As explosões de poeiras combustíveis resultam de uma combustão extremamente rápida de partículas sólidas finamente divididas suspensas no ar (Bartknetcht, 1989). Estas explosões representam um problema relevante na indústria e são responsáveis por acidentes graves com impactos significativos em pessoas, instalações e continuidade operacional, mesmo em contextos industriais tecnicamente evoluídas (Birk & Amyotte, 2019). O risco é particularmente elevado em indústrias que utilizam matérias orgânicas pulverulentas como a indústria alimentar (Amyotte, 2013).

Para que ocorra uma explosão de poeiras é necessária a presença simultânea de poeira combustível, oxigénio, uma fonte de ignição, dispersão da poeira e confinamento parcial ou total, conjunto designado na literatura como pentágono de explosão (Eckhoff, 2003).



Figura 3 - Pentágono de explosão

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Eckhoff (2003).

A ignição de uma nuvem de poeira ocorre quando a concentração se encontra entre os limites inferior e superior de explosividade do material (Cashdollar, 1996). Após a ignição, a chama propaga-se rapidamente através da nuvem de partículas, provocando um aumento súbito da pressão, particularmente perigoso em espaços confinados (Dahoe *et al*, 2021).

Explosões primárias podem mobilizar poeiras depositadas em superfícies, originando explosões secundárias com consequências significativamente mais graves (Amyotte & Eckhoff, 2010). A propagação de explosões ao longo de condutas e sistemas fechados representa um fenómeno crítico em instalações industriais com poeiras combustíveis

(Proust, 1996). As explosões secundárias são responsáveis pela maioria dos acidentes industriais severos associados a poeiras combustíveis (Russo *et al.*, 2019).

2.3. Conceito de atmosferas explosivas

O conceito de atmosfera explosiva encontra-se definido na legislação europeia relativa à segurança e saúde no trabalho (Diretiva 1999/92/CE). Uma atmosfera explosiva forma-se pela presença simultânea de uma substância combustível, oxigénio do ar e uma fonte de ignição eficaz conforme definido na Norma Portuguesa EN 1127-1:2014 (NP EN 1127-1:2014).

No caso das poeiras combustíveis, a dispersão das partículas no ar é determinante para a criação de condições explosivas (Eckhoff, 2003). Uma mesma substância pode apresentar risco reduzido quando depositada, mas elevado potencial explosivo quando se encontra suspensa no ar sob a forma de nuvem de poeira segundo a National Fire Protection Association 652 (NFPA 652, 2019).

A frequência e a duração da presença de atmosferas explosivas dependem das características do processo industrial e das práticas operacionais adotadas, sendo critérios fundamentais para a classificação de zonas ATEX (NP EN 60079-10-2:2015).

A formação de atmosferas explosivas por poeiras combustíveis deve considerar o funcionamento normal e situações previsíveis de funcionamento anómalo (ACT, 2020).

2.4. Riscos intrínsecos associados à farinha e ao armazenamento em silos

Os riscos intrínsecos associados à farinha decorrem das suas propriedades físicas e químicas enquanto poeira combustível (Amyotte, 2010). Em ambientes industriais, a deposição de poeiras em superfícies e estruturas constitui um fator de risco adicional, podendo intensificar os efeitos de um evento explosivo (Bartknecht, 1989).

Os silos de armazenamento de farinha representam espaços particularmente críticos devido ao elevado grau de confinamento e à grande quantidade de material combustível presente (Hertzberg & Cashdollar, 1987). As operações de enchimento e descarga dos silos promovem a turbulência do ar e a dispersão da poeira, aumentando a probabilidade de formação de atmosferas explosivas (Kuracina *et al.*, 2019).

Como descrito em 2.2., eventos explosivos em ambientes confinados podem ter efeitos em cascata, uma explosão primária no interior de um silo pode desencadear explosões secundárias em áreas adjacentes, com consequências graves para trabalhadores,

equipamentos e infraestruturas (Russo *et al*, 2019). A deposição de poeiras em superfícies e estruturas aumenta significativamente a severidade de explosões secundárias em instalações industriais (Perelli, 2023)

Adicionalmente, condições operacionais como temperaturas elevadas e pressões iniciais aumentadas influenciam diretamente os parâmetros explosivos das poeiras combustíveis podendo agravar a severidade dos efeitos associados a um eventual evento explosivo (Wiemann, 1987).

2.5. Fontes de ignição típicas em atmosferas com poeiras combustíveis

A presença de uma atmosfera explosiva só se traduz em acidente quando existe uma fonte de ignição com energia suficiente para iniciar a combustão (Eckhoff, 2003).

A eletricidade estática é uma das fontes de ignição mais frequentes em operações que envolvem manuseamento de poeiras combustíveis (HSE, 2013). A movimentação de materiais pulverulentos pode gerar cargas electroestáticas por fricção entre partículas e superfícies (Amyotte, 2010).

Superfícies quentes resultantes do funcionamento anómalo de equipamentos podem atingir temperaturas superiores à temperatura mínima de ignição das poeiras (Abbasi & Abbasi, 2007). O controlo da temperatura dos equipamentos é essencial para prevenir a ignição por superfícies quentes em ambientes com poeiras combustíveis (Eckhoff, 2019).

Faíscas mecânicas produzidas por impacto ou atrito entre componentes metálicos constituem uma fonte potencial de ignição em ambientes industriais (Di Benedetto & Russo, 2007).

Falhas em equipamentos elétricos podem originar arcos elétricos ou sobreaquecimento suscetíveis de provocar a ignição de atmosferas explosivas (NP EN 1127-1:2014).

2.6. Importância da manutenção preventiva em áreas ATEX

A manutenção preventiva desempenha um papel fundamental na redução do risco de explosão em atmosferas potencialmente explosivas (Eckhoff, 2003).

A degradação progressiva de equipamentos pode originar fontes de ignição, como sobreaquecimento, faíscas mecânicas ou falhas elétricas (Abbasi & Abbasi, 2007). A aplicação de princípios de segurança interna é reconhecida como uma abordagem eficaz na prevenção de explosões de poeiras combustíveis (Amyotte *et al*, 2009).

Programas de manutenção estruturados permitem identificar precocemente situações de risco antes da ocorrência de acidentes (Bartknecht, 1989). A manutenção deve ser integrada numa estratégia global de prevenção de explosões, articulada com procedimentos operacionais e formação dos trabalhadores (NP EN 1127-1:2014).

A adoção de sistemas de gestão da segurança contribui para a melhoria contínua das condições de trabalho em áreas ATEX segundo a International Organization for Standardization (ISO) 45001 (ISO 45001:2018). Sendo que, a integração da prevenção de riscos ATEX em sistemas de segurança contribui para a redução sustentada de acidentes industriais (ACT, 2019).

2.7. Enquadramento legal e normativo aplicável às atmosferas explosivas

A prevenção e proteção contra explosões encontram-se regulamentadas ao nível europeu através da Diretiva 1999/92/CE, relativa à segurança dos trabalhadores expostos a atmosferas explosivas (Diretiva 1999/92/CE).

Os requisitos aplicáveis aos equipamentos e sistemas de proteção destinados as utilizações em atmosferas potencialmente explosivas são estabelecidas pela diretiva 2014/34/EU (Diretiva 2014/34/EU).

Em Portugal, a Diretiva 1999/92/CE é transposta pelo Decreto-Lei n.º 236/2003, que define as obrigações do empregador em matéria de avaliação de riscos e adoção de medidas preventivas (Decreto-Lei n.º 236/2003).

A diretiva 2014/34/EU é transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei n.º 111-C/2017, relativo à colocação no mercado de equipamentos ATEX (Decreto-Lei n.º 111-C/2017).

A norma NP EN 1127-1 estabelece os princípios gerais de prevenção e proteção contra explosões aplicáveis a instalações industriais (NP EN 1127-1:2014).

A classificação de zonas com presença de poeiras combustíveis é orientada pela norma NP EN 60079-10-2:2015, que constitui uma referência técnica fundamental neste domínio (NP EN 60079-10-2:2015).

2.7.1. Diretivas ATEX e legislação portuguesa aplicável

A prevenção e controlo de riscos associados a atmosferas explosivas na União Europeia encontram-se enquadrados por duas diretivas fundamentais, genericamente

designadas por Diretivas ATEX, que estabelecem obrigações distintas para empregadores e fabricantes de equipamentos (Comissão Europeia, 2003).

A Diretiva 1999/92/CE, estabelece as prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores potencialmente expostos a riscos de atmosferas explosivas. Esta diretiva foi transposta para o ordenamento jurídico português através do Decreto-Lei n.º 236/2003 de 30 de setembro, que define as obrigações do empregador no que respeita à avaliação dos riscos de explosão, classificação de zonas perigosas, implementação de medidas técnicas e organizacionais e elaboração do documento de Proteção Contra Explosões (DL n.º 236/2003).

Este decreto impõe a identificação sistemática dos perigos, a avaliação dos riscos e a adoção de medidas preventivas adequadas, seguindo uma hierarquia que privilegia a prevenção da formação de atmosferas explosivas, a eliminação de fontes de ignição e, quando tal não seja possível, a mitigação dos efeitos de uma eventual explosão (DL n.º 236/2003).

Complementarmente, a Diretiva 2014/34/EU, também conhecida como ATEX “equipamentos”, estabelece os requisitos essenciais de saúde e segurança aplicáveis aos aparelhos e sistemas de proteção destinados a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas. Esta diretiva foi transposta para a legislação portuguesa através do Decreto-Lei n.º 111-C/2017, de 31 de agosto, aplicando-se aos fabricantes importadores e distribuidores de equipamentos ATEX (DL n.º 111-C/2017).

No contexto dos locais de trabalho, estes diplomas articulam-se ainda com o Decreto-Lei n.º 50/2005, relativo à utilização de equipamentos de trabalho, que reforça a obrigação de garantir que os equipamentos instalados são adequados às condições reais de utilização, mantidos em condições seguras e sujeitos a manutenção preventiva, particularmente quando podem constituir potenciais fontes de ignição (DL n.º 50/2005).

2.7.2. Normas técnicas aplicáveis às atmosferas explosivas

Para além do enquadramento legal, a prevenção e controlo de atmosferas explosivas baseiam-se na aplicação de normas técnicas, que fornecem orientações detalhadas para a aplicação prática dos requisitos legais e permitem uniformizar critérios de avaliação e controlo de risco ATEX (IEC, 2016)

A NP EN 1127-1:2014 estabelece os princípios fundamentais de prevenção e proteção contra explosões, aplicáveis a atmosferas explosivas provocadas por gases, vapores,

névoas e poeiras combustíveis. Esta norma assenta na identificação de perigos, avaliação do risco e implementação de medidas de controlo privilegiando a prevenção de formação de atmosferas explosivas e a eliminação de fontes de ignição sempre que tecnicamente possível (NP EN 1127-1:2014).


No caso específico das poeiras combustíveis, a norma fornece orientações relativas aos mecanismos de formação de atmosferas explosivas, as condições que favorecem a ignição e os princípios gerais para a limitação dos efeitos de uma explosão, sendo amplamente reconhecida como referência base para as avaliações ATEX em contexto industrial (Eckhoff & Li, 2021).

A Norma Portuguesa EN 60079-10-2:2015 (NP EN 60079-10-2:2015), estabelece critérios para a classificação de zonas perigosas em presença de poeiras combustíveis, distinguindo as zonas 20,21 e 22 em função da probabilidade e duração da presença de uma atmosfera explosiva. Esta classificação condiciona os requisitos aplicáveis aos equipamentos, aos sistemas de proteção e às medidas organizacionais a implementar (NP EN 60079-10-2:2015).

A aplicação destas normas técnicas são um contributo para que a avaliação de riscos seja realizada de forma consistente, e alinhada com as boas práticas europeias, assegurando uma adequada articulação com as práticas correntes de engenharia de segurança em ambientes com poeiras combustíveis (Amyotte, 2010).

2.7.3. Requisitos normativos de marcação e certificação de equipamentos ATEX

Os equipamentos e sistemas de proteção destinados a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas devem cumprir requisitos específicos de marcação e certificação, de modo a garantir que não constituem uma fonte de ignição em condições normais ou previsíveis de funcionamento (Diretiva 2014/34/EU).

De acordo com a Diretiva 2014/34/EU e o respetivo diploma de transposição nacional (DL n.º 111-C de 2017), os equipamentos ATEX devem apresentar marcação própria, incluindo o símbolo de atmosfera explosiva  (Figura 4), o grupo e a categoria do equipamento, o tipo de atmosfera a que se destinam (gases ou poeiras), o nível de proteção e a classe da temperatura aplicável (DL n.º 111-C de 2017).

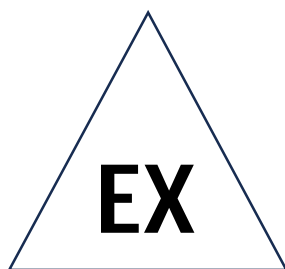


Figura 4 - Símbolo de referência a atmosfera explosiva

Fonte: Elaboração própria, com base na Diretiva 2014/34/EU.

Esta marcação permite confirmar a adequação do equipamento à zona ATEX onde é instalado, assegurando que o seu nível de proteção é compatível com a probabilidade de ocorrência de atmosferas explosivas nesse local (NP EN 60079-10-2:2015).

A seleção inadequada de equipamentos ATEX constitui uma das principais causas de não conformidades identificadas em auditorias e tem sido associada à ocorrência de acidentes industriais que envolvem poeiras combustíveis (Eckhoff, 2003).



Figura 5 - Exemplo de etiqueta utilizada em equipamentos adequados às zonas ATEX

Fonte: Elaboração própria

Em indústrias com silos e sistemas de transporte de poeiras combustíveis, o cumprimento rigoroso dos requisitos de marcação e certificação ATEX, constitui uma medida técnica essencial na prevenção de explosões e na gestão de segurança e saúde no trabalho (Amyotte e Eckhoff, 2010).

3. Cronograma de Atividades

Ao longo do período do estágio, as atividades foram planejadas e executadas de forma faseada, o que permitiu uma progressiva integração no contexto industrial e adquirir conhecimentos sobre os processos produtivos e o desenvolvimento do trabalho associado à avaliação do risco de atmosferas explosivas na sala de silos.

O planeamento temporal das atividades teve como objetivo assegurar uma abordagem sistemática ao estudo da instalação, garantindo que a recolha de informação, a observação direta e a elaboração da proposta do manual ATEX decorressem de forma articulada e consistente. O cronograma definido permitiu ainda ajustar o desenvolvimento das tarefas às necessidades operacionais da empresa e disponibilidade dos intervenientes envolvidos.

As atividades desenvolvidas podem ser agrupadas em quatro fases: integração e enquadramento teórico, reconhecimento da instalação e levantamento de informação, análise do risco ATEX e elaboração do manual de proteção para atmosferas explosivas.

3.1. Descrição das atividades desenvolvidas

A fase inicial do estágio foi dedicada à integração no contexto industrial e na aprendizagem de conhecimentos fundamentais sobre a organização, os processos produtivos e o funcionamento geral da unidade de panificação. Esta etapa incluiu a observação das linhas de fabrico, a compreensão do fluxo de matérias primas e a familiarização com a sala de silos enquanto área específica da intervenção do estágio.

Paralelamente foi realizada uma pesquisa temática e normativa, incidindo sobre atmosferas explosivas, poeiras combustíveis, silos de farinha e enquadramento legal ATEX. Esta atividade permitiu consolidar conhecimentos teóricos e enquadrar as observações realizadas no terreno, para que houvesse coerência entre a prática industrial e os requisitos legais e normativos aplicáveis.

Numa fase posterior, procedeu-se ao reconhecimento da sala de silos, incluindo a identificação dos silos exteriores e interiores, sistemas de transporte pneumático e senfins, painéis elétricos, motores, sensores e outros componentes relevantes. Esta fase envolveu observação direta das operações normais de funcionamento com especial atenção às fases de enchimento, descarga e transporte farinha.

Foi efetuado um levantamento fotográfico sistemático de todos os equipamentos e componentes instalados na sala de silos, com o objetivo de documentar a instalação e

apoiar a análise posterior. Este registo constituiu a base para o inventário de componente ATEX e para verificação das respetivas marcações e certificações. Seguidamente, realizou-se a análise das marcações ATEX dos equipamentos incluindo a verificação do grupo, categoria, tipo de atmosfera e nível de proteção, de modo a confirmar a sua adequação às zonas classificadas. Esta atividade implicou a consulta de documentação técnica e a articulação com os responsáveis internos da empresa.

Com base na observação do processo, na informação recolhida e nos critérios das normas aplicáveis, procedeu-se à classificação das zonas ATEX da sala de silos, identificando zonas 20, 21 e 22, de acordo com a probabilidade e duração da presença de poeiras combustíveis.

Posteriormente, com a ajuda do responsável interno foi realizada a identificação dos perigos e avaliação do risco de explosão (Apêndice II), utilizando a metodologia da análise por matrizes adotada pela empresa. Esta análise incluiu a avaliação da frequência de formação de atmosfera explosiva, da frequência da fonte de ignição e da gravidade, permitindo a atribuição de uma categoria de risco a cada área ou equipamento analisado.

Como complemento à análise obtida, foi utilizada uma lista de verificação de apoio à avaliação do risco (Apêndice III) preenchida com o contributo da orientadora da empresa, permitindo validar práticas internas, procedimentos operacionais e medidas de prevenção já implementadas.

A fase final do estágio constituiu na contribuição para estruturação do manual de proteção para atmosferas explosivas da sala de silos (conforme consta no Apêndice IV).

3.2. Cronograma de atividades

Tabela 1 - Cronograma de atividades

Atividade	Semanas (referente ano 2025)			
	35-38	39-44	44-46	47-50
Pesquisa de informação temática, consulta de legislação existente, integração no tema	X			
Reconhecimento do local de estágio, integração no ambiente industrial e linhas de fabrico, inventariação dos equipamentos, reconhecimento dos locais e das rotinas dos operadores, observação	X			
Levantamento fotográfico de componentes Atex		X	X	
Identificação de zonas da sala de silos		X	X	
Registo e execução de apêndices com as fotos dos registos fotográficos		X	X	
Identificação de pontos críticos/riscos			X	
Planeamento e estruturação da proposta do manual ATEX				X
Consolidação de registos fotográficos e repetição de fotos elegíveis			X	
Preparação de sugestões de melhoria atividades				X
Investigação temática		X	X	X

4. Fundamentação das Atividades Realizadas

4.1. Enquadramento metodológico do estágio

O estágio foi desenvolvido com base numa metodologia de carácter prático, adequada aos objetivos de um relatório de estágio em Segurança e Higiene no Trabalho. O trabalho centrou-se na avaliação do risco de atmosferas explosivas na sala de silos de farinha e no apoio à contribuição da estruturação de um manual de proteção ATEX para essa área específica.

A metodologia aplicada não foi desenvolvida no âmbito do estágio, tendo sido previamente utilizada pela empresa em avaliações ATEX noutras áreas similares, com apoio de uma entidade externa especializada. A sua aplicação permitiu assegurar coerência com os procedimentos internos existentes e garantir critérios comparáveis entre diferentes áreas da organização.

A abordagem seguida baseou-se nos princípios gerais de prevenção contra explosões assentes na identificação de perigos, avaliação do risco e definição de medidas de prevenção e proteção adequadas ao nível de risco identificado (NP EN 1127-1:2014).

A elaboração do documento teve em consideração os requisitos estabelecidos na Diretiva 1999/92/CE, transposta para a legislação nacional, assegurando o cumprimento das obrigações legais aplicáveis em matéria de proteção contra explosões.

O manual de proteção ATEX constitui, assim, uma ferramenta de apoio à gestão do risco de explosão da empresa, permitindo sistematizar informação relevante e contribuir para a melhoria contínua das condições de segurança e saúde no trabalho.

4.2. Caracterização da área em estudo

A avaliação do risco de explosão incidiu exclusivamente sobre a sala de silos de farinha descrita no capítulo 1.3, considerada uma área crítica do ponto de vista ATEX devido à presença de poeiras combustíveis e ao elevado grau de confinamento.

Foram considerados todos os equipamentos e componentes suscetíveis de contribuir para a formação de atmosferas explosivas ou de atuar como potenciais fontes de ignição, incluindo silos, sistemas de transporte pneumático, senfins, motores, válvulas, filtros, sensores, painéis elétricos e sistemas auxiliares.

A identificação e inventariação dos equipamentos analisados encontram-se apresentadas no Apêndice II, que integra a verificação de conformidade ATEX e da

respetiva marcação, de acordo com a Diretiva 2014/34/EU e do Decreto Lei n.º 111-C/2017.

4.3. Identificação de perigos associados a atmosferas explosivas

A identificação de perigos constituiu a primeira etapa da avaliação de risco ATEX, tendo como finalidade reconhecer situações capazes de originar atmosferas explosivas, ou proporcionar fontes de ignição eficazes, conforme estabelecido na NP EN 1127-1:2014. No caso das poeiras de farinha, foi considerado o risco inerente à suspensão de partículas combustíveis no ar, uma vez que este tipo de poeira apresenta características de inflamabilidade que favorecem a propagação rápida de uma explosão quando existe uma fonte de ignição adequada (Eckhoff, 2009).

Foram considerados perigos associados à libertação e acumulação de poeiras de farinha, bem como perigos relacionados com equipamentos elétricos e mecânicos, postos de abastecimento manual, operações de manutenção e condições anómalas de funcionamento em conformidade com as orientações técnicas descritas na NFPA, 652 (NFPA 652, 2019).

Além disso, foram incorporados fatores já destacados pela investigação recente, que demonstra que a combinação entre poeiras combustíveis dispersas e fontes de ignição de baixa energia constituem um cenário típico na génese de explosões industriais, justificando uma caracterização minuciosa dos perigos presentes (Skjold & Eckhoff, 2016).

A identificação dos perigos nesta etapa baseou-se na observação direta dos processos, na análise de documentação técnica, na consulta de artigos de investigação e na análise de registos disponibilizados pela empresa, em linha com os princípios de identificação sistemática de perigos previstos nos sistemas de gestão de segurança e saúde no trabalho (ISO 45001:2018).

4.4. Fundamentação da análise de risco de explosão (metodologia ATEX)

A avaliação do risco de explosão na sala de silos foi realizada através de uma metodologia de análise pelo método das matrizes, muito utilizada em engenharia de segurança para avaliação de riscos tecnológicos industriais (Bartknetch, 1989).

Esta metodologia baseia-se na combinação de três parâmetros (Amyotte, 2010):

- Frequência de formação de atmosfera explosiva (Fe);

- Frequência da fonte de ignição (Fi);
- Gravidade das consequências (G).

A frequência de formação da atmosfera explosiva (Fe) foi determinada com base na probabilidade e duração de presença de poeiras combustíveis em suspensão no ar, considerando a classificação das zonas ATEX da sala de silos de acordo com os critérios da NP EN 1127-1:2014.

A classificação das zonas em 20, 21 ou 22 reflete diferentes níveis de probabilidade de ocorrência de atmosferas explosivas durante o funcionamento normal e operações previsíveis, como enchimento, descarga e transporte da farinha (Eckhoff & Li, 2021).

A frequência da fonte de ignição (Fi) correspondeu à probabilidade de existência de uma fonte de ignição eficaz em cada equipamento ou local avaliado, tendo sido consideradas superfícies quentes, eletricidade estática, faíscas mecânicas e falhas elétricas (Eckhoff, 2003). A avaliação deste parâmetro foi realizada de forma qualitativa, através de uma classificação em três níveis (a, b e c), em função do grau de controlo existente (Amyotte, 2010).

A combinação entre a frequência de formação de atmosferas explosivas e a frequência de fontes de ignição permitiu determinar a frequência de ocorrência de um evento explosivo, através de uma matriz de simultaneidade. De acordo com o princípio fundamental de que o risco apenas se materializa quando coexistem simultaneamente uma atmosfera explosiva e uma fonte de ignição eficaz (Bartknecht, 1989).

A gravidade das consequências (G), foi avaliada considerando fatores como a presença humana, o grau de confinamento, as características explosivas da poeira e a possibilidade de ocorrência de efeitos em cadeia (Amyotte & Eckhoff; 2010).

A combinação da frequência de ocorrência com a gravidade permitiu a atribuição de uma categoria final de risco (baixo, médio ou elevado), possibilitando a hierarquização dos riscos identificados e a definição de prioridades de intervenção (conforme demonstrado no Apêndice II), em conformidade com Decreto-Lei n.º 236 de 2003 (Decreto-Lei n.º 236 de 2003).

4.5. Classificação de zonas com risco de explosão

A classificação das zonas ATEX foi realizada com base na frequência e duração da presença de atmosferas explosivas, de acordo com os critérios definidos na EN 60079-10-2 de 2015.

Foram identificadas zonas 20, 21 e 22, em função da probabilidade de formação de nuvens de poeira de farinha durante o funcionamento normal e em situações previsíveis de funcionamento anómalo dos processos (NP EN 60079-10-2:2015).

As zonas foram classificadas conforme a frequência e duração da presença da atmosfera explosiva.

Tabela 2 - Classificação de zonas da sala de silos

Localização	Classificação Zona
Interior dos silos e filtros	Zona 20
Área envolvente aos pontos de descarga	Zona 21
Piso da sala e zonas adjacentes a condutas	Zona 22

Esta classificação constitui um elemento essencial para a seleção de equipamentos adequados e para a definição de medidas de prevenção (Diretiva 1999/92/CE).

4.6. Definição de medidas de prevenção e proteção

As medidas de prevenção e proteção foram definidas de acordo com a hierarquia de controlo de risco, privilegiando a eliminação do risco na origem sempre que tecnicamente possível (NP EN 1127-1:2014).

Foram consideradas medidas de ordem técnica, organizacional e de proteção coletiva, incluindo a utilização de equipamentos certificados ATEX, o controlo de fontes de ignição, a limpeza industrial sistemática e a implementação de programas de manutenção preventiva (NFPA, 652; 2019; Eckhoff & Li, 2021).

Estas medidas tiveram em consideração a compatibilidade com os processos produtivos existentes e as boas práticas de segurança aplicáveis à indústria de panificação automatizada.

4.7. Elaboração do manual de proteção em atmosferas explosivas

A contribuição para a estruturação do manual de proteção em atmosferas explosivas constitui o principal resultado prático do estágio desenvolvido. Esta contribuição baseou-

se na informação recolhida ao longo da avaliação do risco ATEX realizada na sala de silos e na análise das condições reais de funcionamento da instalação.

O documento foi estruturado de forma a permitir uma aplicação prática no contexto da empresa, integrando a caracterização da área, a identificação dos perigos associados às poeiras combustíveis, a classificação de zonas ATEX e o inventário dos equipamentos existentes com indicação da respetiva conformidade e marcação ATEX.

5. Discussão Legal e Científica das Atividades Realizadas

As atividades desenvolvidas durante o estágio enquadram-se nos requisitos legais e técnicos aplicáveis à prevenção de atmosferas explosivas em ambientes industriais com poeiras combustíveis, em particular na indústria de panificação. A análise de acidentes industriais demonstra que falhas na aplicação prática das medidas de prevenção continuam a ser uma causa frequente de explosões de poeiras (Tomaz & Góis, 2019). Estudos de caso na indústria confirmam a relevância da correta implementação das diretivas ATEX para prevenção de acidentes graves (Rocha, 2016).

A avaliação do risco ATEX realizada na sala de silos de farinha baseou-se numa metodologia já utilizada pela empresa, o que permitiu garantir a coerência com avaliações anteriores e facilitar a operação prática dos resultados. Do ponto de vista legal, a abordagem seguida está de acordo com o Decreto-Lei n.º 236/2003, que transpõe a Diretiva 1999/92/CE, estabelecendo a obrigatoriedade de identificar perigos, avaliar riscos de explosão, classificar zonas perigosas e definir medidas de prevenção adequadas. As atividades realizadas responderam a estes requisitos, nomeadamente através de classificação de zonas ATEX e da definição de medidas técnicas e organizacionais ajustadas à área em estudo.

Relativamente aos equipamentos, foi verificada a conformidade com a Diretiva 2014/34/EU e com o Decreto-lei n.º 111-C/2017, assegurando que os equipamentos instalados se encontram certificados para a utilização em atmosferas potencialmente explosivas. Este aspeto é particularmente relevante em áreas com poeiras combustíveis, uma vez que os equipamentos podem constituir fontes de ignição se não forem adequados às zonas onde estão instalados.

Do ponto de vista técnico e científico, a metodologia aplicada baseia-se nos princípios descritos na literatura sobre explosões de poeiras, nomeadamente a necessidade de coexistência entre atmosfera explosiva e fonte de ignição, bem como na consideração do confinamento, da dispersão da poeira e da possibilidade de explosões secundárias conforme mencionado por diversos autores.

Guias técnicos nacionais reforçam que a eficácia da prevenção depende da adaptação das exigências legais à realidade de cada instalação industrial (ACT, 2018). A contribuição para a estruturação do manual de proteção contra atmosferas explosivas resultou da informação recolhida durante o estágio e a avaliação de riscos efetuada. Este documento fornece apoio à gestão de risco ATEX na empresa, permitindo organizar procedimentos, responsabilidades e medidas de prevenção, em linha com os sistemas de gestão de segurança e saúde no trabalho.

Apesar da conformidade geral observada com os requisitos legais e normativos, verificaram-se algumas fragilidades práticas na sala de silos, sobretudo relacionadas com a acumulação pontual de poeiras em zonas de difícil acesso e com a variabilidade das rotinas de limpeza, aspetos frequentemente identificados como potenciadores de risco em instalações com poeiras combustíveis (Eckhoff, 2009). Embora os equipamentos instalados sejam certificados, a eficácia das medidas depende, na prática, da consistência das operações de manutenção e da disciplina operacional no quotidiano da fábrica. Este desafio é referido na literatura, onde se observa que a implementação das medidas ATEX tende a ser mais vulnerável nos aspetos organizacionais do que nos aspetos técnicos (Tomaz & Góis, 2019). Assim, o manual elaborado assume relevância acrescida ao clarificar procedimentos e reforçar a necessidade de uniformização das práticas internas.

6. Reflexão Crítica

O estágio realizado permitiu a aplicação prática de conhecimentos teóricos na área da Segurança e Higiene no Trabalho, em particular na avaliação do risco de atmosferas explosivas por poeiras combustíveis numa sala de silos de farinha da indústria de panificação. O contacto direto com o contexto industrial revelou-se uma ferramenta para a compreensão dos fatores técnicos, organizacionais e operacionais associados à gestão do risco ATEX.

A metodologia utilizada foi selecionada por se encontrar já implementada e validada na empresa, permitindo uma abordagem estruturada, coerente e alinhada com as práticas internas existentes. A sua aplicação facilitou a análise do risco, assegurou uniformidade de critérios e contribuiu para a obtenção de resultados tecnicamente consistentes e diretamente aplicáveis à realidade da instalação.

O âmbito do trabalho incidiu exclusivamente sobre a sala de silos de farinha, considerada uma área crítica do ponto de vista ATEX devido ao confinamento, à presença permanente de poeiras combustíveis e à natureza das operações realizadas. Embora esta delimitação tenha permitido uma análise detalhada e aprofundada da área em estudo, os resultados obtidos não são extensíveis de forma direta, a outras zonas da unidade industrial com características operacionais distintas.

O desenvolvimento do estágio evidenciou a importância de uma abordagem integrada à prevenção do risco de explosão, na qual as medidas técnicas devem ser complementadas por procedimentos operacionais adequados, programas de manutenção preventiva e práticas de limpeza eficazes. Ficou referenciado que a gestão do risco ATEX depende não apenas da conformidade dos equipamentos, mas também da consistência das práticas organizacionais e no envolvimento ativo dos trabalhadores.

Do ponto de vista formativo, o estágio contribuiu para o desenvolvimento de competências na identificação de perigos, avaliação de riscos, interpretação do enquadramento legal e normativo e elaboração de documentação técnica aplicada à segurança e saúde no trabalho. A experiência adquirida permitiu consolidar conhecimentos e compreender os desafios reais associados à aplicação prática das exigências ATEX em contexto industrial.

De forma geral, considera-se que os objetivos gerais definidos para o estágio foram alcançados, tendo sido possível realizar a avaliação do risco ATEX na área em estudo e na contribuição para a estruturação de um manual de proteção de atmosferas explosivas com aplicação prática. O trabalho desenvolvido constituiu um contributo para

a gestão do risco ATEX na empresa, servindo como base para futuras revisões ou extensões da avaliação a outras áreas da instalação.

7. Proposta de Trabalho de Investigação na Área

O trabalho desenvolvido ao longo do estágio confirmou a importância prática da gestão do risco de atmosferas explosivas associadas a poeiras combustíveis na indústria de panificação, evidenciando simultaneamente a necessidade de aprofundar o conhecimento técnico e científico nesta área. A avaliação realizada na sala de silos de farinha permitiu identificar fatores críticos relacionados com a formação de atmosferas explosivas, a presença de fontes de ignição e eficácia das medidas de prevenção e proteção existentes.

A análise desenvolvida no âmbito de estágio, com base nas metodologias operacionais utilizadas pela empresa, evidenciou igualmente que a avaliação do risco de explosão por poeiras combustíveis, de um modo geral, continua a apresentar limitações metodológicas relevantes, particularmente no que respeita à consistência dos critérios utilizados para identificar perigos, classificar zonas ATEX e priorizar medidas de controlo. Apesar da existência de enquadramento legal, normas técnicas e orientações metodológicas, a literatura técnica refere que os resultados da avaliação do risco ATEX podem variar significativamente em função da metodologia adotada e da interpretação do avaliador, influenciando diretamente sobre as decisões ao nível da prevenção de proteção contra explosões (Eckhoff, 2009).

Estas limitações são especialmente relevantes em ambientes industriais com elevada variabilidade operacional, como é o caso das indústrias de panificação, onde as características das poeiras, os modos de operação e as condições de limpeza e manutenção podem diferir significativamente entre áreas com funções semelhantes. Neste contexto, a avaliação do risco tende, na prática, a assumir um carácter predominantemente qualitativo, suportado por princípios normativos, mas com reduzida comparabilidade entre diferentes avaliações.

A investigação poderia basear-se numa abordagem comparativa entre metodologias qualitativas e semi-quantitativas descritas na literatura técnica e enquadradas pelas normas aplicáveis. As metodologias qualitativas assentam na identificação sistemática dos perigos, fontes de ignição e condições de formação de atmosferas explosivas, recorrendo à análise documental, observação no local e utilização de listas de verificação, de acordo com os princípios estabelecidos na NP EN 1127-1 e na NP EN 60079-10-2.

Por sua vez, as metodologias semi-quantitativas permitem estruturar a avaliação do risco através da combinação de critérios relacionados com a probabilidade de ocorrência e a gravidade das consequências, possibilitando a hierarquização dos riscos

identificados e o apoio à definição de prioridades de intervenção. A aplicação destas metodologias a áreas operacionais com características semelhantes permitiria comparar os resultados obtidos ao nível da identificação de perigos, da classificação de zonas ATEX e da definição de medidas de prevenção e proteção, evidenciando as vantagens e limitações de cada abordagem.

A pertinência desta proposta de investigação sustenta-se, por um lado, na variabilidade das características das poeiras alimentares e das condições operacionais existentes na indústria de panificação e, por outro, no impacto que a escolha da metodologia de avaliação do risco pode ter nas decisões relacionadas com prevenção e proteção contra explosões. A realização deste estudo poderia contribuir para o desenvolvimento de orientações práticas baseadas na evidência, promovendo uma maior consistência técnica na gestão do risco ATEX em contexto industrial (Eckhoff, 2009).

No âmbito da investigação proposta, a aplicação das diferentes metodologias de avaliação do risco ATEX poderia ser desenvolvida com base numa abordagem faseada e comparativa, incidindo sobre áreas operacionais com características semelhantes. Numa primeira fase, a avaliação qualitativa seria conduzida de acordo com os princípios estabelecidos nas normas aplicáveis, privilegiando a identificação sistemática dos perigos, das potenciais fontes de ignição e das condições suscetíveis de originar atmosferas explosivas por poeiras combustíveis. Esta abordagem permitiria estabelecer uma base comum de análise, alinhada com os requisitos normativos, servindo como referência para comparação com outras metodologias.

Como complemento, poderiam ser utilizadas ferramentas de apoio à avaliação, tais como listas de verificação, estruturadas a partir dos requisitos normativos e das boas práticas de segurança, com o objetivo de reforçar a consistência da identificação de perigos e reduzir a dependência exclusiva da experiência individual do avaliador. A utilização destas ferramentas poderia igualmente avaliar o grau de conformidade das medidas de prevenção existentes face aos princípios definidos nas normas técnicas aplicáveis.

Numa fase subsequente, a avaliação do risco poderia ser complementada por metodologias semi-quantitativas, baseadas na combinação de critérios associados à probabilidade de ocorrência e à gravidade das consequências, recorrendo a matrizes de risco adaptadas ao contexto das atmosferas explosivas por poeiras combustíveis.

A aplicação das diferentes metodologias às mesmas áreas operacionais permitiria comparar os resultados obtidos ao nível da identificação de perigos, da classificação das zonas ATEX e da seleção das medidas de prevenção e proteção, permitindo

evidenciar eventuais divergências e limitações associadas a cada abordagem (Eckhoff, 2009).

8. Referências Bibliográficas

- Abbasi, T., & Abbasi, S.A. (2007). Dust explosions: Cases, causes, consequences, and control, *Journal of Hazardous Materials*, 140(1-2), 7-44. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.007>
- ACT-Autoridade para as condições de Trabalho. (2018). *Guia técnico sobre atmosferas explosivas (ATEX)*.
- ACT-Autoridade para as condições de Trabalho. (2019). *Sistemas de gestão de segurança e saúde no trabalho. Orientações técnicas*.
- ACT-Autoridade para as condições de Trabalho. (2020). *Guia de boas práticas para a aplicação da Diretiva 1999/92/CE*.
- Amyotte, P. R. (2013). An overview of dust explosion incidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(4), 687-694. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.03.004>
- Amyotte, P. R., & Eckhoff, R. K. (2010). Dust explosions causation, prevention and mitigation: Na overview, *Journal of Chemical Health and Safety*, 17(1), 15-28. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2009.05.002>
- Amyotte, P., & Pegg, M. (1989). Lycopodium dust explosions in a Hartmann bomb: Effects of turbulence. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2, 87-94. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(89\)80004-X](https://doi.org/10.1016/0950-4230(89)80004-X)
- Amyotte, P., Pegg, M., & Khan, F. (2009). Application of inherent safety principles to dust explosions prevention and mitigation. *Process Safety and Environmental Protection*, 87, 35-39. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2008.06.007>
- Bartknecht, W. (1989). *Dust Explosions. Course, prevention, protection*. Springer-Verlag.
- Birk, A., & Amyotte, P. (2019). Dust explosions: A serious concern. In *Methods in Chemical Process Safety* (pp. 33-69). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.mcps.2019.04.001>

- Campos, J. A. (1984). *A explosão de suspensões de poeiras*. Publicação apresentada na 1ª reunião da secção Portuguesa do Instituto de Combustão, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Secção Autónoma de Engenharia Mecânica.
- Cashdollar, K. L. (1996). Coal dust explosibility. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 9, 65-76. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(96\)00010-1](https://doi.org/10.1016/0950-4230(96)00010-1)
- Cashdollar, K. L. (1998). Dust explosions overview, *International Colloquium on Dust Explosions*, 1-25.
- Cauvain, S. (2015). *Technology of breadmaking* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>
- Cauvain, S., & Young, L. (2009). *The ICC handbook of cereals, flour, dough & product testing*. Woodhead Publishing.
- Comissão Europeia. (CE) (2003). *Guia de boas práticas não vinculativo para a aplicação da diretiva 1999/92/CE "ATEX"*.
- Dahoe, A., Pegg, M., Cant, R., & Scarlett, B. (2001). On the transient flow in the 20-liter explosion sphere, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 14(6), 475-487. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(01\)00052-3](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(01)00052-3)
- Decreto-Lei n.º 236/2003, de 30 de setembro. *Diário da República*, 226/2003 – I Série.
- Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro. *Diário da República*, 39/2005 – I Série.
- Decreto-Lei n.º 111-C/2017, de 31 de agosto. *Diário da República*, 167/2017 – I Série.
- Di Benedetto, A., & Russo, P. (2007). Dust dispersion behavior in pneumatic transport systems, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20,421-430. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.04.001>
- Diretiva 2014/34/EU do parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de fevereiro de 2014.
- DGUV- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (s.d). *GESTIS-DUST-EX: Database on combustible dusts – Manual* (45th ed). Institute for Occupational Safety and Health (IFA).

- Eckhoff, R. K. (2003). Dust explosions in the process industries: *Identification, assessment and control of dust hazards* (3rd ed.). Gulf Professional Publishing.
- Eckhoff, R. K. (2005). Understanding dust explosions. *Chemical Engineering Progress*, 101(10), 36-45.
- Eckhoff, R. K. (2009). Understanding dust explosions. The role of powder science and technology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22 (1), 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.07.006>
- Eckhoff, R. K. (2015). Scaling of dust explosion violence from scale to full industrial scale. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36, 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.12.020>
- Eckhoff, R. K. (2019). Measuring hot-surface minimum ignition temperatures of dust clouds. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 59, 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.02.003>
- Eckhoff, R. K., & Li, G. (2021). Industrial dust explosions: A brief review. *Applied Sciences*, 11(4), 1669. <https://doi.org/10.3390/app11041669>
- Eckhoff, R. K., Pedersen, G. H., & Arvidsson, T. (1988). Ignitability and explosibility of polyester/epoxy resins. *Journal of Hazardous Materials*, 19(1), 1-16. [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(88\)85070-2](https://doi.org/10.1016/0304-3894(88)85070-2)
- HSE – Health and Safety Executive. (2013). *Safe handling of combustible dusts: Precautions against explosions*.
- International Organization for Standardization (2018). Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use (ISO 45001:2018).
- IPQ – Instituto Português da Qualidade (2015) NP EN 60079-10-2:2015. *Atmosferas Explosivas – Classificação de zonas – Parte 10-2: Atmosferas de poeiras combustíveis*.
- IPQ – Instituto Português da Qualidade (2014) NP EN 1127-1:2014. *Atmosferas explosivas – Prevenção e proteção contra a explosão – Parte 1: Conceitos fundamentais e metodologia*. Instituto Português da Qualidade.

- Kuracina, R., Sabová, S., & Buranksa, E. (2019). Study of explosion characteristics of the wheat flour dust clouds in dependence on particle size distribution. *Acta Chimica Slovaca*, 12(1), 27-32. <https://doi.org/10.2478/rput-2019-0007>
- Martinelli, A., Salamon, F., Scapellato, M. L., Trevisan, A., Vianello, L., Bizzotto, R., Crivellaro, M.A., & Carrieri, M. (2020). Occupational exposure to flour dust. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5182. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145182>
- Nagy, J., & Verakis, H. (1983). *Development and control of dust explosions*. Routledge.
- National Fire Protection Association (2019) NFPA 652. *Standard on the fundamentals of combustible dust*. (2019 ed.). NFPA
- Organização Internacional do Trabalho (2022). *Segurança e saúde no trabalho. Fundamentos para a ação*. OIT.
- Perelli, S. (2023). *Analysis of dust fires and explosions in the food processing industry*. *Chemical Engineering Transactions*, 104, 169-175. <https://doi.org/10.3303/CET23104029>
- Pólka, M., & Ptak, S. (2019). Preventing air connected to the explosion of different types of flours. *Sustainability*, 11(24), 7256. <https://doi.org/10.3390/su11247256>
- Proust, C. (1996). Dust explosions in pipes: A review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 9, 267-277. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(96\)00010-1](https://doi.org/10.1016/0950-4230(96)00010-1)
- Rocha, V. (2016). Explosão de pó em indústrias: Estudos de casos. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil. <https://182.202.79.107/download/explosão-de-po-em-industrias-estudos-de-caso.pdf>
- Russo, P., De Rosa, A., & Mazzaro, M. (2017). Silo explosion from smoldering combustion: A case study. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 95(9), 1721-1729. <https://doi.org/10.1002/cjce.22815>
- Saeed, A. A. H., Saimon, N. N., Alias, M. W., Kidam, K., Jusoh, Y. M., Jusoh, M., & Zakaria, Z. Y. (2018). Effect of particle size on the explosive characteristics of grain

(wheat) starch. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 571-576.
<https://doi.org/10.3303/CET1863096>

Skjold, T. & Eckhoff, Rolf, K. (2016). Dust Explosions in the Process Industries: Research in the Twenty-first Century. *Chemical Engineering Transactions*, 48, 337-342.
<https://doi.org/10.3303/CET1648057>

Tomaz, V., & Góis, J. (2019). Explosões de poeiras: Uma visão geral. 5.º *Congresso Ibero-Americano de Segurança e Saúde no Trabalho (CILASCI)*, Porto.

Viegas, C., Faria, T., Caetano, L. A., Carolino, E., Quintal-Gomes, A., Twaružek, M., Kosicki, R., & Viegas, S. (2019). Characterization of occupational exposure to fungal burden in Portuguese bakeries. *Microorganisms* 7(8), 234.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms7080234>

Yuan, Z., Kharkzad, N., Khan, F., & Amyotte, P. (2015). Dust explosions: A threat to the process industries. *Process Safety and Environmental Protection*, 98, 57-71.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.06.008>




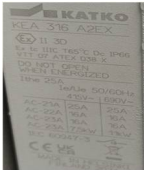
Zhao, J., Tang, G., Wang, Y., & Han, Y. (2020). Explosive property and combustion Kinetics of grain dust with different particle sizes. *Heliyon*, 6(3), e03457.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03457>

Apêndice I – Inventário e Verificação de Conformidade dos Componentes ATEX

Este apêndice apresenta o inventário completo dos equipamentos, componentes e dispositivos instalados na Sala de Silos de Farinha, abrangendo sistemas de armazenamento (silos), transporte pneumático, filtração, ventilação e controlo, todos devidamente certificados para utilização em atmosferas potencialmente explosivas (poeiras combustíveis).

A informação recolhida baseia-se em inspeção direta in loco, fotografia das etiquetas de identificação e verificação das marcações ATEX, confirmando a conformidade com as normas harmonizadas aplicáveis.

Tabela 3 - Inventário e componentes dos silos grandes de armazenamento

Equipamento	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
	Motor	19		II 3D Ex tc III T135°C Dc II 2D Ex tb III C Tx Db IP 68 Ex tb III C Tx Db IP 66 ITS 17 ATEX 102020 X IECEx ITS 170030 X II 3 Ex tc III C T 100°C Dc
	Medidor de nível	5		II ½ D Ex ta/tb III C T Da/Db BVS 11 ATEX E O 55 X
	Disjuntores (interruptor ON/OFF)	15		II 3D Ex tc III T65°C Dc IP66 VTT 07 ATEX 038 X
	Atuador Pneumático (ON/OFF)	4		II 3D Exh III C T135°C Dc Tamb -5°C/40°C




Equipamento	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
	Controlador pneumático	5		II 3D 135°C (T4)
	Componente de posicionamento sacos	5		II 3 D Ex h IIIB T85°C Dc III Dc T 85°C x
	Caixa de junção	6		II2G Ex eb IIC T6... T5 Gb II2D Ex tb IIIC T80°C...T95°C Db

Tabela 4 - Inventário e componentes do silo abastecimento linha de produção


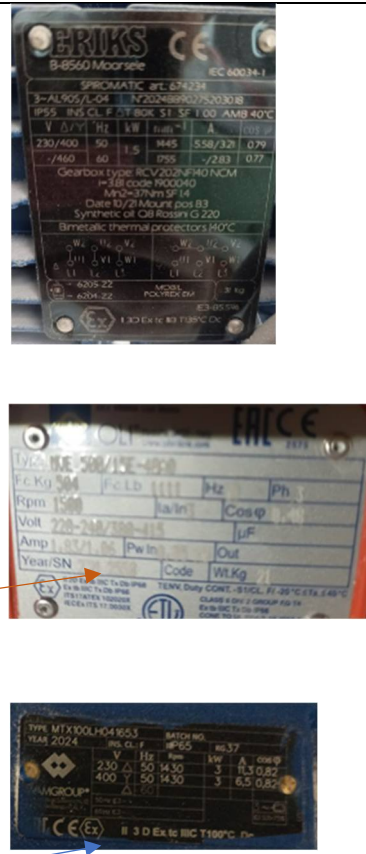
Equipamento	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
Silo Abastecimento Linha Produção 	Motor	2		II 3D Ex tc III B T135°C Dc II 2D Ex tb III C Tx Db IP 68 Ex tb III C Tx Db IP 66 ITS 17 ATEX 102020 X IECEX ITS 170030 X II 3D Ex tc III C T100°C Dc
	Medidor de nível	3		II ½ D Ex ta/tb III C T Da/Db BVS 11 ATEX E O 55 X
	Disjuntores (interruptor ON/OFF)	3		II 3D Ex tc III T65°C Dc IP66 VTT 07 ATEX 038 X
	Caixa de junção	1		II2G Ex eb IIC T6... T5 Gb II2D Ex tb IIIC T80°C...T95°C Db

Tabela 5 - Inventário e componentes dos silos pequenos








Área de Localização na sala	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
Silos pequenos (total 6) 	Motor	12		II 3D Ex tc III T135°C Dc II 3D Ex tc III B T135°C Dc II 3D Ex tc III T130°C D
	Medidor de nível	18		II ½ D Ex ta/tb III C T Da/Db BVS 11 ATEX E O 55 X
	Disjuntores (interruptor ON/OFF)	7		II 3D Ex tc III T65°C Dc IP66 VTT 07 ATEX 038 X
	Controlador pneumático (válvula fech/abert)	1		II 3D Ex h III C T 135°C Dc Tamb -5°C/40°C
	Air Torques	2		II2G Ex h II C T6...T5 Gb II2D Ex h III C T85°C T95°C Db x

Tabela 6 - Inventário e componentes dos quadros elétricos e pneumáticos

Equipamento	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
<i>Quadros elétricos e pneumáticos</i>		1		II 3 D Ex tc III B T 125°C Dc
	<i>Quadro geral controlo pneumático</i>	1		II 3D Ex tc III B T 125°C Dc
		1		II 3 D Ex tc III B T 125°C Dc
		1		II 3D Ex tc III B T 125°C Dc
	<i>Spirocool</i>	1		II 3 D Ex tc III B T 125°C Dc
<i>Quadro big bag</i>	2			II 3 D Ex tc III B T 125°C Dc






		1		II 3 D Ex tc III B T 125°C Dc
		1		II 3D Ex tc III B T 125°C Dc
	Quadro pneumático	1		II 3D Ex tc III B T 125°C Dc
Quadros elétricos e pneumáticos (continuação)		1		II 3D Ex tc III B T 125°C Dc
		1		II 3D Ex tc III B T 125°C Dc

Tabela 7 - Inventário e componentes das luminárias

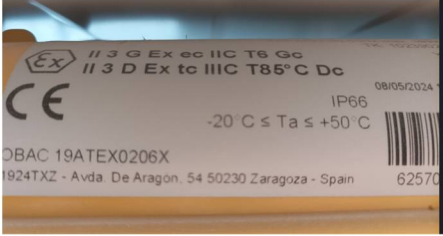
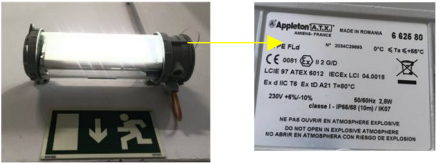
Equipamento	Tipo de equipamento	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
Sala dos Silos	LUMINÁRIAS TECTO	7		II 3 D Ex tc IIIC T 85°C Dc
	LUMINÁRIAS SAÍDAS EMERGÊNCIA	2		II 2 G/D Ex d IIC T6 Ex tD A21 T=80°C 230V +6%/10% 50/60Hz 2,8W Classe I- IP66/68(10m) /IK07

Tabela 8 - Inventário e componentes dos silos exteriores



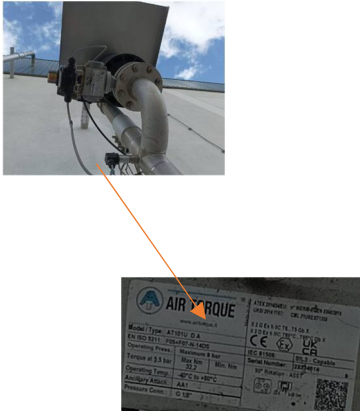
Equipamento	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
Silos exteriores Exterior das instalações (abastecimento de cisternas)		2		
				
	Disjuntores (interruptor ON/OFF)	2		II 3D Ex tc III T65°C Dc IP66 VTT 07 ATEX 038 X
	Válvula controlo de pressão	1		Ex II 3D Ex tc IIIC T100°C Dc
	Válvula controlo de pressão	1		II2G Exh Ec T6...T5 Gb X II2D Exh IIIC T 85°C... T95°C Db X

Tabela 9 - Inventário e componentes dos aspiradores




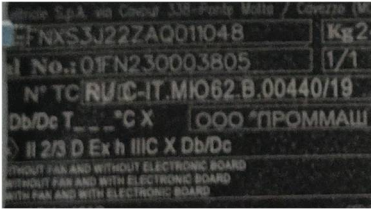


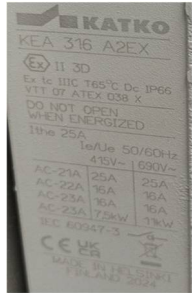

Equipamento	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
Aspiradores 	Motor	2		II 3 Ex tc III C T 100°C Dc
	Disjuntores (interruptor ON/OFF)	2		II 3D Ex tc III T65°C Dc IP66 VTT 07 ATEX 038 X
	Caixa de junção	2		II2G Ex eb IIC T6... T5 Gb II2D Ex tb IIIC T80°C...T95°C Db
	Corpo do aspirador	2		II 2/3 D Ex h IIIC X Db/Dc
	Medidor de nível	1		II ½ D Ex ta/tb III C T Da/Db BVS 11 ATEX E O 55 X

Tabela 10 - Inventário e componentes do arrefecedor de farinha

Equipamento	Componentes dos equipamentos	Quantidade	Foto etiqueta de identificação componente	Categoria de Proteção
	Motor	1		II 3D Ex tc III T135°C Dc
	Disjuntores (interruptor ON/OFF)	1		II 3D Ex tc III T65°C Dc IP66 VTT 07 ATEX 038 X
	Caixa de junção	2		II2G Ex eb IIC T6... T5 Gb II2D Ex tb IIIC T80°C...T95°C Db
	Arrefecedor	1		II 3 D IIIB T135°C
	Medidor de nível	2		II ½ D Ex ta/tb III C T Da/Db BVS 11 ATEX E O 55 X
	Comando Central	1		II 3D Extc III B T 125°C Dc
	Sensor magnético de segurança de fecho portas	4		II 3G Ex ec mc IIC 80°C (T6) II 3D Ex mc tc IIIC T 80°C SEV 12 ATEX 0121 X

Apêndice II – Identificação de Perigos e Avaliação de Risco de Explosão por Poeiras e Combustíveis

O objetivo do Apêndice II é determinar o grau de risco de explosão em função da frequência de ocorrência de uma atmosfera explosiva e da gravidade das consequências associadas.

Metodologia

A metodologia utilizada para a avaliação do risco ATEX é a metodologia de análise sistemática efetuada pelo método das matrizes.

Para cada equipamento/local é atribuída uma frequência (F_e) de ATEX.

Tendo em conta as medidas de prevenção e proteção existentes, sejam elas técnicas ou organizacionais, é calculada a frequência da fonte de ignição (F_i). É posteriormente calculada uma frequência de ocorrência decorrente da simultaneidade de atmosfera explosiva e presença da fonte de ignição.

Tabela 11 - Frequência da fonte de ignição

F_i	DESCRIÇÃO
a	Presença de pelo menos uma fonte de ignição não permanente, existindo medidas de proteção satisfatórias.
b	Presença de fontes de ignição não permanentes, existindo medidas de proteção insuficientes.
c	Presença de várias fontes de ignição ou pelo menos uma permanente, existindo medidas de proteção reduzidas ou inexistentes.

Fonte: Elaboração própria, com base na NP EN 60079-10-2:2015

Tabela 12 - Matriz de atribuição de frequência

F_e	F_i		
	a	b	c
22	A	A	B
21	A	A	C
20	B	C	C

Fonte: Elaboração própria, com base na NP EN 60079-10-2:2015 e na Diretiva 1999/92/CE

Legenda:

A – Não provável B – Provável C – Frequente

O grau de risco da atmosfera explosiva tem em conta a frequência de ocorrência com a gravidade decorrente da mesma.

Tabela 13 - Categoria de gravidade

GRAVIDADE	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
I	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Presença humana apenas em situação de exceção • Confinamento desprezável (área exterior sem construções próximas significativas) • Características do produto (severidade das consequências) relativamente baixas • Reações em cadeia não previsíveis
II	Grave	<ul style="list-style-type: none"> • Presença humana nessa zona em curtos períodos de tempo que se repetem • Confinamento médio (área exterior com construções próximas significativas ou zona interior aberta) • Características do produto (severidade das consequências) médias • Reações em cadeia, com danos a abranger a generalidade do local
III	Muito grave	<ul style="list-style-type: none"> • Presença humana nessa zona em longos períodos de tempo • Forte confinamento (zonas interiores fechadas) • Características do produto (severidade das consequências) relativamente elevadas • Reações em cadeia, com danos exteriores ao local

Fonte: Elaboração própria, com base na Diretiva 1999/92/CE e normas da série EN 60079

Tabela 14 - Matriz de risco de explosão

FREQUÊNCIA	GRAVIDADE		
	I	II	III
A	1	1	2
B	1	2	3
C	2	3	3

Fonte: Elaboração própria, com base na legislação ATEX e boas práticas de segurança industrial

Legenda:

1 – Risco Baixo • 2 – Risco Médio • 3 – Risco Elevado

Tabela 15 - Matriz de atribuição de risco

Categoria	Nível de Risco	Descrição
1	Baixo	Situação controlada. Manter monitorização contínua e medidas preventivas existentes.
2	Médio	Devem ser tomadas ações para reduzir a probabilidade ou gravidade.
3	Elevado	Corrigir de imediato. Implementar medidas de proteção adicionais e revisão do processo.

Fonte: Elaboração própria, com base na legislação ATEX e boas práticas de segurança industrial

Tabela 16 - Avaliação de risco na sala de silos

LOCAL	EQUIPAMENTO	Fe	MEDIDAS EXISTENTES	FONTES DE IGNIÇÃO POSSÍVEIS	Fi	FATORES DE AVALIAÇÃO DE GRAVIDADE/CONSEQUÊNCIAS	F	G	R	ACÇÕES RECOMENDADAS
SALA DE SILOS SALA DE SILOS	Silos 32 e 33 e tremonhas enchimento manual	20	Medidores de nível; Equipamentos e componentes Atex; Ligação terra; Controladores de pressão; Electroválvulas de corte; Aspiração; Manutenção regular/preventiva; Disjuntores ON/OFF; Motores com compatibilidade Atex; Atuadores pneumáticos Atex; Componentes de posicionamento de sacos (regulação de posicionamento); Quadro geral pneumático (Atex).	Eletricidade estática. Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Não existe presença humana.	B	I	1	Manter limpeza rigorosa, inspeção a filtros e válvulas rotativas. Identificar e sinalizar a zona.
	Silos 34, 35 e 36 e condutas enchimento automático	20	Medidores de nível; Equipamentos e componentes Atex; Ligação terra; Controladores de pressão; Medidores de nível; Electroválvulas de corte; Aspiração central; Manutenção regular/preventiva; Disjuntores ON/OFF; Quadro elétrico silos (Atex).	Eletricidade estática. Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Não existe presença humana.	B	I	1	Criar procedimento de inspeção e limpeza. Manter limpeza rigorosa do local.

LOCAL	EQUIPAMENTO	Fe	MEDIDAS EXISTENTES	FONTES DE IGNIÇÃO POSSÍVEIS	Fi	FATORES DE AVALIAÇÃO DE GRAVIDADE/CONSEQUÊNCIAS	F	G	R	ACÇÕES RECOMENDADAS
	Silos pequenos SH 30, SH 31, SH32, SH 33, SH 34, SH35 (aprox. 300 kg)	20	Medidores de nível; Equipamentos e componentes Atex; Ligação terra; Controladores de pressão; Electroválvulas de corte; Aspiração central; Manutenção regular/preventiva; Disjuntores ON/OFF.	Eletricidade estática Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Não existe presença humana	B	I	1	Manter limpeza rigorosa, inspeção a filtros e válvulas rotativas. Identificar e sinalizar a zona.
	Aspiradores	20	Disjuntores ON/OFF; Equipamentos e componentes Atex; Motores Atex; Electroválvulas de corte; Ligação terra.	Eletricidade estática Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Não existe presença humana.	B	I	1	Identificar e sinalizar a zona

LOCAL	EQUIPAMENTO	Fe	MEDIDAS EXISTENTES	FONTES DE IGNIÇÃO POSSÍVEIS	Fi	FATORES DE AVALIAÇÃO DE GRAVIDADE/CONSEQUÊNCIAS	F	G	R	ACÇÕES RECOMENDADAS
	Big Bag (capacidade máxima até sacos 1600 kg)	22	Equipamentos e componentes Atex; Ligação terra; Sensores óticos (Atex); Controladores de pressão; Quadro elétrico (Atex) (comando geral); Sensores de nível; Disjuntores ON/OFF; Procedimento de utilização criado e afixado junto do local; Limpeza do local após utilização; Área está devidamente isolada, com grades, o equipamento só funciona se o gradeamento estiver fechado (existe procedimento).	Eletricidade estática. Empilhador/porta paletes não protegido. Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Presença humana nessa zona por curtos períodos (até 20-30 min).	A	II	1	Usar o big bag de acordo com o procedimento criado e afixado. Limpeza periódica e após utilização. Garantir que o responsável pelo manuseio, tem formação adequada para a manipulação do big bag e equipamentos associados. Usar o empilhador e retirá-lo do local (para o exterior da sala de silos), imediatamente após o seu uso. Criar procedimentos e registos de utilizadores do equipamento por cada turno. Criar procedimento de higiene e limpeza do local, para evitar acumulação de pó de farinha).
	Postos de enchimento manual (raio de 1 m)	21	Disjuntores ON/OFF; Equipamentos e componentes Atex; Ligação terra; Limpeza e higiene do local aquando utilização.	Eletricidade estática. Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Presença humana nessa zona por curtos períodos de tempo.	A	II	1	Afixar e criar procedimentos para garantir e reforçar uma correta e eficaz limpeza deste local. Identificar e sinalizar a zona. Eleger por turno um responsável formado, para observação do estado de limpeza e estado geral da sala. Monitorizar e registar as observações e ocorrências verificadas. Formação contínua dos utilizadores.

LOCAL	EQUIPAMENTO	Fe	MEDIDAS EXISTENTES	FONTES DE IGNIÇÃO POSSÍVEIS	Fi	FATORES DE AVALIAÇÃO DE GRAVIDADE/CONSEQUÊNCIAS	F	G	R	ACÇÕES RECOMENDADAS
	Arrefecedor de farinha (pisos superior)	22	Equipamentos e componentes ATEX; Ligação terra; Disjuntores ON/OFF; Sensores magnéticos de deteção de segurança de fecho de porta; (componentes amarelos com marcação ATEX); Comando de corte geral (Atex).	Eletricidade estática. Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Não existe presença humana.	A	I	1	Identificar e sinalizar a zona. Eleger por turno um responsável formado, para observação do estado de limpeza e estado geral da sala no piso superior. Monitorizar e registar as observações. Limpeza periódica.
	Sala de Silos (geral)	22	Zona com climatização forçada (2 Centauros); Arrefece toda a área da sala silos; Frio positivo (temperatura regulada); Aspiração limpeza regular para evitar acumulação de partículas Quadro elétrico geral (ATEX) Manutenção regular/preventiva Procedimentos e instruções de trabalho Deteção de nuvem de poeira.	Eletricidade estática; Empilhador estacionados não protegido; Porta paletes não ATEX, estacionado na sala; Aspiradores (não ATEX) deixados na sala, após utilização; Fricção devido a queda de objetos metálicos.	a	Presença humana em curtos espaços de tempo. Confinamento médio.	A	II	1	Garantir ventilação e procedimentos para uma correta e eficaz limpeza periódica. Sinalização de zonas. Eleger por turno um responsável com formação em ATEX, para observação do estado de limpeza e estado geral da sala. Monitorizar e registar as observações. Sinalização e identificação adequada da zona geral (entrada). Porta paletes, empilhadores e aspiradores devem estar estacionados no exterior da sala de silos.

LOCAL	EQUIPAMENTO	Fe	MEDIDAS EXISTENTES	FONTES DE IGNIÇÃO POSSÍVEIS	Fi	FATORES DE AVALIAÇÃO DE GRAVIDADE/CONSEQUÊNCIAS	F	G	R	ACÇÕES RECOMENDADAS
	Silos exteriores (2 de aprox. 60 toneladas)	20 (interior do silo) 22 (descarga) (não existem fugas de farinha neste local)	Equipamentos e componentes Atex; Ligação terra aquando descarga (com procedimento escrito); Descargas diárias de cisternas de farinha: Pessoal especializado externo identificado e formado em ATEX; Uso de EPI's específicos nas descargas; Controladores de pressão; Electroválvulas de corte; Manutenção regular/preventiva; Sensores de nível e pressão.	Eletricidade estática	a	Não existe presença humana. 1 vez por dia, apenas para descargas (que são efetuadas por profissionais habilitados).	B	I	1	Garantir e documentar registos e procedimentos para uma correta inspeção periódica dos equipamentos. Sinalização e identificação de zonas. Monitorizar e registar os resultados das observações periódicas (quer de limpeza, quer de estado de conservação das condutas).
	Despressurizado r (exterior)	22	Equipamentos e componentes Atex; Disjuntores ON/OFF; Controladores (válvulas) de pressão; Electroválvulas de corte; Manutenção regular/preventiva.	Eletricidade estática	a	Não existe presença humana	A	I	1	Garantir procedimentos para uma correta inspeção periódica. Monitorizar e registar as observações. Sinalização e identificação de zonas.
	Supercompressor r (exterior)	22	Equipamentos e componentes Atex; Controladores (válvulas) de pressão; Electroválvulas de corte; Disjuntores ON/OFF; Manutenção regular/preventiva.	Eletricidade estática	a	Não existe presença humana	A	I	1	Garantir procedimentos para uma correta inspeção periódica. Monitorizar e registar as observações. Sinalização e identificação de zonas.

Apêndice III – Lista de Verificação de Apoio à Avaliação do Risco ATEX na Sala de Silos

1. Identificação Geral

Elemento	Informação
Local / Área	Sala de Silos de Farinha
Equipamentos Observados	Silos, filtros, válvulas, transporte pneumático e senfins, condutas
Presença de Trabalhadores	Presença pontual e por curtos períodos de tempo
Tipo de Poeira Combustível	Farinha de trigo

A lista de verificação foi estruturada com base numa escala de avaliação de 1 a 5, correspondente ao grau de conformidade dos requisitos analisados.

2. Limpeza, Ordem e Controlo de Poeiras

Critério	1	2	3	4	5
Existem acumulações visíveis de poeiras em superfícies horizontais (vigas, condutas, pavimentos)?					
A limpeza é realizada com métodos adequados (aspiração industrial, sem ar comprimido)?					
Existe plano de limpeza periódico documentado?					
As condutas, filtros e ciclones estão livres de entupimentos e poeiras acumuladas?					
A ventilação existente contribui para reduzir a deposição significativa de poeiras?					
Existem produtos combustíveis (óleos alimentares, lubrificantes, solventes) armazenados na área?					
Os produtos combustíveis estão devidamente acondicionados e afastados das zonas classificadas?					

3. Equipamentos e Instalações

Critério	1	2	3	4	5
Os equipamentos instalados são adequados e certificados para utilização em zonas ATEX (marcação Ex)?					
As zonas ATEX estão identificadas e documentadas (mapa de classificação disponível)?					
Os equipamentos elétricos e motores estão selados e conformes à norma EN 60079?					
As ligações à terra e sistemas de equipotencialidade estão verificados e funcionais?					
Existe sistema de deteção e paragem automática em caso de falha ou sobrepressão?					
Os sistemas de ventilação e filtragem possuem manutenção regular registada?					

4. Fontes Potenciais de Ignição

Critério	1	2	3	4	5
Existem superfícies quentes potencialmente acima das temperaturas admissíveis para poeiras combustíveis?					
As instalações elétricas estão protegidas contra faíscas e falhas de isolamento?					
É assegurada a ligação à terra e a prevenção de descargas eletrostáticas?					
Existem pontos de atrito mecânico (rolamentos, correias, válvulas rotativas)?					
São utilizados empilhadores ou equipamentos móveis na área dos silos?					
Se sim, os empilhadores estão certificados para zonas ATEX e com manutenção atualizada?					
É feita inspeção periódica de sistemas de deteção e segurança?					
Sistemas de alívio/ventilação de explosão encontram-se direcionados para o exterior da sala?					

5. Manutenção e Inspeções

Critério	1	2	3	4	5
Existe plano de manutenção preventiva documentado?					
As inspeções ATEX são realizadas por técnicos qualificados (fabricante ou entidade externa credenciada)?					
São registadas as intervenções, falhas e não conformidades?					
É feita substituição programada de filtros, juntas e componentes sujeitos a desgaste?					
Existe registo de calibração e controlo de equipamentos elétricos e sensores?					

6. Formação, Procedimentos e Controlo de Acessos

Critério	1	2	3	4	5
Os trabalhadores receberam formação sobre riscos ATEX e poeiras combustíveis?					
Existem instruções de trabalho e procedimentos escritos para operações e emergências ATEX?					
Controlo de acessos à área e identificação externa?					
Existe controlo de acesso e identificação de pessoas externas à área dos silos?					
As zonas classificadas estão sinalizadas de forma visível?					
Existem registos das formações e das instruções emitidas?					
Existe plano de emergência específico para incidentes ATEX (explosão, incêndio, libertação de poeiras)?					
São realizados simulacros que incluam cenários ATEX?					
O pessoal da área conhece os procedimentos de atuação em caso de emergência?					

1 – Não conforme (ausência total do requisito); 2 – Muito insuficiente (existência pontual, sem controlo); 3 – Parcialmente conforme (implementado de forma incompleta); 4 – Conforme (implementado e funcional); 5- Totalmente conforme (implementado, controlado e eficaz).

Apêndice IV – Manual de Proteção contra Atmosferas Explosivas da Sala de Silos

1. Objetivo

O presente manual tem como objetivo descrever, em contexto académico, os princípios gerais de prevenção e proteção contra atmosferas explosivas na sala de silos de farinha, no âmbito do estágio curricular realizado.

Este documento não substitui avaliações técnicas formais, auditorias legais ou responsabilidades operacionais da empresa, devendo a sua aplicação prática ser assegurada por profissionais qualificados.

2. Âmbito

O manual aplica-se à sala de silos de farinha. Os equipamentos e sistemas incluídos são:

- Silos;
- Sistemas de transporte pneumático e condutas;
- Medidores de nível e equipamentos auxiliares associados.

3. Legislação e Normas aplicáveis

- Decreto-Lei n.º 236/2003 (ATEX 1999/92/CE)
- Diretiva 2014/34/EU relativa a equipamentos destinados a atmosferas explosivas
- NP EN 1127-1:2014 conceitos fundamentais de prevenção e proteção contra explosões;
- NP EN 60079-10-2:2015 classificação de áreas com poeiras combustíveis.

4. Caracterização geral do risco

A farinha é classificada como poeira combustível, podendo formar atmosferas explosivas quando dispersa no ar em determinadas condições de concentração, confinamento e presença de fontes de ignição, conforme descrito na literatura técnica (Eckhoff, 2003; Amyotte & Eckhoff, 2010).

Na sala de silos, o risco está associado principalmente a:

- Libertação de poeiras durante operações de transporte, enchimento e manuseamento;
- Eletricidade estática, fricção mecânica ou equipamentos elétricos.

5. Classificação geral de zonas ATEX

De forme descritiva e de acordo com os critérios normativos:

- Zona 20 – Interior dos silos e filtros, onde a poeira pode estar de forma contínua;
- Zona 21 – áreas adjacentes aos pontos de descarga e transporte, com presença ocasional de poeira em suspensão;
- Zona 22 – Zonas envolventes, onde a poeira pode estar depositada e ser colocada em suspensão em situações anormais.

As classificações detalhadas encontram-se descritos nos apêndices técnicos do relatório.

6. Medidas gerais de prevenção

De forma geral, as medidas de prevenção observadas e descritas durante o estágio incluem:

- Utilização de equipamentos e componentes com marcação ATEX adequada às zonas;
- Ligação à terra, sensores de nível e de pressão;
- Práticas de limpeza pontual.

7. Medidas gerais de proteção

Como medidas de proteção contra os efeitos de uma eventual explosão destacam-se:

- Dispositivos de alívio de pressão nos silos;
- Sistemas de controlo e paragem automática associados ao processo;
- Organização dos equipamentos de forma a reduzir a propagação de efeitos.

A definição, dimensionamento e validação destas medidas são da responsabilidade da empresa e entidades competentes.

8. Formação, procedimentos e sensibilização

A formação dos trabalhadores em matéria de atmosferas explosivas e poeiras combustíveis constitui um elemento essencial da prevenção, incluindo:

- Reconhecimento de zonas ATEX;
- Comportamentos seguros;
- Procedimentos gerais de atuação em situações anormais ou de emergência.

9. Considerações finais

O presente manual reflete uma abordagem académica e descritiva, desenvolvida no âmbito de um estágio curricular, com base na observação e análise documental.

Qualquer implementação prática, revisão técnica ou atualização do conteúdo deverá ser realizada pela empresa, no âmbito do seu sistema de gestão de segurança e saúde no trabalho.