UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GLAUCO PEREIRA DE CASTRO

PROPOSTA DE MONITORAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM EQUIPAMENTOS NÃO ELÉTRICOS ATRAVÉS DE RELÉS MICROPROCESSADOS EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS BASEADOS NA NORMA ISO/IEC 80079-34: 2016

SANTOS/SP

2017

GLAUCO PEREIRA DE CASTRO

PROPOSTA DE MONITORAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM EQUIPAMENTOS NÃO ELÉTRICOS ATRAVÉS DE RELÉS MICROPROCESSADOS EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS BASEADOS NA NORMA ISO/IEC 80079-34: 2016

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Dr. Claudio Rodrigo Torres.

SANTOS/SP

2017

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

620.86
C351p

Castro, Glauco Pereira.
Proposta de monitoração da temperatura de superfície em equipamentos não elétricos através de relés microprocessados em atmosferas explosivas baseados na norma ISO/IEC 80079-34: 2016. Glauco Pereira de Castro. – 2017
n. de f.95

Orientador: Prof. Dr. Claudio Rodrigo Torres

Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2017.

1.Atmosferas explosivas. 2. Segurança. 3. Elementos de controle. 4.Temperatura de superfície. 5. Impacto de falha

I.Torres, C.R., orient.

II. Proposta de monitoração da temperatura de superfície em equipamentos não elétricos através de relés microprocessados em atmosferas explosivas baseados na norma ISO/IEC 80079-34: 2016.

Elaborada pelo SIBi – Sistema integra de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais, irmãs e namorada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus por nos guiar durante a realização deste trabalho, nos abençoando com saúde e força para superar as dificuldades.

Agradecemos especialmente nossos familiares, pela dedicação, incentivo e por incontáveis vezes, nos ceder suas mesas das salas e cozinhas por horas a fio para a realização deste trabalho. E sobretudo ao apoio incondicional que nos possibilita vencer etapas, ter fé e força para continuar nossa jornada.

Ao amigo Roberval Bulgarelli por sua inestimável e incansável contribuição a todos os assuntos que envolvem a atmosfera explosiva, participando ativamente dos assuntos do comitê, constantemente produzindo artigos e compartilhando informações para que as competências pessoais “Ex” possa ser difundida de modo a consolidar a efetiva proteção daqueles que trabalham em ambientes que contenha atmosfera explosiva.

Ao amigo Antônio Carlos Serradas Pontes da Costa por dividir seu vasto conhecimento e experiência no campo de máquinas elétricas sempre com absoluta humildade e excelência. Uma verdadeira referência de pessoa e de saber.

Ao Professor Dr. Claudio Rodrigo Torres, pela dedicação e excelência na função de orientador, oferecendo valorosa contribuição para nortear os momentos de incertezas que cercam trabalhos dessa natureza.

A Thalita Santana meu presente para vida inteira por sempre me apoiar e cobrar (porque ela trabalha com datas) superação e empenho na busca de ser melhor em tudo o que for possível. A melhor parceira que eu poderia encontrar nesta vida, por toda a paciência e companheirismo, não somente neste trabalho, mas em cada passo que damos juntos.

Finalmente, agradecemos a Universidade Santa Cecília, ao corpo docente, por nos oferecer as ferramentas necessárias durante toda a TRAJETÓRIA para o desenvolvimento de um trabalho deste porte, o que certamente nos colocou em um outro patamar.

Não sabendo que era impossível, foi lá e fez.

Jean Cocteau

RESUMO

O estabelecimento de níveis de segurança aceitáveis mostra-se em constante evolução a medida que novas exigências normativas se apresentam ou quando avanços tecnológicos permitem a implantação de novos dispositivos deste cenário. E no pior caso, motivados por providências demandadas após a investigação de incidentes. Diversos países exigem que os processos de certificação dos equipamentos garantam a confiabilidade operacional, sobretudo quando tais dispositivos estão inseridos em instalações que contenham atmosferas explosivas. Embora haja todo um processo de validação dos equipamentos que atendam esses ambientes, se faz necessário que elementos de controle sejam adicionados ao sistema para que as operações nestes equipamentos não se tornem um ponto de ruptura da segurança na instalação. Com esse objetivo de destacar a importância de se aumentar o nível de segurança, foi utilizado os equipamentos do sistema de transporte de insumos e produtos da empresa “x” que processa farinha de soja em suas instalações. Utilizando o impacto de falha de cada conjunto a fim de se determinar os pontos mais significativos em caso de acidente, utilizou-se nesta proposta um sistema para monitoração da temperatura de superfície de redutores comandados por relés multifunção que normalmente é aplicado para controle de motores para também atuar sinalizando e provocando o desligamento do sistema caso os limites máximos de temperatura sejam superados, evitando danos maiores. Baseado em práticas comuns de convergência normativa, este trabalho se vale das normas técnicas internacionais da IEC- *International Eletrotechnical Commission* e ISO - *International Organization for Standardization* que servem de base para as normas nacionais ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas para enquadrar essa monitoração nesta unidade fabril e assim oferecer uma abrangência nos quesitos de segurança referentes a equipamentos não elétricos que operam em ambientes contendo atmosferas explosivas.

Palavras Chave: Atmosferas explosivas. Segurança. Elementos de Controle. Temperatura de superfície. Impacto de Falha.

ABSTRACT

The establishment of acceptable safety levels is constantly evolving as new regulatory requirements arise, or when technological improvement allows the deployment of new safety devices. And in the worst case, such are improvement motivated by actions demanded after the investigation of incidents. A number of countries require equipment certification processes to ensure operational reliability, particularly when such devices are contained in installations containing explosive atmospheres. Although there is a whole process of validation of the equipment that fulfills these environments, it is necessary to add control elements are added to the system so that the operations of these equipments do not become a break point of the security in the installation. With this objective, the equipment of the transport system of inputs and products of the company "x" was used, which processes soybean meal in our facilities. Using the failure impact of each set in order to determine the most significant points in the event of an accident, a system was used to monitor the surface temperature through multi-function relay controlled gear units which is normally applied for motor control to also operate causing the shutdown of the system if the maximum temperature limits are overcome avoiding major damages. Based on common normative convergence practices, this work draws on the international technical standards of the IEC- *International Eletrotechnical Commission* and ISO - *International Organization for Standardization* that serve as the basis for the national ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas standards to frame this monitoring in this plant and thus offer a range of safety aspects related to non-electrical equipment operating in environments containing explosive atmospheres.

Keywords: Explosive atmospheres. Safety. Elements of Control. Surface temperature. Failure impact

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1-1 - Incêndio em armazém de açúcar em Santos. 14
Figura 1.1-2 - Sinalização de área "Ex". 15
Figura 2.4-1 - Comissões de Estudo do Subcomitê SC 31 – COBEI.....23
Figura 2.4-2– Estrutura do SC-31 do Cobei e as comissões de estudo perante a TC-31 da IECC 31. 25
Figura 2.13-1 - Circuito intrinsecamente seguro. 46
Figura 2.13-2 - Dispositivo de barreira. 47
Figura 2.13-3 Equipamento associado: Barreira Zener. 47
Figura 2.13-4 - Equipamento associado: isolador galvânico. 48
Figura 2.13-5 - Exemplos de equipamentos simples. 49
Figura 3.2-1 - Distribuição das esteiras transportadoras da empresa "x". 51
Figura 3.2-2 - Redutora de engrenagem fabricante Flender Siemens. 51
Figura 3.2-3 - Relé microprocessado Schneirder modelo S40. 52
Figura 3.2-4 – Termorresistência. 53
Figura 3.3-1 - Diagrama típico de aplicação de relé de proteção multifunção. 55
Figura 3.3-2 - Diagrama elétrico de motor com sistema de proteção por relé multifunção. 56
Figura 3.3-3 – Monitoração de temperatura de um motocompressor típico....57
Figura 3.5-1– Distribuição de energia elétrica demandada por motores, por tipo de acionamento. 60
Figura 3.5-2 - Distribuição de equipamentos da empresa "x". 61
Figura 3.7-1 – Conceito de proteção a explosão segundo diretiva ATEX. 64
Figura 3.7-2 – Fluxograma de controle de temperatura de superfície. 65
Figura 3.8-1 - Diagrama em blocos da lógica de monitoração da temperatura de superfície “TS”. 66
Figura 4.2-1 Motor acoplado ao redutor do modelo proposto. 71
Figura 4.2-2 Esquema motor trifásico acoplado a caixa de engrenagem. 72
Figura 4.2-3 Mapeamento por pontos caixa de engrenagem do modelo proposto. 73
Figura 4.3-1 Posicionamento dos equipamentos empresa “x”. 75
Figura 4.3-2 Classificação de área empresa "x". 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.5-1 – Países membros da IECEx System. 26
Tabela 2.7-1 – Normas sobre atmosferas explosivas. 30
Tabela 2.9-1– Classificação de zonas em relação às fontes de risco. 35
Tabela 2.9-2– Influência da ventilação no tipo de zona. 39
Tabela 2.10-1– Relação de grupo de equipamento e aplicação por subdivisão. 41
Tabela 2.11-1– Exemplos de ponto de fulgor. 42
Tabela 2.11-2– Relação entre a classe de temperatura e a temperatura de ignição do gás ou vapor. 43
Tabela 3.3-1 - Funções de proteção aplicáveis a motores indicados pela ANSI/IEEE. 54
Tabela 3.6-1 Definição de impacto baseado na frequência. 62
Tabela 3.6-2 Definição de impacto baseado na consequência. 62
Tabela 3.6-3 Matriz de risco. 63
Tabela 3.9-1 - Temperatura de ignição de poeiras combustíveis. 68
Tabela 3.10-1 - Valores de referência para controle de temperatura de superfície para poeiras combustíveis. 69
Tabela 4.3-1 Definição de equipamentos X locais de instalação. 75
Tabela 4.3-2 Tipos de taxas de falhas para motores industriais. 77
Tabela 4.4-1 - Critério de definição elementos de segurança. 78
Tabela 4.4-2 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x segurança. 78
Tabela 4.4-3 Critério de definição elementos de meio ambiente. 79
Tabela 4.4-4 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x meio ambiente. 80
Tabela 4.4-5 Critério de definição para perda de produção. 80
Tabela 4.4-6 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x produção. 81
Tabela 4.4-7 Critério de definição para mantenabilidade. 81
Tabela 4.4-8 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x mantenabilidade. 82
Tabela 4.4-9 - Classificação dos impactos de falha do sistema de transporte. 83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

Abinee – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABPEX – Associação Brasileira para Prevenção de Explosões

Abradee – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

COBEI – Comitê Brasileiro de eletricidade e Iluminação

Conmetro – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

EPL – Nível de Proteção dos Equipamentos

ESM - Entidades setoriais mantenedoras

EX - Atmosferas Explosivas

IEC – *International Eletrotechnical Commission*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISO- *International Organization for Standardization*

LII – Limite inferior de Inflamabilidade

LSI – Limite superior de Inflamabilidade

MIE – Mínima Energia de Ignição

NFPA - *National Fire Protection Association*

Sindecel - Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo

VA – Ventilação Alta

VB – Ventilação Baixa

VM – Ventilação Média

TC – *Technical Commitee*

TS – Temperatura de superfície

SC – Subcomitê

RAC- Requisitos de Avaliação da Conformidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO *14*

1.1. Considerações iniciais 14

1.2. Objetivo 16

1.3. Metodologia 17

1.4. Estado da arte do cenário de ambientes com atmosferas explosivas 18

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA *19*

2.1. Considerações iniciais 19

2.2. Processo de Normalização 19

2.3. Estrutura do COBEI 20

2.4. Estrutura do subcomitê SC- 31 – ATMOSFERAS EXPLOSIVAS 21

2.5. Marco regulatório adotado em ambientes de atmosferas explosivas 25

2.6. Processo de certificação de conformidade de equipamentos “Ex” 27

2.7. Listas de normas aplicáveis a áreas “Ex” 28

2.8. Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás, poeiras ou fibras combustíveis 32

2.9. Procedimentos de classificação de áreas 33

2.10. Grupos de Equipamentos 40

2.11. Classe de temperatura 41

2.12. Temperatura máxima de superfície 43

2.13. Interface entre áreas classificadas e não classificadas 45

3. MATERIAIS E MÉTODOS *50*

3.1. Considerações iniciais 50

3.2. Materiais utilizados 50

3.3. Modelo típico de proteção dos equipamentos 53

3.4. Proteções baseadas na temperatura de ignição do produto inflamável 58

3.5. Metodologia aplicada 59

3.6. Determinação do impacto de falha do equipamento 61
3.7. Estrutura proposta 63
3.8. Diagrama em blocos do controle 65
3.9. Elementos químicos de referência para a monitoração da temperatura ..67
3.10. Parametrização das faixas de monitoração 68
4. **RESULTADOS E DISCUSSÃO** *.....70*
4.1. Considerações iniciais 70
4.2. Modelo de aplicação proposto 70
4.3. Classificação dos impactos de falha dos equipamentos 74
4.4. Análise dos equipamentos baseadas nos critérios de impacto de falha...78
5. **CONCLUSÃO** *.....84*
5.1. Propostas para trabalhos Futuros 86
REFERÊNCIAS *.....88*
GLOSSÁRIO *.....92*
APÊNDICE *.....95*

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Nos ambientes industriais devido ao montante produzido, seja qual for este produto, estão cercados por variáveis que demandam constante acompanhamento, sejam no âmbito econômico, operacional ou na gestão de pessoas.

Contudo quando nesses ambientes são necessários a utilização, manipulação, consumo ou armazenamento de materiais inflamáveis, um elemento crítico se apresenta como prioridade que é a segurança operacional da instalação e a manutenção da integridade das pessoas que lá trabalham.

Sejam quais forem os setores industriais, como o petroquímico na forma de industrias de superfície ou marítimas, industrias de grãos dos mais diversos, soja, arroz, milho, açúcar, entre outros, setor de mineração, terminais de estocagem, postos de abastecimentos de combustíveis, existem a possibilidade de ocorrências de explosões seguidos de incêndios devido à presença de substancias inflamáveis associadas a uma fonte de ignição. Conforme demonstra a figura 1.1.1 em uma instalação destruída após incêndio.

Figura 1.1-1 - Incêndio em armazém de açúcar em Santos.

Fonte: Risco (2017)

Essas instalações necessitam de procedimentos e equipamentos especiais que previnam a possibilidade de que uma fonte de ignição possa surgir dentro de um ambiente que possa ter a presença de uma atmosfera potencialmente explosiva, evento este normalmente possível em se tratando de setores onde está presente materiais combustíveis e inflamáveis (ABNT NBR IEC 60079-19, 2016). Devido a esse risco que tem potencial para destruir a instalação e vitimar as pessoas que lá trabalham (SUBCOMITÊ SC-31, 2017), existem requisitos específicos para a certificação de equipamentos aplicáveis em áreas que contenham atmosferas explosivas, que fabricantes, órgãos de certificação, laboratórios e consumidores chamam simplesmente de “Ex”, onde há presença de gases inflamáveis ou poeiras combustíveis. Da mesma forma tem-se procedimentos para atividades de projeto, seleção de equipamentos, requisitos de montagem, assim como inspeção, manutenção e reparos. Áreas que diagnosticadas nesse contexto devem estar sinalizadas conforme a figura 1.1.2.

Figura 1.1-2 - Sinalização de área "Ex".

Fonte: Cobei (2017)

Em virtude disso, para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se como base os equipamentos que compõem o sistema de movimentação de insumos e produtos de uma empresa “x” que manipula, processa e armazena material combustível na

forma de farinha de soja, que naturalmente forma um ambiente de poeira combustível durante a operação normal de produção.

Observou-se a possibilidade de atuar de modo a permitir uma abrangência dos elementos de segurança no tocante a monitoração da temperatura de superfície de equipamentos não elétricos, nesse caso as caixas de engrenagens também chamadas de redutores, utilizando-se como base de atuação relés multifunção normalmente utilizados para a proteção das condições dos motores elétricos trifásicos. Uma vez que esse equipamento é capaz de gerenciar diversas variáveis e muitas delas ocorrem em unidades de tempo na casa de micro, milissegundos, oferecer a monitoração de uma variável relativamente lenta como a temperatura.

Utilizar um dispositivo que já compõem o cenário industrial e atribuir a ele mais uma função que esse tem condições técnicas para fazê-lo se mostra como uma oportunidade de aumentar o nível de segurança da instalação com um custo relativamente baixo e assegura que uma das fontes de ignição, das muitas que são possíveis de se encontrar em uma instalação industrial esteja portanto controlada, o que não impede que ela possa ocorrer, mas que em caso de incidência não atinja limites críticos que comprometam a segurança da instalação.

Sob o ponto de vista do ciclo total de vida das instalações elétricas e mecânicas em atmosferas explosivas, os equipamentos “Ex” necessitam estarem seguros durante todo o tempo em que permanecerem instalados em áreas classificadas, ao longo de décadas, e não somente quando estes equipamentos saem das instalações dos respectivos fabricantes. Pois se existe a menor possibilidade de uma falha ocorrer, certamente em algum momento ela ocorrerá e se de algum modo estiver mapeada, monitorada ou controlada seu impacto estará reduzido.

1.2. Objetivo

Este trabalho foi concebido como uma tentativa de contribuição para reforçar o elo de segurança aplicável a qualquer instalação que contenha atmosferas explosivas ainda que possua algum equipamento não elétrico sem certificação.

Tendo como objetivo específico implementar uma monitoração que atue na curva de elevação de temperatura de superfície configuradas através de relés ligados

em motores elétricos, em situações anormais de funcionamento dos equipamentos não elétricos prevenindo que estes se tornem uma fonte de ignição.

Percorrendo os objetivos gerais que se fundamentam na proposta de um sistema de monitoração através de relés multifunção baseado no atendimento aos requisitos normativos aplicados a operação de máquinas elétricas e mecânicas em ambientes que contenham atmosferas explosivas.

1.3. Metodologia

A fim de cumprir os objetivos propostos para este trabalho, o seguinte roteiro metodológico será desenvolvido:

a) Revisão e pesquisa bibliográfica acerca das ocorrências correlacionadas com o universo proposto, que é a proteção das instalações industriais mediante o controle da temperatura de superfície de equipamentos não elétricos;

b) Elencar os requisitos normativos que abrangem as aplicações de equipamentos elétricos como não elétricos e seus respectivos sistemas de proteção.

c) Determinar os pontos de controle baseados nos limites de temperatura para poeiras combustíveis e classe de temperatura.

d) Abordar os critérios de classificação de área e suas formas de mitigação.

1.4. Estado da arte do cenário de ambientes com atmosferas explosivas

Diversos são os tipos de proteções que podem ser aplicados em ambientes que contenham atmosferas explosivas em suas instalações, como proteções a prova de explosão, segurança aumentada, equipamentos intrínsecos, imersos em areia ou resina, pressurizados entre outros.

A integração de mais de um tipo de proteção pode conferir um maior nível de proteção ao equipamento (EPL) e permitir que este seja aplicado em condições mais críticas. A efetividade de alguns tipos de proteções requer justamente que elementos suplementares sejam incorporados ao sistema para uma cobertura mais abrangente (ABNT NBR IEC 60079-7, 2010).

A proteção destes equipamentos e consequentemente de seus sistemas através de relés é uma possibilidade que se apresenta em diversas aplicações e estas se movem em constante avanço fruto das inovações tecnológicas e desenvolvimento técnico (SCHNEIDER, 2017). Com o advento da eletrônica microprocessada os relés passaram a oferecer possibilidades de multifuncionalidades e o processamento de dados digitais aliados a comunicação destes permitiu um monitoramento mais amplo de variáveis e com isso a elevação dos níveis de confiabilidade do sistema.

Ponto de interesse comum nas industrias, a busca para otimizar a operação de seus processos produtivos. Neste cenário os motores elétricos e sistemas ligados a ele, representam algo próximo dos 90% dos acionamentos dos equipamentos conectados a esses processos e a determinação e monitoramento de possíveis desvios de natureza elétrica ou mecânica são quesitos pertinentes para manutenção da segurança e garantias operacionais (BULGARELLI, 2006).

Tal monitoramento pode, por exemplo, indicar um alarme, informando que determinado parâmetro se encaminha a uma região de alerta ou dependendo da criticidade do evento impor uma redução de carga para que nenhum limite crítico de operação seja ultrapassado. Em casos que excedam esta faixa procedimentos de desligamento mediante a condição de controle devem ser garantidos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1. Considerações iniciais

O capítulo anterior foi dedicado a contextualizar a importância das proteções que os equipamentos devem oferecer para garantir a segurança da instalação e das pessoas em ambientes que contenham atmosferas explosivas.

Este capítulo versa sobre os tipos de proteções disponíveis assim como as normas aplicáveis que suportam tecnicamente a conduções dos trabalhos em qualquer fase do ciclo de vida dos equipamentos.

2.2. Processo de Normalização

O processo de validação das normas que são utilizadas em diversas fases do processo requer uma abordagem a fim de que se possa conhecer a maneira que este se mantém estruturado.

O organismo brasileiro responsável pela normalização na área da eletricidade atende pela sigla COBEI - Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica e Iluminação, e elabora normas técnicas dessas áreas. Teve seu registro na década de 1950 motivado pela Comissão Eletrotécnica Internacional, a IEC – *International Electrotechical Commission.*

A IEC endossa o pioneirismo da área da eletricidade quando se trata de normas técnicas, pois foi fundada oficialmente em 1906 uma vez que a ISO – *International Organization for Standardization* que compõe todos os campos normativos com exceção dos que abrangem a eletricidade e elementos correlatos, somente surgiu no ano de 1947 (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

A convite da IEC, o Brasil, assim como outros países atuam em organizações que representam a entidade, tendo, portanto, o Cobei suas atividades ligadas à ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Tal parceria se consolidou em um período de reestruturação da ABNT para se manter alinhada com as diretrizes determinadas pelo Conmetro – Conselho Nacional

de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial em 1992, que possibilitou ações no sentido de reduzir a burocracia e centralização, quando na ocasião revogou resoluções que tratavam da classificação e registro de normas técnicas, reduzindo algumas etapas que tornavam o processo moroso.

Através da resolução Conmetro n° 6, de 24 de agosto de 1992, balizou as regras para a elaboração de normas técnicas, conferindo a ABNT o Foro Nacional de Normalização.

Diante do exposto os comitês parceiros da ABNT e associações que se dispusessem a participar passaram a denominação de entidades setoriais mantenedoras (ESM), de modo que cada seguimento assumiu a coordenação de um grupo de estudos de acordo com suas interfaces de interesse e esses grupos passaram a ter gestão sobre o desenvolvimento das normas pertinentes a sua área.

2.3. Estrutura do COBEI

O Cobei se apresenta como uma sociedade civil de direito privado, sem fins lucrativos. Desde a sua criação passou por diversas transformações sempre consciente de sua contribuição para o processo de normalização. Objetivo este compartilhado por um grupo de associações de classe e empresas (COBEI, 2008).

A estrutura vigente foi estabelecida em abril de 2002 e participam dela as associações, denominadas associados institucionais, compostas pela Abinee – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, Abradee – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica e Sindecel - Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo. Assim como as empresas que são denominadas de associadas mantenedoras, compostas por ABB, Elster, Fae, Harting, Keel motores e Fios, Nansen, Pial Legrand, Prysmian, Scheneider Eletric, Sex Eurodrive Brasil, Siemens e Weg.

As atividades desenvolvidas no Cobei são reportadas ao Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) que representa a ABNT e é responsável pelos aspectos formais, enquanto as comissões do Cobei que elaboram os projetos de norma ou

ainda de revisões encaminham formalmente ao CB-03. Uma vez finalizado esse processo o produto é submetido a consulta nacional (SUBCOMITÊ SC-31, 2016).

Finalizado o período de consulta, a ABNT remete à comissão de estudos responsável pelo desenvolvimento do documento todas as informações colhidas na forma de sugestões e eventuais oportunidade de melhoria, além do resultado a votação a qual o documento se apresenta. Sendo apreciado o material e tendo a votação um parecer favorável, a comissão trata a relevância das sugestões manifestadas na consulta nacional e delibera o aceite de eventuais pontos relatados. O material revisado na forma de texto final segue novamente a representação da ABNT que se encarrega das etapas de publicação, divulgação e comercialização da norma.

No âmbito internacional, o Cobei é o representante oficial do Brasil junto à IEC, devido ao termo de entendimento celebrado junto a ABNT.

2.4. Estrutura do subcomitê SC- 31 – ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

Devido a ampla gama de assuntos e aplicações, subcomitês tratam especificamente temas distintos. Portanto para o desenvolvimento dos trabalhos pertinentes a atmosferas explosivas, o Subcomitê SC-31 representa a condução das atividades.

O trabalho desenvolvido tem por base a elaboração assim como, a atualização, mantendo harmonizadas e equivalentes a normalização internacional da IEC as Normas Técnicas Brasileiras referentes a equipamentos e instalações em atmosferas explosivas que contenham gases, vapores, névoas inflamáveis ou poeiras combustíveis. Tal processo compreende o acompanhamento da elaboração, revisões ou atualizações fornecendo comentários para a publicação de novas edições dessas normas.

O Subcomitê SC-31 do COBEI recebe a colaboração de 60 profissionais que atuam em áreas correlatas e representam 50 empresas. Estas empresas atuam nas áreas de consultorias, fabricação, instalação, projeto, manutenção, reparo, laboratórios de ensaios, indústria do petróleo, química, petroquímica, assim como

organismos de certificação acreditados pelo INMETRO e qualquer usuário de equipamentos e ou instalações que contenham atmosferas explosivas todos os tipos.

A função dessa Comissão de Estudo é a elaboração de Normas Brasileiras, aprovadas por consenso com a participação de representantes dos segmentos produtores, consumidores e neutros, seguindo as premissas dos padrões ABNT NBR IEC mantendo a equivalência à respectiva norma IEC. Essa prática está alinhada com a tendência normativa mundial dos países que são membros da IEC, ao qual o Brasil também é membro (SUBCOMITÊ SC-31, 2016).

Desse modo o processo de normalização tem por objetivo harmonizar as Normas Nacionais vigentes em cada pais membro do IEC com as normas internacionais, de modo a mitigar distorções aplicadas a procedimentos e recomendações de projetos, classificações de área, certificação de equipamentos, instalação, manutenção, inspeção e recuperação de equipamentos de instalações em ambientes contendo atmosferas explosivas. E assim as normas elaboradas pelo Subcomitê SC-31 recebem o título de equivalentes ABNT NBR IEC e garantem a harmonização sem desvios comparadas as suas respectivas normas IEC.

O Subcomitê SC-31 encontra-se subdividido em seis Comissões de Estudo (CE), organizadas por temas e por áreas de especialização técnica, exposta conforme a figura 2.4-1, como forma de potencializar a contribuição dos profissionais e empresas envolvidas nos trabalhos.

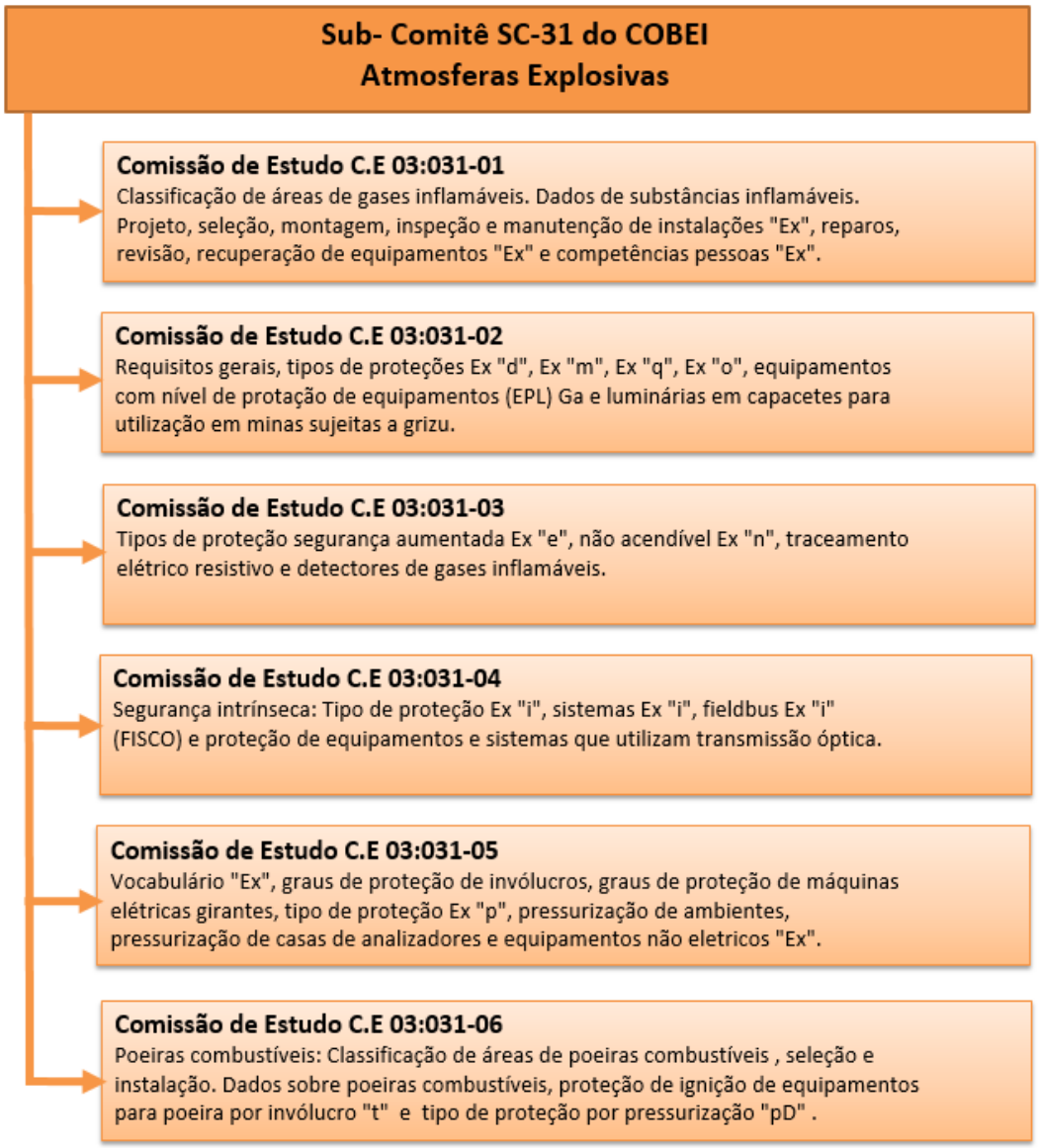

Figura 2.4-1 - Comissões de Estudo do Subcomitê SC 31 – COBEI.

Fonte: COBEI – Subcomitê (2017)

Visando estabelecer uma equidade de interesses àqueles que farão uso das normas após a publicação, fazem parte das Comissões de Estudo profissionais de diversos segmentos como, produtores, consumidores, instituições de ensino e neutros.

É responsável pela tramitação de documentos que envolvem a análise e elaboração de comentários relacionados aos projetos de normas elaboradas pelo TC-31 da IEC. O Cobei tem por responsabilidade gerenciar o fluxo de

informações entre o SC-31 e TC-31, captando dados e direcionando os trabalhos para cada subcomitê.

Sendo o Brasil um dos membros do IEC, participa do TC-31 e deve, portanto, emitir os seu comentários e posicionamento, participando da votação acerca de todos os documentos emitidos pelo TC-31 em quaisquer fases de desenvolvimento, seja elaboração ou revisão.

A participação do Brasil como membro do TC-31 da IEC permite consequentemente ao SC-31 participação e acesso as Normas Internacionais o que garante um acompanhamento ativo da evolução das normas de interesse dos grupos de trabalho, norteando e harmonizando as atividades de elaboração das normas brasileiras além de propiciar a contribuição nacional na forma de comentários no processo de elaboração de normas internacionais IEC (COBEI - ABNT/CB-03, 2017).

A estrutura que preconiza o fluxo hierárquico das atividades do subcomitê pode ser observada na figura 2.4-2 no qual as atividades, inclusive os processos de votação e comentários após consenso são encaminhados através das comissões de estudo a secretaria do subcomitê SC-31 e deste reportado ao Cobei/ABNT, que compartilha essas informações de modo bilateral com o IEC, para esse caso em específico, ao TC-31 – *Explosive Atmospheres.*

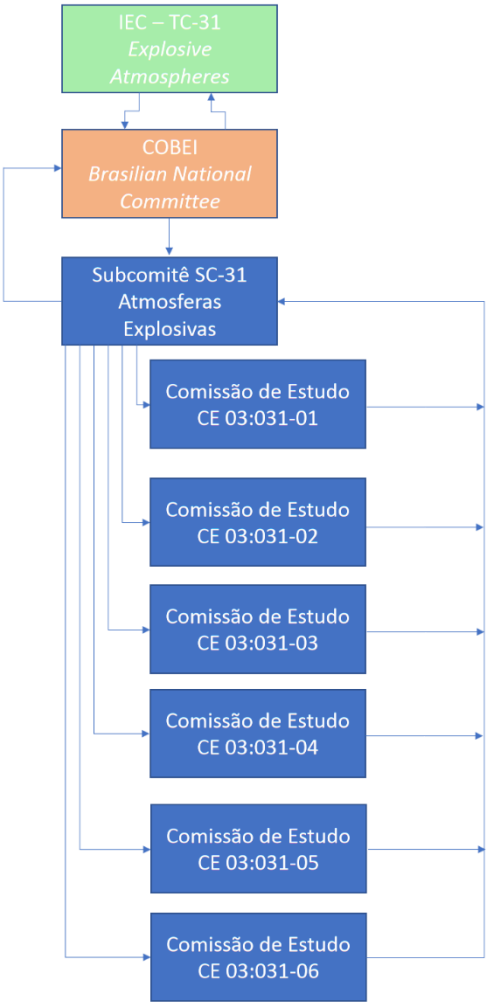

Figura 2.4-2– Estrutura do SC-31 do Cobei e as comissões de estudo perante a TC-31 da IECC 31.

Fonte: Adaptado COBEI – Subcomitê (2017)

2.5. Marco regulatório adotado em ambientes de atmosferas explosivas

A organização global responsável pela gestão das Normas Internacionais das tecnologias elétricas, eletrônicas e elementos correlatos atende pela a sigla IEC – *International Eletrotechnical Commission*, e uma de suas atribuições é o gerenciamento do sistema de avaliação de conformidade, aplicável a equipamentos, serviços e pessoas. Contudo para o cenário de todas as operações em ambientes que contenham atmosferas explosivas a divisão responsável é o IECEx.

O IECEx tem como base, servir como instrumento de fomento a utilização das normas Internacionais disponibilizadas tanto pela IEC quanto as da série ISO em todas as situações aplicáveis em ambientes industriais. Manter a premissa da IEC que visa a aplicação de uma legislação global harmonizada com as normas de consenso internacional (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Outra linha de atuação é a participação no processo de ensaios e certificação de equipamentos “Ex” no sentido de otimizar e reduzir os custos gerados pela execução de múltiplos ensaios realizados em diversos países do mundo. Através de um direcionamento que visa um alinhamento de critérios de conformidade únicos, reconhecidos nos diversos países que adotam os critérios da normalização IEC por meio de normas nacionais idênticas ou equivalentes.

Essa estrutura é denominada IECEx *System*, e pretende viabilizar os meios para que os fabricantes de equipamentos “Ex”[1] possam obter seus certificados de conformidade e que estes sejam aceitos por toda a comunidade “Ex” com abrangência ampla dentre os países participantes. A tabela 2.5-1 apresenta em ordem alfabética os 31 países que compõem os membros do IECEx.

Tabela 2.5-1 – Países membros da IECEx *System*.

Austrália	Federação Russa	Polônia
África do Sul	Finlândia	Reino Unido
Alemanha	França	República da Coréia
Brasil	Holanda	República da Sérvia
Canadá	Hungria	República Tcheca
China	Índia	Romênia
Cingapura	Itália	Suécia
Croácia	Japão	Suíça
Dinamarca	Malásia	Turquia
Eslovênia,	Noruega	
Estados Unidos da América	Nova Zelândia	

Fonte: IECEx *System* (2017)

[1] Abreviação adotada pela comunidade técnica, comissões de estudos, fabricantes e clientes para o termo atmosfera explosiva.

No Brasil o trâmite para a certificação de equipamentos ligados ao segmento “Ex” segue pautado por legislações que foram estabelecidas em Portarias de publicação ligadas ao INMETRO (PORTARIA 179, 2010). Por sua vez o processo de avaliação da conformidade está alinhado com as políticas e diretrizes do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – SINMETRO.

Além de atender a demanda pela certificação de equipamentos, o enlace do processo se estabelece com o suporte ao fornecimento de serviços seja para reparo de equipamentos ou atuação em áreas contendo atmosferas explosivas de modo a validar a competência de todos equipamentos (IECEX 05, 2015), serviços e pessoas que atuem em ambientes “Ex”.

2.6. Processo de certificação de conformidade de equipamentos “Ex”

A obtenção de um Certificado de conformidade depende do aceite mediante aprovação dos critérios estabelecidos em normas IEC. Para tal, apenas órgãos de certificação acreditados pelo IECEx System podem emitir essa certificação. Esse ciclo atesta que o produto foi fabricado dentro das premissas de um sistema de qualidade que é assegurado pelo organismo de certificação.

Aqueles fabricantes que atendem as exigências estabelecidas para essa finalidade recebem então o certificado de conformidade e podem assim exibir em seus produtos a marca padronizada pelo IECEx aceita em todos os países participantes.

Para a composição dos Órgãos de Certificação assim como dos laboratórios de ensaios do IECEx System todos os aprovados sofrem processo de auditoria que verifica a competência e capacidade de atender o sistema dentro dos requisitos expostos nas Normas ISO Guides 17025, 65 e os próprios documentos técnicos do IECEx System.

As organizações que completam o processo de avaliação da IECEx System e consequentemente aptas a operar como membro do Programa de Certificação de Equipamentos IECEx, dentro de seu escopo de atuação, estão habilitadas a emitir

Relatórios de Ensaio (ExTR´s – *Test Reports)*, Relatórios de Avaliação de Qualidade (QAR' s – *Quality Assessment Reports*) e Certificados de Conformidade (ExCoC - *Certificates of Conformity*), (SUBCOMITÊ SC-31, 2016).

Do mesmo modo que se faz necessário um controle dos produtos produzidos para atender o cenário de atmosferas explosivas, todo equipamento que eventualmente necessite ser reparado deve ser submetido aos mesmos critérios de controle. Portanto as empresas que atendem esta demanda devem operar dentro dos requisitos do Programa de Certificação de Oficinas de Reparos, Revisão e Recuperação de Equipamentos (ExCB's – *Certification Bodies*).

Com a finalidade de alcançar a maior abrangência possível e permitir a integração entres as partes interessadas, todas as informações referentes as empresas e certificados de conformidade emitidos pela organização são de domínio público (RAC, 2010).

2.7. Listas de normas aplicáveis a áreas "Ex"

A utilização das normas se apresenta como uma forma de aproveitar todo conhecimento, seja de fundamentos da engenharia aplicado aos produtos ou ainda nas melhores práticas adotadas ao longo do tempo. No caso em questão, que aborda as proteções em ambientes que contenham atmosferas explosivas, os princípios básicos de proteção aos quais são aplicados na indústria e em minas são praticados por mais de 100 anos.

Desse modo as normas se estabelecem como um padrão e servem como parâmetro para diversas regulamentações nacionais e regionais que visam cobrar exigências técnicas inerente as normas que passam a ter força de lei.

O processo de construção de qualquer equipamento com a finalidade de ser aplicado em industrias que possuam um grau de risco considerável, passa por um escopo que observa algumas variáveis que estabelecem o que esse equipamento será capaz de fazer e quais proteções deverá possuir.

Sendo assim é necessário que se conheça no ambiente que contenha atmosfera potencialmente explosiva, as características dos materiais que compõem esse ambiente para que se possa classifica-lo quanto ao tipo de gás e vapor. Diante disso a norma IEC 60079-20-1 (ABNT NBR IEC 60079-20-1, 2011) elucida tais questões sobre o tema.

No tocante a concentração de produtos presentes nesse ambiente sejam gases, vapores, poeiras em suspensão ou ainda líquidos inflamáveis, estabelecem a possibilidade da classificação das áreas baseadas na concentração e frequência de exposição. A norma que estabelece tais critérios é a IEC 60079-10-1: Classificação de áreas - Atmosferas explosivas de gás e IEC 60079-10-2: Classificação de áreas - Atmosferas explosivas para poeiras (IEC 60079-10-2, 2015).

Uma vez que se conheça o tipo de elemento inflamável e suas características físico-químicas e as medidas de mitigação do risco já foram observadas, deve-se contemplar no escopo do projeto as exigências para aplicação de equipamentos elétricos e não elétricos. Desse modo observa-se parâmetros que definem o tipo de equipamento a ser utilizado considerando suas características de projeto, seleção do equipamento compatível com a área correspondente e respeitando os requisitos para montagem das instalações, presentes na norma IEC 60079 -14 (ABNT NBR IEC 60079-14, 2016).

Sabendo-se que o risco da instalação se apresenta de modo continuo, é necessária uma gestão de todos os processos durante o ciclo de vida da planta. Isso abrange rotinas de inspeções e manutenções que atendam as normas e mantenham as características dos equipamentos do mesmo modo que foram concebidos na fase de projeto. O direcionamento dessas ações pode ser encontrado através da norma IEC 60079-17 (ABNT NBR IEC 60079-17, 2007).

As atividades de reparo, revisão e recuperação de equipamentos “Ex” também recebem recomendações oriundas da norma IEC 60079-14 que estabelecem os critérios e ações para o processo de recuperação de equipamentos destinados a atmosferas explosivas.

Diversas são as variantes que englobam o universo “Ex” o que implica em um número elevado de assuntos e consequentemente normas que suportam essas

diversas áreas de aplicações. A tabela 2.7.1 apresenta uma listagem de normas técnicas de publicação da série IEC 60079 ou ISO/IEC 80079 e suas normas equivalentes nacionais publicadas pela ABNT com a série NBR IEC ou NBR ISO/IEC, idênticas em conteúdo técnico e harmonizadas em sua forma e apresentação comparada as suas respectivas normas internacionais.

Tabela 2.7-1 – Normas sobre atmosferas explosivas.

Norma "Ex" das Séries IEC 60079 ou ISO/IEC 80079	**Título**
Parte 0	Atmosferas explosivas – Parte 0: Equipamentos - Requisitos gerais
Parte 1	Atmosferas explosivas – Parte 1: Proteção de equipamento por invólucro à prova de explosão "d"
Parte 2	Atmosferas explosivas – Parte 2: Proteção de equipamento por invólucro pressurizado "p"
Parte 5	Atmosferas explosivas – Parte 5: Imersão em areia "q"
Parte 6	Atmosferas explosivas – Parte 6: Proteção de equipamento por imersão em óleo "o"
Parte 7	Atmosferas explosivas – Parte 7: Proteção de equipamentos por segurança aumentada "e"
Parte 10-1	Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás
Parte 10-2	Atmosferas explosivas – Parte 10-2: Classificação de áreas – Atmosferas de poeiras explosivas
Parte 11	Atmosferas explosivas - Parte 11: Proteção de equipamento por segurança intrínseca "i"
Parte 13	Atmosferas explosivas - Parte 13: Proteção de equipamentos por ambiente pressurizado "p"
Parte 14	Atmosferas explosivas - Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas em atmosferas explosivas
Parte 15	Atmosferas explosivas – Parte 15: Proteção de equipamento por tipo de proteção "n"
Parte 16	Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – Parte 16: Ventilação artificial para proteção de casas de analisadores
Parte 17	Atmosferas explosivas – Parte 17: Inspeção e manutenção de instalações elétricas
Parte 18	Atmosferas explosivas – Parte 18: Proteção de equipamento por encapsulamento "m"
Parte 19	Atmosferas explosivas – Parte 19: Reparo, revisão e recuperação de equipamentos
Parte 20-1	Atmosferas explosivas – Parte 20-1: Características dos materiais para classificação de gases e vapores – Dados e métodos de ensaios

Norma “Ex” das Séries IEC 60079 ou ISO/IEC 80079	Título
Parte 20-2	Atmosferas explosivas - Parte 20-2: Características dos materiais – Procedimentos de ensaios de poeiras combustíveis
Parte 25	Atmosferas explosivas – Parte 25: Sistemas elétricos intrinsecamente seguros
Parte 26	Atmosferas explosivas – Parte 26: Equipamento com nível de proteção de equipamento (EPL) Ga
Parte 28	Atmosferas explosivas – Parte 28: Proteção de equipamentos e de sistemas de transmissão que utilizam radiação ótica
Parte 29-1	Atmosferas explosivas – Parte 29-1: Detectores de gás - Requisitos de desempenho
Parte 29-2	Atmosferas explosivas - Parte 29-2: Detectores de gás - Procedimentos de seleção, instalação, utilização e manutenção
Parte 29-3	Atmosferas explosivas - Parte 29-3: Detectores de gás - Requisitos gerais sobre segurança funcional de sistemas fixos de detecção de gases
Parte 29-4	Atmosferas explosivas – Parte 29-4: Detectores de gás – Requisitos gerais e métodos de ensaios para equipamentos de processo
Parte 29-5	Atmosferas explosivas – Parte 29-5: Detectores de gás – Requisitos de desempenho de detectores de gases tóxicos
Parte 30-1	Atmosferas explosivas – Parte 30-1: Traceamento elétrico resistivo - Requisitos gerais e de ensaios. (*Cancelou e substituiu a ABNT NBR IEC 62086-1, de 04/09/2006*) Versão IEC/IEEE 60079-30-1 em 2015
Parte 30-2	Atmosferas explosivas – Parte 30-2: Traceamento elétrico resistivo - Guia de aplicação para projeto, instalação e manutenção.
Parte 31	Atmosferas explosivas – Parte 31: Proteção de ignição de equipamento para poeira por invólucro “t”
Parte 32-1	Atmosferas explosivas – Parte 32-1: Riscos da eletrostática – Orientações
Parte 32-2	Atmosferas explosivas – Parte 32-2: Riscos da eletrostática – Ensaios
Parte 33	Atmosferas explosivas – Parte 33: Tipo de proteção especial “s”
Parte 34	Atmosferas explosivas – Parte 34: Aplicação de sistemas da qualidade para a fabricação de equipamentos
Parte 35-1	Atmosferas explosivas - Parte 35-1: Lanternas para capacetes para utilização em minas sujeitas a grisu – Requisitos gerais de construção e ensaios *(Cancelou e substituiu a IEC 62013-1 em 03/2011*)
Parte 35-2	Atmosferas explosivas - Parte 35-2: Lanternas para capacetes para utilização em minas sujeitas a grisu – Desempenho e outros requisitos relacionados com a segurança (*Cancelou e substituiu a IEC 62013-2 em 03/2011*)

Norma “Ex” das Séries IEC 60079 ou ISO/IEC 80079	Título
Parte 36	Atmosferas explosivas – Parte 36: Equipamentos não elétricos para utilização em atmosferas explosivas - Métodos e requisitos básicos (Tipo de proteção Ex “h”)
Parte 37	Atmosferas explosivas – Parte 37: Equipamentos não elétricos para utilização em atmosferas explosivas - Tipos de proteção não elétricos: segurança construtiva “c”, controle de fonte de ignição “b” e imersão em óleo “k”
Parte 38	Atmosferas explosivas – Parte 38: Equipamentos não elétricos para utilização em atmosferas explosivas - Equipamentos e componentes em atmosferas explosivas em minas subterrâneas
Parte 39	Atmosferas explosivas - Parte 39: Sistemas intrinsecamente seguros com limitação de duração de centelha eletronicamente controlada: “Power-i”
Parte 40	Atmosferas explosivas - Parte 40: Requisitos para processo de selagem entre fluidos inflamáveis de processo e sistemas elétricos
Parte 41	Atmosferas explosivas - Parte 41: Equipamentos não elétricos para utilização em atmosferas explosivas - Compressores alternativos com combustão interna

Fonte: Adaptado Subcomitê Cobei (2017)

2.8. Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás, poeiras ou fibras combustíveis

O controle do risco passa necessariamente pela determinação do agente causador, dessa forma é possível estipular medidas de contenção para toda instalação que manipula, produz, estoca ou utiliza materiais inflamáveis e expõem seus colaboradores e a própria instalação ao risco de explosões. Quanto maiores forem as concentrações e quantidades de vapores ou gases, maior será também a abrangência do controle a fim de mitigar o risco de explosões (ABNT NBR IEC 60079-0, 2008).

A adequada avaliação do ambiente e os critérios essenciais para reduzir o risco de ignição nesse ambiente potencialmente explosivo é exposto na norma ABNT NBR IEC 60079-10-1:2009 para gases e vapores e ABNT NBR IEC 60079-10-2:2013 para presença de poeiras ou fibras combustíveis.

Aborda-se, portanto o controle de parâmetros que podem ser aplicados para reduzir os fatores responsáveis por explosões.

O objetivo da classificação de áreas tem por base a análise e o mapeamento do ambiente ao qual uma atmosfera explosiva de gás ou poeira possa estar presente, garantindo uma adequada seleção e instalação dos equipamentos que devem operar nesse ambiente com nível de segurança tal que não comprometa a integridade da instalação. Essa análise permite que se conheça as características de ignição dos gases, vapores, névoas ou poeiras que podem ocorrer no ambiente, os limites de energia necessária para que a ignição aconteça e a temperatura de ignição.

A definição de zonas em ambientes “Ex” estabelecem a frequência e as condições de operação onde podem estar presentes a ocorrência de uma atmosfera explosiva de materiais inflamáveis, dados obtidos mediante a determinação da probabilidade da presença de gases nas áreas ao redor dos produtos manipulados. Devem ser observadas também as condições anormais de operação e a abrangência de possíveis ocorrências para que a extensão da área afetada seja sempre a menor possível, seja por projeto ou por procedimentos operacionais adequados.

2.9. Procedimentos de classificação de áreas

Toda e qualquer atividade a ser executada deve ser conduzida por profissionais habilitados e capacitados para tal, contudo, para o processo de classificação de áreas, um grupo multidisciplinar é requerido, a começar pelo profissional que compreende as propriedades dos materiais inflamáveis, passando alguém que domine processo e os equipamentos a ele conectados tendo a participação de pessoal da operação e das áreas de segurança, meio ambiente, elétrica, mecânica entre outros.

O que torna possível a operação da unidade que possa existir material inflamável é a adequada identificação das fontes de risco assim como a determinação do grau dessas fontes, sendo assim algumas condições podem configurar-se em maior risco que outras. Por exemplo, ao considerar que a liberação de vapores ou gases que podem ser emanados de líquidos e sólidos inflamáveis estão contidos em equipamentos industriais que pertencem ao processo e esses podem ou não estarem

totalmente fechados, haja vista que em contato com o ar ambiente pode-se potencializar o risco do local. Esses equipamentos podem ser tanques de transferência ou estocagem, suas bombas, tubulações, válvulas, filtros, permutadores, vasos de pressão entre outros. Cada um desses equipamentos deve ser considerado como uma fonte potencial de risco, para que seja avaliado o grau de risco em caso de vazamento. O mesmo ocorre em situações que o equipamento contenha material inflamável, mas em condições normais de operação não seja possível a liberação desse material para a atmosfera, como um trecho de tubulação sem flanges por exemplo.

Estabelecido a probabilidade de um equipamento apresentar qualquer tipo de vazamento de material inflamável para a atmosfera, se faz necessário a determinação do grau de risco de tal evento, estabelecendo-se a frequência do evento assim como sua eventual duração até que medidas de contenção sejam adotadas. Vale notar que a liberação desse material se observa tanto para condições normais de operação e também condições não esperadas, mas que constem nos levantamentos dos modos de falha da planta operacional.

A manifestação de uma atmosfera explosiva depende fundamentalmente do grau da fonte de risco e da condição de ventilação da área em questão. Esses fatores determinam a maneira como essas áreas serão classificadas, e essas áreas serão identificadas por zonas. Onde possa haver a presença de gases e ou poeiras combustíveis no ambiente recebem o título de zona 0, zona 1 e zona 2 e áreas fora do risco da presença de gases são denominadas áreas não classificadas (ABNT NBR IEC 60079-10-1, 2009).

A criticidade do risco se apresenta de forma que a possibilidade da presença de material inflamável ocorra, seja em frequência ou concentração. São categorizados como de grau contínuo (por apresentarem liberação de material inflamável de modo frequente ou por longos períodos de maneira esperada) estarão classificados em regiões de zona 0.

Estarão classificados em zona 1, equipamentos e sistemas que apresentem fonte de risco de grau primário aos quais possuam liberação de gases ou poeiras combustíveis de forma periódica ou ocasional de modo esperado dentro de seu ciclo normal de operação.

Em situações de grau de risco secundário, onde a liberação de vapores, gases ou poeiras combustíveis ocorrer de forma inesperada e caso exista seja de baixa frequência e por curtos períodos de duração estarão classificados em regiões de zona 2. O grau de risco se refere ao momento e duração das aberturas de dispositivos que liberam a passagem dos elementos explosivos, na ocasião de sua manipulação. O termo auto define o tipo do acionamento deste dispositivo e o termo duplo faz menção a existência de algum tipo de selagem que reduz a possibilidade de vazamento e garante uma redução do grau de risco. Desse modo, a tabela 2.9-1 apresenta a relação entre a classificação da zona e a determinação do grau de risco das aberturas que se configuram como fontes de risco.

Tabela 2.9-1– Classificação de zonas em relação às fontes de risco.

Zona a montante da abertura	Grau de risco das aberturas consideradas fontes de risco	Tipo de abertura
Zona 0	Frequentemente abertas	Contínuo
	Raramente abertas (auto)	(Contínuo) / Primário
	Raramente abertas (duplo)	Secundário
	Apenas em emergência	Secundário
Zona 1	Frequentemente abertas	Primário
	Raramente abertas (auto)	(Primário) / Secundário
	Raramente abertas (duplo)	Secundário / Sem liberação
	Apenas em emergência	Sem liberação
Zona 2	Frequentemente abertas	Secundário
	Raramente abertas (auto)	(Secundário) / Sem liberação
	Raramente abertas (duplo)	Sem liberação
	Apenas em emergência	Sem liberação

Fonte: adaptado ABNT NBR IEC 60079-10-1:2009

Como a classificação das áreas abordando do conceito de zonas dependem da concentração e frequência com que ocorrem, as fronteiras entre as áreas também são tratadas em função desse vazamento. Sendo assim adota-se a extensão de zonas baseados na distância calculada para que ocorra a dispersão no ar do volume de gás ou material em suspensão que tem potencial de formar a atmosfera explosiva de tal forma que haja a diluição desse volume e a concentração atinja valores abaixo do limite inferior de explosividade estabelecido para o tipo de material inflamável que esteja presente.

Outro aspecto que potencializa o aumento do risco se apresenta através das taxas de liberação de gás ou vapor uma vez que o aumento da liberação do material inflamável a extensão da área classificada tende a aumentar.

Fatores que influenciam na variação da taxa de liberação estão associados a geometria da emissão do vazamento, portanto as características físicas da fonte, a velocidade de liberação uma vez que a taxa de liberação aumenta proporcionalmente a sua velocidade que pode estar relacionada a pressão de processo que alimenta o vazamento. Parâmetros como a concentração de gás ou vapor inflamável, volatilidade de líquidos inflamáveis e a temperatura podem causar um incremento a taxa de liberação devido a evaporação.

As equações descritas em (ABNT NBR IEC 60079-10-1, 2009) indicam as correlações entre os fatores elencados e suas formas de liberação para líquidos e gases.

Baseada na equação 2.1 pode-se obter uma estimativa da taxa de liberação de líquidos, a saber:

$$\frac{dG}{dt} = S2\sqrt{2\rho\,\Delta p} \tag{2.1}$$

Onde:

$\frac{dG}{dt}$ - taxa de liberação do líquido em [kg/s];

S – seção transversal da abertura, através da qual o líquido é liberado em [m²];

ρ - densidade do líquido [kg/m³];

Δp – diferença de pressão através da abertura onde ocorre o vazamento [Pa].

Conforme descrito em (ABNT NBR IEC 60079-10-1, 2009) a taxa de liberação de gases pode ser estimada pela expansão adiabática de um gás ideal se a densidade do gás pressurizado for muito menor que a densidade do gás liquefeito e a velocidade do gás liberado se a pressão no interior do recipiente do gás for mais elevada do que ρc (pressão critica), tal condição está expressa conforme equação 2.2 que não leva em consideração a viscosidade de líquidos ou gases.

$$\rho c = \rho 0 \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} \tag{2.2}$$

onde:

$\rho 0$ – pressão no exterior do recipiente do gás;

γ – índice politrópico da expansão adiabática;

Considerando o gás ideal a equação, $\gamma = \frac{MCp}{MCp-R}$ pode ser aplicada, de modo que:

Cp – calor específico à pressão constante [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$];

M – massa molecular do gás [kg/kmol];

R – constante universal dos gases [$8314\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]

A máxima velocidade de descarga teórica para a liberação de gás é igual a velocidade do som (ABNT NBR IEC 60079-10-1, 2009), portanto pode-se relacionar os parâmetros das equações (2.1) e (2.2) a fim de determinar estimativa da taxa de liberação de gás com velocidade expressa na equação 2.3, a saber:

$$\frac{dG}{dt} = \mathrm{S} \times \mathrm{P}\sqrt{\gamma \times \frac{M}{R \times T}} \times \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \quad (2.3)$$

$\frac{dG}{dt}$ - taxa de liberação do líquido em [kg/s];

P – pressão no interior do recipiente [Pa];

γ – índice politrópico da expansão adiabática;

S – seção transversal da abertura, através da qual o líquido é liberado em [m²];

M – massa molecular do gás [kg/kmol];

T – temperatura absoluta no interior do recipiente [K];

R – constante universal dos gases [$8314\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]

Uma variável que pode agir como atenuante na classificação de área é a questão da ventilação do local que pode ser natural ou forçada, pois, com o aumento da ventilação pode-se reduzir a extensão da zona uma vez que um ambiente fechado com a devida ventilação pode ser tratado como uma área aberta. Diante disso as condições climáticas se apresentam como um fator a ser considerado como por exemplo a taxa de dispersão de gás ou vapor que aumenta em função da velocidade dos ventos condicionado a uma velocidade mínima de 3 m/s para que ocorra uma difusão turbulenta.

Portanto é possível notar que a topografia da instalação ao qual se manipula produtos com potencial de explosões associada a característica do elemento químico, podem impactar em uma maior ou menor classificação da área de acordo com as condições do local viabilizando sempre que possível, projetos que facilitem a rápida dispersão da atmosfera explosiva de um gás sempre que ocorrer qualquer tipo de vazamento (BUFFON, 2011).

A norma ABNT NBR IEC 60079-10-1 estabelece índices para a estimativa do grau de ventilação classificando-as como ventilação alta, média e baixa sendo que a tabela 2.9-2 retrata a influência da ventilação para a classificação das zonas.

Tabela 2.9-2– Influência da ventilação no tipo de zona.

Grau da fonte de risco	Ventilação						
	Grau						
	Alto			Médio			Baixo
	Disponibilidade						
	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa	Satisfatória	Pobre	Boa, satisfatória ou pobre
Contínuo	Zona 0 Não classificada	Zona 0 Zona 2	Zona 0 Zona 2	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primário	Zona 1 Não classificada	Zona 1 Zona 2	Zona 1 Zona 2	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 ou zona 0[a]
Secundário	Zona 2 Não classificada	Zona 2 Não classificada	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 ou zona 0[a]

Nota 1 “+” “significa envolvida por”

[a] Será zona 0 se a ventilação for fraca a ponto de considerar a atmosfera explosiva de gás de modo continuo.

Fonte: Adaptado da IEC 60079-10 (2009)

Diante do exposto é possível notar que existe uma variabilidade do risco de acordo com a condição do local e sobretudo com os recursos que eventualmente possam ser aplicados a instalação. As ações na forma de medidas preventivas para o controle do risco de explosão são baseadas em princípios que visam substituir, controlar e mitigar as fontes de modo que é possível evitar ou minimizar liberações de gases e assim alterar por exemplo uma área que está classificada em zona 1 para zona 2. Inúmeras ações podem ser aplicadas nesse sentido, como a coleta e

contenção de emissões, ações que evitem a formação de uma atmosfera explosiva e o controle para evitar fontes de ignição. Para os casos remanescentes deve ser aplicado medidas de proteção que reduzam a possibilidade de explosão ocasionada por ignição de arcos, centelhas ou superfícies aquecidas sejam em condições normais de operação ou sob condições de falhas especificadas na ocasião do projeto.

2.10. Grupos de Equipamentos

Além da classificação por zona abordado ao longo do capítulo 2.9 apresenta-se integrado a esse conjunto a divisão dos equipamentos submetidos a ambientes contendo atmosferas explosivas, três grupos a saber:

Grupo I – equipamentos destinados a utilização em minas de carvão suscetíveis a presença do gás metano, conhecido também por grisu. E os tipos de proteções empregados devem considerar a ignição do grisu e também do material suspenso proveniente da poeira de carvão.

Grupo II – considera a utilização de equipamentos em industrias de superfície terrestre ou marítima onde a formação de atmosfera explosiva seja composta por gases. Esse grupo possui uma subdivisão que estabelece um limite para cada grupo de gases. Este patamar é estabelecido pelo valor da energia mínima necessária para ignição da mistura de um determinado grupo de gases.

- IIA – grupo da classe do gás propano
- IIB – grupo da classe do gás etileno
- IIC – grupo da classe do gás hidrogênio ou acetileno

Vale ressaltar que o grupo dos gases ao qual pertence o hidrogênio IIC, apresenta a menor energia necessária para ignição do gás e deste modo é classificado como o de maior risco, portanto os equipamentos destinados a operar neste grupo de gases estarão adequados para aplicação nos grupos IIA ou IIB.

Grupo III – são equipamentos destinados a industrias de superfície para utilização em situações de atmosferas explosivas que contenham em sua formação poeiras. As subdivisões estabelecidas para este grupo são:

- IIIA – fibras combustíveis
- IIIB – poeiras não condutoras
- IIIC – poeiras condutoras

Conforme descrito em norma ABNT NBR 60079-10-2 (ABNT NBR IEC 60079-10-2, 2016) a poeira combustível é composta por partículas sólidas de 500 µm em tamanho nominal ou menores podendo estar suspensas no ar e com potencial de queimar ou derreter no ar contribuindo assim para a formação de misturas explosivas.

As poeiras não condutivas possuem os mesmos parâmetros referentes a granulometria e devem possuir resistividade elétrica maior do que 10^3 Ω.m, já as poeiras condutivas se enquadram nas características abaixo deste valor. Os métodos para a determinação da resistividade elétrica de poeira são estabelecidos a partir da norma IEC 61241-2-2.

A relação entre os equipamentos e a possibilidade de utilização nos grupos de gases e poeiras podem ser observados conforme a tabela 2.10-1.

Tabela 2.10-1– Relação de grupo de equipamento e aplicação por subdivisão.

Subdivisão do local do gás/ vapor ou poeira	Grupo do equipamento permitido
IIA	IIA, IIB ou IIC
IIB	IIB ou IIC
IIC	IIC
IIIA	IIIA, IIIB ou IIIC
IIIB	IIIB ou IIIC
IIIC	IIIC

Fonte: Adaptado da IEC 60079-0 (2008)

2.11. Classe de temperatura

Os equipamentos que são destinados a aplicações em ambientes contendo atmosferas explosivas devem conter condições de projeto onde garantam que a sua

temperatura máxima de superfície se mantenham em faixas que não alcance a temperatura de ignição de qualquer mistura de gases, vapores ou névoas as quais possam vir a se estabelecer no ambiente.

Assim como no grupo de equipamentos que existem classificações mediante a energia mínima necessária para a ignição, cada tipo de substância apresenta um valor relativo ao seu ponto de fulgor como sendo o menor valor de temperatura na qual um líquido libera espontaneamente vapor em quantidade suficiente para contribuir para a formação de uma mistura inflamável.

Segundo consta na norma regulamentadora NR-20 (NORMA NR-20, 2015) que trata sobre segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis, as variações de temperatura interferem diretamente na definição do produto.

Líquidos inflamáveis possuem ponto de fulgor menor ou igual a 60 °C. Líquidos combustíveis são líquidos classificados com faixa de temperatura acima de 60 °C e menor ou igual a 93 °C do ponto de fulgor. Os gases inflamáveis são aqueles que inflamam com o ar a temperatura de 20 °C e uma pressão padrão de 101,3 kPa ABNT NBR IEC 60079-20-1 (2014).

Diversos processos manipulam materiais inflamáveis em temperaturas acima de seu ponto de fulgor como na amostra apresentada na tabela 2.11-1 podendo a qualquer situação de vazamento formar uma atmosfera explosiva.

Tabela 2.11-1– Exemplos de ponto de fulgor.

Produto	Ponto de Fulgor
Querosene	40 °C
Óleo Diesel	38 °C
Álcool Anidro	13 °C
Gasolina	- 43 °C

Fonte: ABNT NBR IEC 60079-20-1 (2014)

De posse de tais dados é possível determinar parâmetros específicos indicados pela norma, tais como o tempo de ignição estabelecido pelo intervalo de tempo entre

o surgimento da fonte de ignição e a ocorrência da ignição e a temperatura de autoignição (AIT – *auto-igniton temperature*) que ocorre no limite da temperatura de uma superfície aquecida onde acontecerá uma ignição de um volume de gás ou vapor em mistura com o ar ambiente.

De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60079-14 apresenta a faixa da classe de temperatura que deve ser marcada nos equipamentos em ambientes de atmosferas explosivas de acordo com os valores indicados pela tabela 2.11-2 que relacionam as temperaturas de ignição com as classes de temperaturas dos equipamentos.

Tabela 2.11-2– Relação entre a classe de temperatura e a temperatura de ignição do gás ou vapor.

Classe de Temperatura estabelecida pela classificação de área	Temperatura de ignição do gás ou vapor °C	Classe de temperatura do equipamento permitida
T1	>450	T1 – T6
T2	>300	T2 – T6
T3	>200	T3 – T6
T4	>135	T4 – T6
T5	>100	T5 – T6
T6	>85	T6

Fonte: ABNT NBR IEC 60079-14 (2016)

2.12. Temperatura máxima de superfície

Qualquer que seja a fonte de ignição em caso se um eventual vazamento, haverá a condição para que uma explosão possa ocorrer, desse modo qualquer equipamento ou acessório que tenha potencial para manifestar essa liberação de energia, deverá ser controlado. O controle da temperatura máxima de superfície pode

ser implementado para que ações de contenção possam ser empregadas e que o limite dessa temperatura seja mantido em níveis seguros.

Equipamentos destinados ao grupo II submetidos a ensaios de tipo para temperatura máxima de superfície não devem ultrapassar os limites recomendados por norma onde estabelecem o valor de menos 5 Kelvin para as classes de temperaturas que estão marcadas abaixo de 200 °C (T6, T5, T4 e T3) e de menos 10 k para as classes de temperatura (T2 e T1) superiores a 200 °C.

Equipamentos para aplicações em instalações do grupo III a qual podem estar presentes poeiras em suspensão e acumulo de material sobre a superfície do equipamento devem obedecer a premissa de não exceder a temperatura máxima do dispositivo a dois terços da temperatura mínima de ignição determinada para a composição de poeira e volume de ar considerado para o local (ABNT NBR IEC 60079-14, 2016).

Deste modo pode-se determinar o ponto de controle em razão da equação 2.4, a saber:

$$Tmáx = \frac{2}{3} \times Tcl \qquad (2.4)$$

Onde T_{cl} – a temperatura de ignição mínima da composição de poeira suspensa expressa em graus Celsius.

Diante do exposto se torna possível traçar uma métrica de forma a obter limiares de segurança de acordo com os limites de explosividade dos elementos químicos que poderão estarem presentes na ocasião de um vazamento.

2.13. Interface entre áreas classificadas e não classificadas

Todo o processo de comunicação, controle e monitoração das informações que transitam em uma instalação são estabelecidos entre equipamentos que podem estar presentes em qualquer localização da instalação. Com isso tem-se equipamentos distribuídos em ambientes classificados em zona 0, zona 1, zona 2 e em áreas seguras denominadas não classificadas.

Tal comunicação requer o estabelecimento de garantias de modo que haja condições de proteção para a transição da informação através de sinais elétricos entre as zonas não importando qual, até um ponto de monitoração geralmente situado em área não classifica. A norma ABNT NBR IEC 60079-11:2013 – Proteção de equipamento por segurança intrínseca “i”, se baseia justamente no tipo de proteção que restringe a energia elétrica contida nos equipamentos e cabos de interconexão quando expostos em ambientes potencialmente explosivos mantendo um nível incapaz de causar ignição, seja por faiscamento ou por efeitos de aquecimento (ABNT NBR IEC 60079-11, 2013).

Este tipo de proteção atende aplicações de potência reduzida, como por exemplo, circuitos de instrumentação e de controle operacional. Isso é alcançado limitando-se a tensão e corrente fornecidas ao equipamento na área classificada garantindo a manutenção desses níveis de energia em condições normais até mesmo em falhas especificadas como curto-circuito ou circuito aberto.

O conceito de circuito intrinsecamente seguro se estabelece a partir da comunicação entre os equipamentos que fornecem energia elétrica fora da área classificada aos equipamentos que estão imersos em atmosferas potencialmente explosivas tendo como interface um dispositivo denominado equipamento associado que executa o controle adequado de acordo com o limite de energia estabelecido para cada tipo de zona e grupo de gases ou poeira. A figura 2.13-1 representa o modelo estrutural de um conjunto de proteção intrinsecamente seguro.

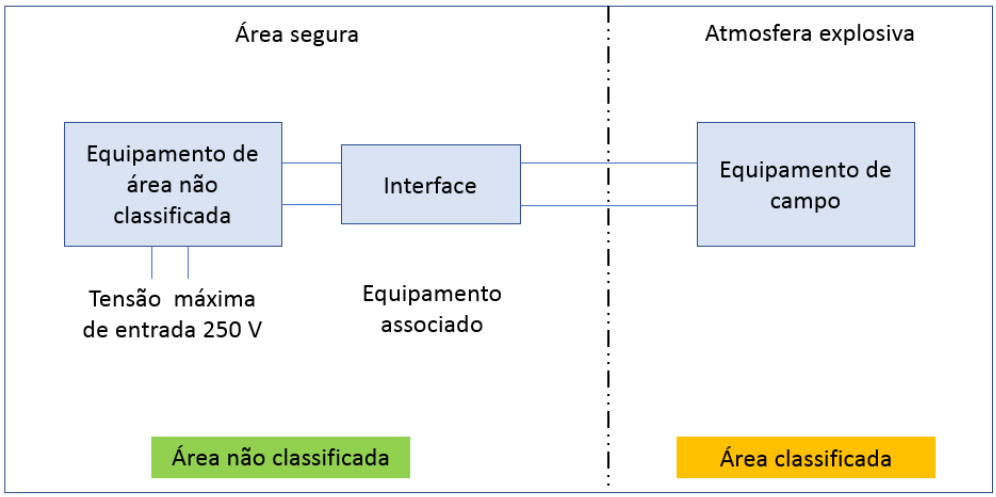

Figura 2.13-1 - Circuito intrinsecamente seguro.

Fonte: ABNT NBR IEC 60079-11 (2013)

Desse modo, os parâmetros do circuito na forma das variáveis tensão, corrente, resistência indutância e capacitância são considerados na elaboração do projeto além de fatores de segurança adequados conferem a garantia para utilização do conjunto. Entende-se por um circuito intrinsecamente seguro Ex “i” a interligação do instrumento de campo, cabos de interligação e componente associado. O tipo de proteção previstos possibilitam os seguintes níveis de proteção de equipamento (EPL):

- Zona 0 / EPL Ga (Ex ia)
- Zona 1 / EPL Gb (Ex ib)
- Zona 2 / EPL Gc (Ex ic)

Os circuitos associados são também chamados de dispositivos de barreira de segurança intrínseca, podem ser constituídos de barreira de diodo Zener e barreira com isolação galvânica. Sua instalação se dá na maior parte dos casos, fora da atmosfera explosiva, ou seja, em local de área não classificada muitas vezes situados em painéis de controle e força. Os terminais de saída do dispositivo são identificados pela cor azul conforme pode-se observar na figura 2.13-2 - Dispositivo de barreira.

Figura 2.13-2 - Dispositivo de barreira.

Fonte: Apollo (2017)

O dispositivo barreira Zener é composto por um circuito eletrônico constituído de três componentes principais, resistor, diodo Zener e fusível. Efetuando a proteção de limitação de corrente, regulação de tensão e contra curto-circuito, respectivamente. Responsáveis por conferir proteções especificas dentro de suas características de modo que cada um dos dispositivos não excedam o valor operacional de 2/3 de sua especificação máxima. Como forma de aumentar a confiabilidade do sistema componentes adicionais são inseridos para possibilitar a redundância na proteção. A figura 2.13-3 representa a composição do equipamento associado conectado a um sistema de controle e o dispositivo de campo com segurança intrínseca (SI).

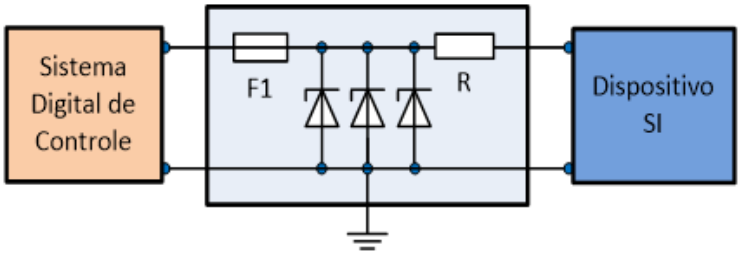

Figura 2.13-3 Equipamento associado: Barreira Zener.

Fonte: Bulgarelli (2013)

O dispositivo de barreira galvânica é aplicado em situações que se tenham restrições em relação ao aterramento utilizando-se as chamadas barreiras de isolamento, constituídos de relés, isoladores ópticos e transformadores eliminando a

conexão direta entra área classificada e a área não classificada. Os mesmos requisitos de confiabilidade são aplicados conforme observa-se na figura 2.13-4 isoladores galvânicos.

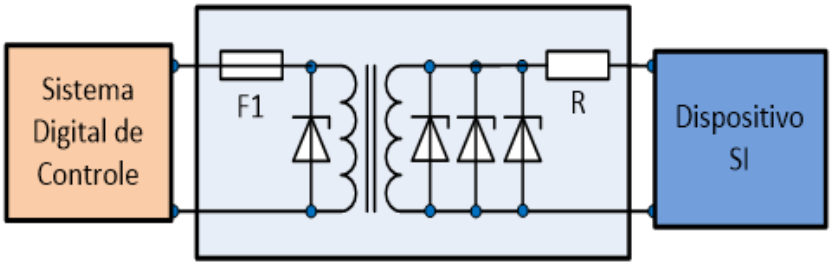

Figura 2.13-4 - Equipamento associado: isolador galvânico.

Fonte: Bulgarelli (2013)

A energia liberada por uma eventual centelha em circuitos SI, sejam em condições normais ou em situações de falha previstas no projeto, devem possuir um nível de energia insuficiente (elétrica ou térmica) para provocar ignição de uma mistura contendo atmosfera explosiva. Qualquer dispositivo que possua características resistivas e não armazene energia pode ser inserido ao circuito sem comprometer a integridade da segurança. Esses dispositivos são denominados como equipamentos simples e sua certificação não é requerida desde que esses estejam conectados a um circuito de SI (ABNT NBR IEC 60079-25, 2009).

Para serem considerados como equipamento simples devem atender aos seguintes requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR IEC 60079-25 sendo:

- Ausência de baterias ou acumuladores internos;
- Limitados a 25 mW, 100 mA e 1,5 V;
- Estar conectados a uma única fonte de alimentação;
- Não possuir transformação interna de tensão ou corrente.

É possível observar através da figura 2.13-5 alguns equipamentos que atendem os requisitos descritos na norma podendo serem instalados inclusive em zona 0 desde que o equipamento associado possua EPL Ga.

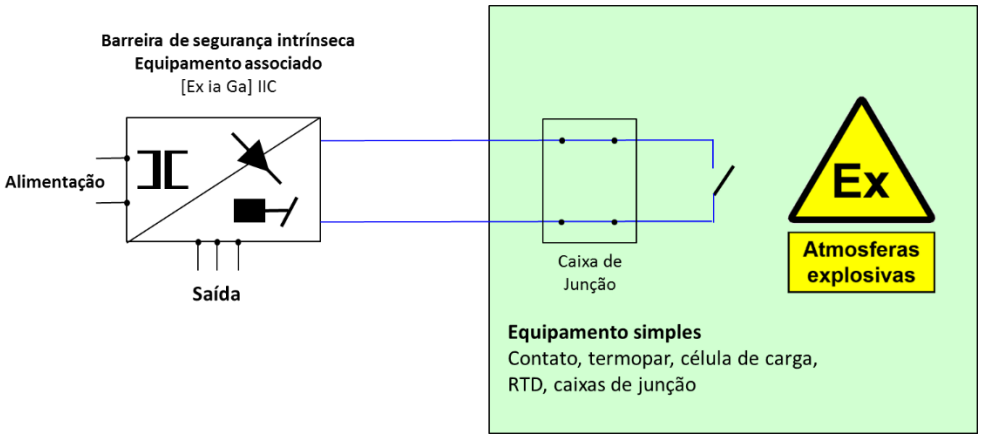

Figura 2.13-5 - Exemplos de equipamentos simples.

Fonte: Bulgarelli (2013)

Os requisitos de controle se estabelecem a medida que a conjunção dos elementos críticos possa ser medidas e referenciadas a níveis seguros, sendo assim os valores de tensão e corrente levando-se em conta a temperatura superficial do invólucro devem ser monitorados (BULGARELLI, 2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Considerações iniciais

O capítulo anterior foi dedicado a explanar o contexto que fundamenta o ambiente de atmosferas explosivas e o conceito que permite a classificação das áreas em função dos tipos de gases, poeira e classe de temperatura. Abordado também a estrutura de fomento para criação, revisão e publicação das normas nacionais.

Este capítulo discorre sobre o método de proteção mencionado com base na monitoração da temperatura de superfície dos equipamentos recomendados pela norma ISO 80079-37 associadas ao tipo de proteção Ex “b”, utilizando como elemento de atuação o uso de relés microprocessados assegurando o controle da fonte de ignição. Apresenta ainda os critérios estabelecidos para proteção de equipamentos baseados na análise de impacto de falha, mantendo a proteção da instalação a partir dos equipamentos monitorados.

3.2. Materiais utilizados

Para o desenvolvimento deste trabalho, que se baseia na ampliação da monitoração do estado térmico dos equipamentos não elétricos, utilizou-se o cenário de uma empresa próxima a área portuária da cidade de Santos que realiza manipulação de farinha de soja potencialmente inflamável. A área de armazenamento e transferência utiliza-se de transferência de produtos através de esteiras transportadoras alimentadas por motores de segurança aumentada Ex “e” adequados a ambientes contendo poeiras combustíveis. Observa-se a distribuição das esteiras por meio da figura 3.2-1 indicando os pontos de transferências de produtos de um setor para outro passando a área de expedição representados por marcações em vermelho.

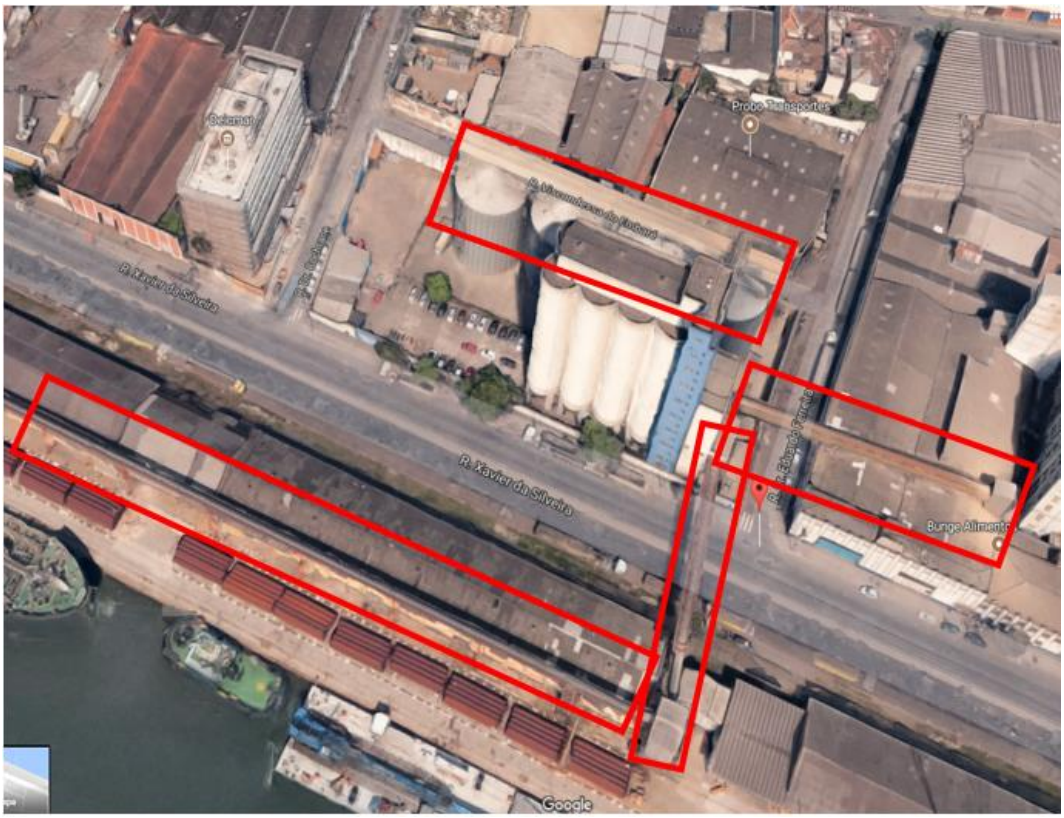

Figura 3.2-1 - Distribuição das esteiras transportadoras da empresa "x".

Fonte: Google Maps (2017)

O motor do fabricante WEG está acoplado a uma caixa de engrenagens redutora do fabricante Flender Siemens conforme pode-se observar na figura 3.2-2, que confere movimento ao conjunto esteira transportadora.

Figura 3.2-2 - Redutora de engrenagem fabricante Flender Siemens.

Fonte: O-tech (2017)

A proteção do sistema elétrico se dá através de um relé microprocessado do fabricante Schneider modelo S40 da série SEPAM indicado através da figura 3.2-3, capaz de estabelecer modelos elétricos e térmicos calculados a partir dos dados de corrente de entrada, de dados fornecidos pelo fabricante do motor e opcionalmente por medições de temperaturas do motor e ambiente por meio de RTD’s.

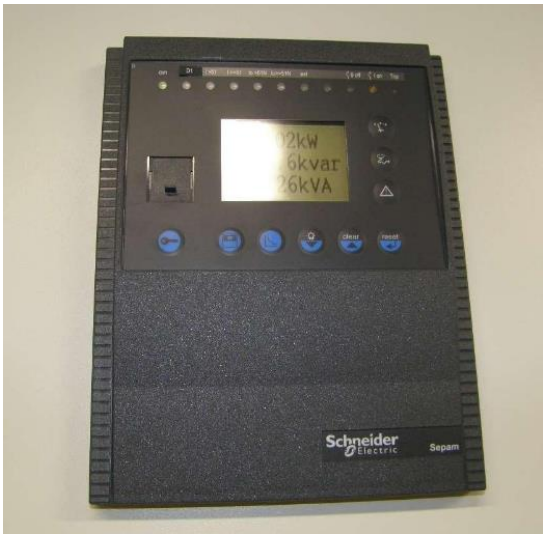

Figura 3.2-3 - Relé microprocessado Schneirder modelo S40.

Fonte: SCHNEIDER (2017)

Associado ao modelo citado utilizou-se os parâmetros do elemento sensor de temperatura Pt-100 do fabricante ECIL representado através da figura 3.2-4, que é um tipo de termorresistência de vasta utilização na indústria em virtude de sua estabilidade e repetibilidade na apresentação da transdução do sinal medido. Permite medições de temperatura confiáveis dentro da faixa proposta a esse estudo, limitado a valores menores que 200 °C.

Figura 3.2-4 – Termorresistência.

Fonte: ECIL (2017)

Utilizando-se das informações dos equipamentos dispostos e da aplicação ao qual se destinam dentro do universo proposto, baseados pelos critérios da norma NBR 5462 que trata do tema de confiabilidade e mantenabilidade, estabeleceu-se parâmetros para definir o impacto de falha do modelo proposto levando-se em conta fatores como produção, segurança e meio ambiente.

3.3. Modelo típico de proteção dos equipamentos

Os sistemas de transmissão mecânica são alimentados por motores elétricos de média ou baixa tensão, a depender da carga solicitada pelo sistema. As condições de limites são definidas pelo rotor no momento de partida, medida através da corrente com o rotor bloqueado e também pelo estator em condições de sobrecarga em situações de operação. Desse modo pode-se proteger o estado térmico do motor a partir do limite do tempo de rotor bloqueado e em casos que demandem redundância visando a segurança pode-se associar medidas do estator (BULGARELLI, 2006).

Um dos dispositivos capazes de realizar o gerenciamento do sistema elétrico e ou da carga são os relés microprocessados multifunções, baseados na estimativa da temperatura do motor utilizando-se de modelos térmicos visando manter os valores abaixo da curva de dano térmico do equipamento.

Acumulam diversas funções como por exemplo a proteção térmica contra sobrecargas, proteção contra sobrecarga, sobre temperatura de enrolamentos e de mancais fazendo uso de sensores externos, desequilíbrio de fase, proteção por monitoração de tempo de partida, entre outros. Essas funções são descritas de acordo com a norma ANSI/IEE C37.2 – *Standard Electrical System Device Function Numbers and Contact Designations* onde uma parte das funções aplicáveis aos motores industriais podem ser observadas conforme a tabela 3.3-1 (ANSI/IEEE, 2016).

Tabela 3.3-1 - Funções de proteção aplicáveis a motores indicados pela ANSI/IEEE.

Fonte: ANSI/IEEE (2016)

Função de proteção	Descrição da função de proteção aplicável a moteores de indução trifásicos industriais
23	Dispositivos de controle de temperatura
27	Subtensão
37	Subcorrente
38	Proteção de temperauta de mancal (RTD)
46	Desbalanço de corrente ou corrente de sequência negativa
47	Sequência de fase incorreta ou reversão de fase
48	Monitoração de tempo de partida
49	Proteção Térmica
50	Sobrecorrente instantênea
50GS	Sobrecorrente de terra (*ground Sensor*)
51	Sobrecorrrente de tempo inverso (load jam)
66	Inibição de repartida
86	Bloqueio de partida
87M	diferencial de fluxo autobalanceado

Esses parâmetros são necessários para manter o sistema protegidos tanto durante os estados de partida, como durante o funcionamento normal e ocasionalmente durante condições anormais do sistema elétrico, motor ou ainda do sistema mecânico associado ao conjunto. Pode-se observar através da figura 3.3-1

um diagrama típico de proteção de um motor por intermédio de um relé microprocessado multifunção.

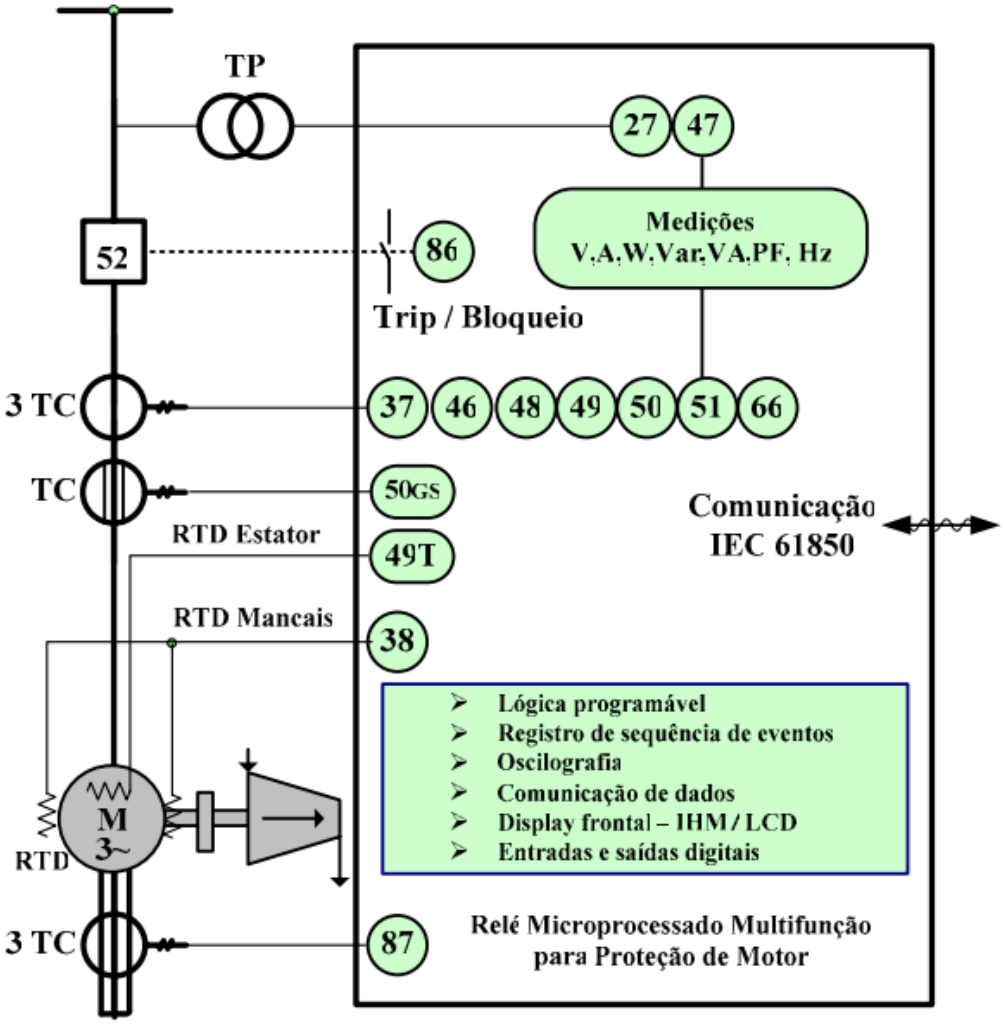

Figura 3.3-1 - Diagrama típico de aplicação de relé de proteção multifunção.

Fonte: BULGARELLI (2006)

Bulgarelli (2006) afirma que esse conjunto de funções de proteção pode ser considerado como uma referência para um sistema completo de proteção para um motor de indução trifásico.

Vale ressaltar que a monitoração das variáveis elétricas realizadas pelo relé microprocessado multifunção se dá fisicamente através da conexão de transdutores na forma de transformadores de tensão e corrente TC´s e TP´s ligados ao barramento

de entrada de energia geralmente instalado em painéis de controle e força tendo interface com disjuntores e contatores auxiliares.

Os equipamentos conectados a esses sistemas, podem ou não estarem presentes em ambientes contendo atmosferas explosivas. No caso de estarem imersos nesse ambiente devem atender os requisitos de proteção para cada zona e grupo de gases ou poeira combustível, lembrando que nenhum motor elétrico pode aturar em ambientes de zona 0 (ANBT NBR IEC 60079-7). Pode-se observar na figura 3.3-2 um diagrama que contém as partes funcionais de proteção e monitoração da rede elétrica e conectados a um motor de indução instalado em área classificada.

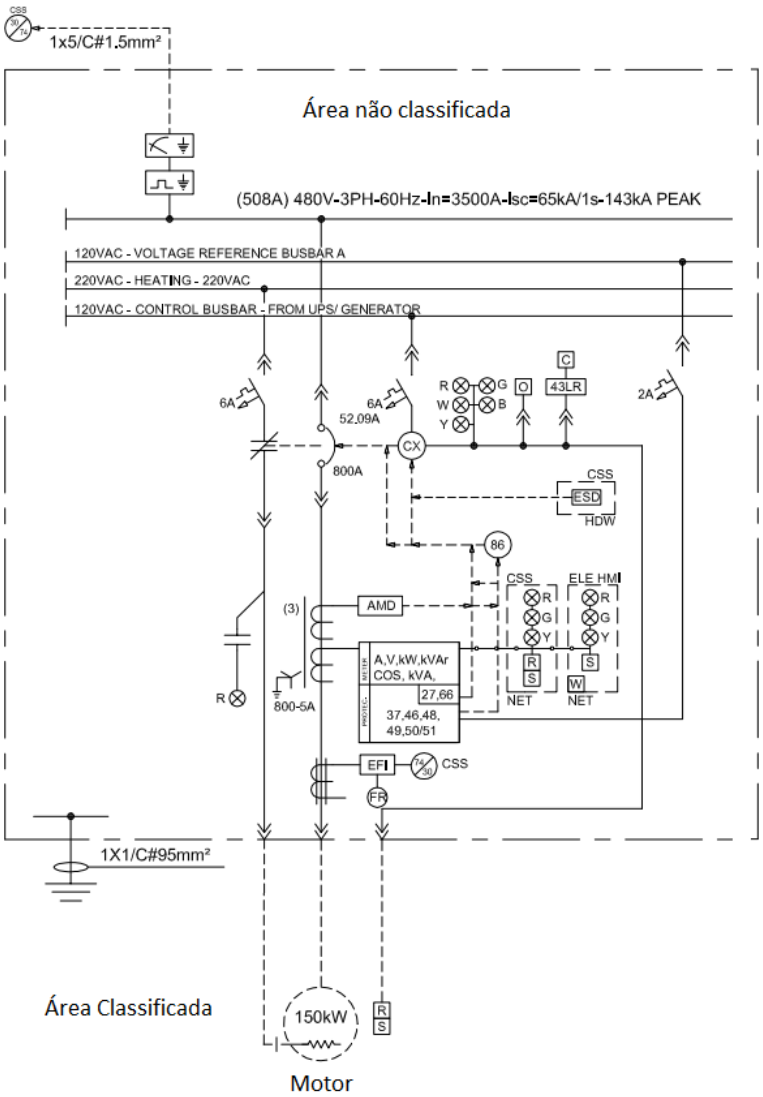

Figura 3.3-2 - Diagrama elétrico de motor com sistema de proteção por relé multifunção.

Fonte: Adaptado Projeto Alimentador (2016)

A proteção dos sistemas mecânicos ligados ao equipamento elétrico se dá por meio da medição de temperatura de mancais de motores, compressores, sistemas de lubrificação monitorados pela função 38. Mediante a atuação desta função pode-se evitar danos mais sérios ao sistema mecânico assim como o conjunto elétrico representados pelo estator e rotor do motor. Conforme mencionado a medição da temperatura pode ser feita utilizando-se sensores do tipo RTD servindo a funções de alarme e desligamento.

Por qualquer que seja o evento, os sensores que realizam a monitoração e a percepção de eventos que podem anteceder uma falha ou garantir a integridade da máquina mediante seu desligamento comandado pelo relé. A figura 3.3-3 apresenta um modelo de proteção térmica aplicado ao conjunto de um motocompressor típico.

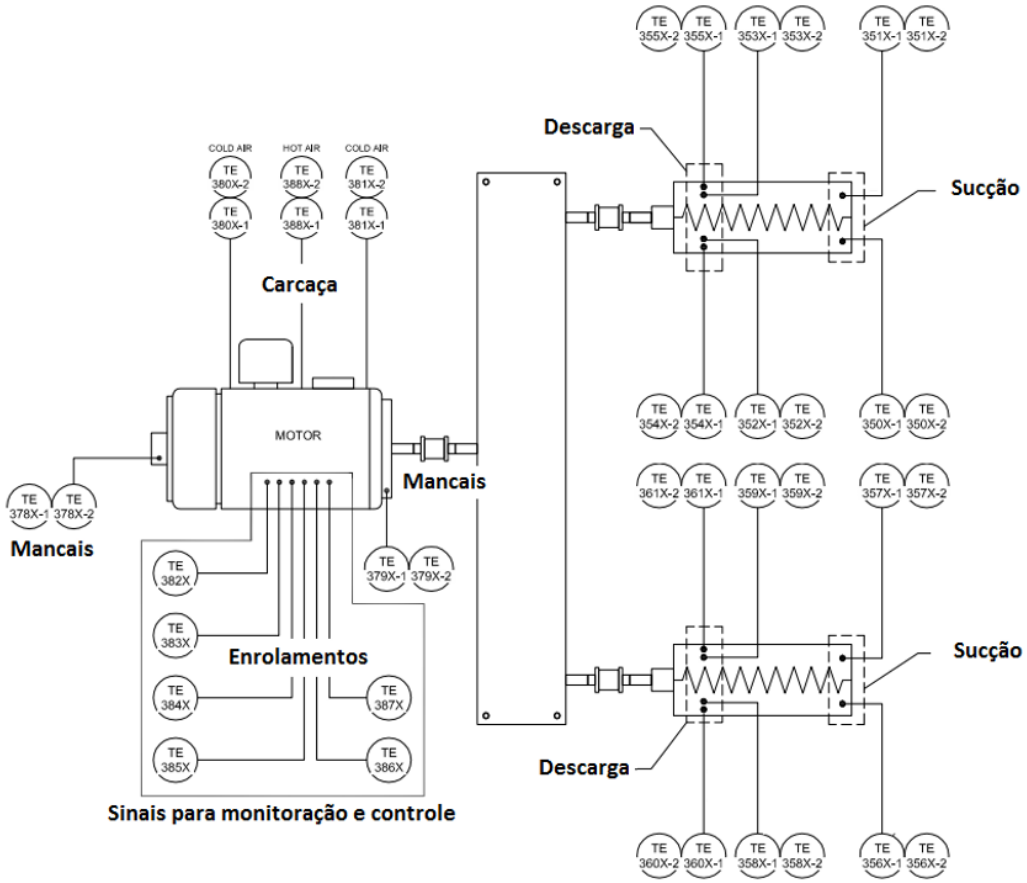

Figura 3.3-3 – Monitoração de temperatura de um motocompressor típico.

Fonte: Adaptado Kobelco (2017)

Como forma de obter um parâmetro através da monitoração da temperatura de um mancal de deslizamento os valores ajustados para a função 38 normalmente está na faixa de 100 °C para alarme e 120 °C para o desligamento da máquina, isto é, para *TRIP* (WEG, 2017).

É possível notar que existem diversos pontos a serem monitorados não somente os mancais, mas também rolamentos, o estator e os conjuntos compostos pela máquina acionada que possam conter energia armazenada.

3.4. Proteções baseadas na temperatura de ignição do produto inflamável

Os equipamentos elétricos ou não elétricos inseridos em um ambiente de possível manifestação de uma atmosfera explosiva, requerem uma seleção que garanta que a temperatura máxima de superfície não atinja a temperatura de ignição de qualquer mistura de gás, vapor ou névoa que possa estar presente no ambiente.

Deve-se observar os dados do equipamento para a informação de uma possível faixa de temperatura ambiente especifica, isso porque quando tal informação não estiver presente deve-se considerar uma faixa de temperatura de – 20 °C a +40 °C.

Variáveis externas dentro do processo produtivo podem influenciar a elevação da temperatura na região onde esses equipamentos operam e assim contribuir para que este se torne uma fonte de ignição. Alguns fatores são provenientes da operação normal da unidade, como por exemplo, temperatura de processo por meio de fornos, permutadores, reações químicas, reatores, a própria radiação solar ou ainda qualquer condição anormal especificada como, arcos ou centelhas produzidos por equipamentos elétricos, descarga proveniente de carga eletrostática, faiscamento mecânico ou por atrito associado a alguma falha no equipamento.

Independente da forma em que essa manifestação de liberação de energia possa ocorrer seus efeitos devem ser considerados e através disso as medidas de controle de risco devem ser mapeadas.

Segundo norma NBR 60079-14 (BULGARELLI, 2010) ações como forma de evitar os riscos de ignições devem ser aplicados de modo mais abrangente possível,

uma vez que, qualquer que seja a causa de uma ignição ocorrer, esta deverá ser evitada. Em situações que ocorrem depósito de poeira em superfície ou ainda a presença de poeira na forma de nuvem deve-se manter a temperatura dos equipamentos abaixo da limitação estabelecida pela norma, ou alguma ação que bloqueie a condição de risco. Garantir a limitação da energia dos circuitos elétricos (ABNT NBR IEC 60079-11, 2013) de modo a evitar arcos, centelhas ou evolução de temperaturas capazes de ocasionar a ignição da poeira combustível.

3.5. Metodologia aplicada

Dentro do setor industrial responsável por grande parcela do consumo de energia elétrica, o motor elétrico figura um papel de relevância representativa, de acordo com informações da *International Energy Agency* - IEA, apresentadas no estudo *Energy-Efficientcy – Policy Opportunities for Electric Motor-Driven System,* os motores elétricos representam cerca de 90% do total de acionamentos do setor industrial.

Desse montante pode-se destacar sua utilização em compressores (32%), bombas (19%), ventiladores (19%) e sistemas mecânicos ligados ao movimento (30%) de acordo com a figura 3.4-1 (CENEL, 2016).

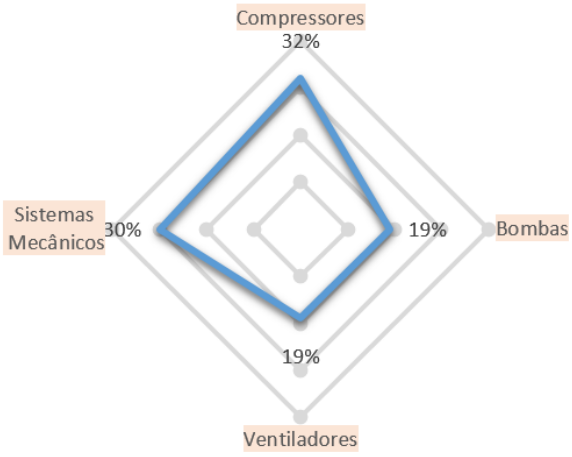

Figura 3.5-1– Distribuição de energia elétrica demandada por motores, por tipo de acionamento.

Fonte: Adaptado BULGARELLI (2006)

Desse modo é possível notar a associação dos motores com os mais diversos equipamentos e com isso a possibilidade de se controlar de modo direto ou indireto a temperatura de dispositivos não elétricos com a finalidade de garantir que a temperatura de superfície não atinja valores que possam ocasionar uma ignição em ambientes que contenham atmosferas explosivas.

Utilizando-se da estrutura e distribuição dos equipamentos da empresa “x” que realiza a manipulação e processamento de farinha de soja que gera poeiras em suspensão, foi possível contextualizar e estabelecer uma estimativa da concentração de material e deste modo determinar o impacto de falha dos equipamentos inseridos nesse processo. A figura 3.5-2 permite observar os conjuntos de equipamentos, listados a saber:

- 1 – Esteiras transportadoras com capacidade de 600 t/h e aproximadamente 500 metros de extensão;
- 2 – Armazém
- 3 – Silos verticais de transferência de material com capacidade 4.000 ton.;
- 4 – Silos de recepção;
- 5 –Torres de recepção.

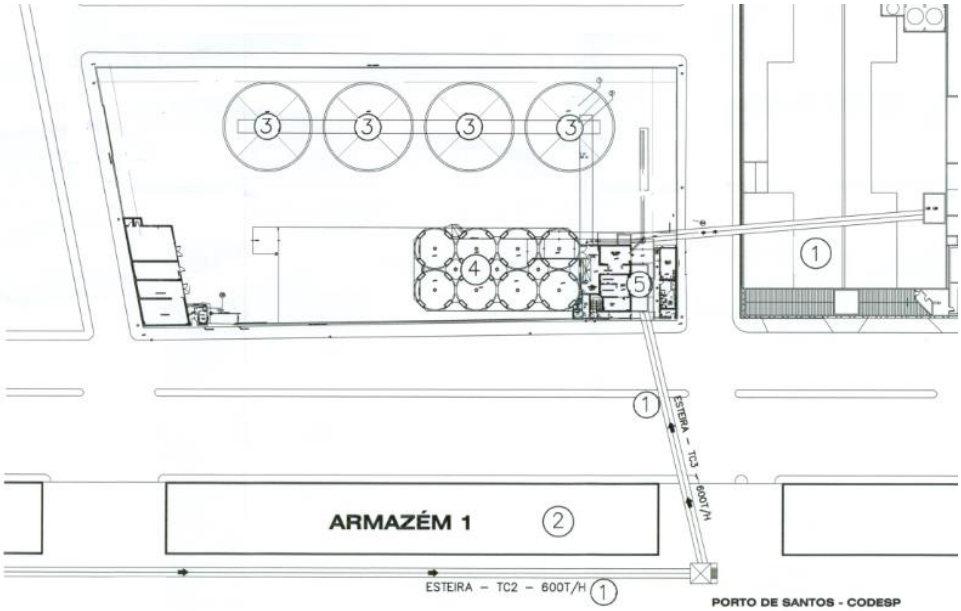

Figura 3.5-2 - Distribuição de equipamentos da empresa "x".

3.6. Determinação do impacto de falha do equipamento

Diante de tantos equipamentos que integram uma planta industrial a melhor condição possível seria que todos os dispositivos que apresentam possibilidades de falhas tivessem algum tipo de monitoração. Embora essa seja uma condição desejada, ela não se configura na pratica haja vista o elevado impacto financeiro dessa hipotética implementação.

No entanto, é razoável que um ponto de equilíbrio seja alcançado para que os locais mais críticos e os equipamentos sujeitos a índices relevantes de falhas estejam mapeados. E, para que isso seja possível é preciso ponderar o impacto de falhas desses equipamentos, de maneira que a confiabilidade operacional seja mantida e que nas situações de falha os pontos observados de fato permitam a garantia da segurança das instalações e sobretudo das pessoas.

O levantamento estatístico dos eventos relacionados a manutenção dos equipamentos e consequentemente seus históricos de falhas servem de base para quantificar os eventos registrados e assim compor um escalonamento priorizando os eventos de maior frequência como pode ser observado na tabela 3.6-1.

Tabela 3.6-1 Definição de impacto baseado na frequência.

Probabilidade		Critério de definição
FR	Frequente	Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil do equipamento
PR	Provável	Esperado ocorrer mais de uma vez durante a vida útil do equipamento
PP	Pouco provável	Possível ocorrer 1 vez durante a vida útil do equipamento
RE	Remota	Conceitualmente possível, porém improvável de ocorrer durante a vida útil do equipamento

Outra possibilidade é determinação da gravidade do evento mediante a sua ocorrência estabelecendo ainda a abrangência do dano. Pois dependendo da ocorrência da falha essa pode se alastrar e servir de base para eventos de maior gravidade, apresentada conforme a tabela 3.6-2 - definição de impacto baseado na consequência do evento.

Tabela 3.6-2 Definição de impacto baseado na consequência

Consequência		Critério de definição
MA	Muito Alta	A falha pode causar múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidades extramuros
AL	Alta	A falha pode causar fatalidades intramuros ou lesões graves extramuros
ME	Média	A falha pode causar lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros
BA	Baixa	A falha pode somente causar lesões leves ou implicar em casos de primeiros socorros

De posse dessas métricas, probabilidade de ocorrência e análise da consequência pode-se então estabelecer uma matriz de eventos e correlaciona-las a quesitos específicos de gerenciamento de risco, como os da segurança, produção, meio ambiente e mantenabilidade (ABNT NBR 5462, 2016). Atribui-se valores de um a cinco, onde o número um representa a baixa probabilidade do evento ocorrer associado a baixa consequência desse evento e o número cinco representa a alta probabilidade do evento com grandes consequências diante de sua manifestação, pode-se observar na tabela 3.6-3 Matriz de risco – Probabilidade X Impacto.

Tabela 3.6-3 Matriz de risco.

Probabilidade		IMPACTO			
		Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
FR	Frequente	1	4	5	5
PR	Provável	1	3	4	5
PP	Pouco provável	1	3	3	4
RE	Remota	1	1	1	3

Conforme a disposição da matriz pode-se observar que as linhas representam a probabilidade do evento indesejado que é a falha ou a quebra de algum componente da máquina acontecer estará, portanto, correlacionada com as colunas que indicam o grau de risco sob a referência (representada pela segurança) analisada.

3.7. Estrutura proposta

Diversas são as medidas utilizadas para o controle de equipamentos para aplicações em ambientes de atmosferas explosivas sejam na prevenção das fontes de ignição, confinamento de partes centelhantes em invólucros a prova de explosão, equipamentos pressurizados, entre outros. Contudo medidas complementares de segurança devem ser adotadas com o intuito de garantir que tais condições críticas de segurança não se estabeleçam, a figura 3.7-1 apresenta o mapeamento de eventos segundo as diretivas ATEX[2] da União Europeia para determinação dos eventos crescentes que levam a um incêndio um ambiente “Ex” (GAVRANIC, 2007).

[2] ATEX- Conjunto de regras que definem o processo de certificação de equipamentos destinados a atmosferas explosivas na União Europeia expressos na forma de diretiva. Compostos de anexos que apresentam requisitos específicos para ambientes “Ex” aplicáveis a equipamentos elétricos e não elétricos.

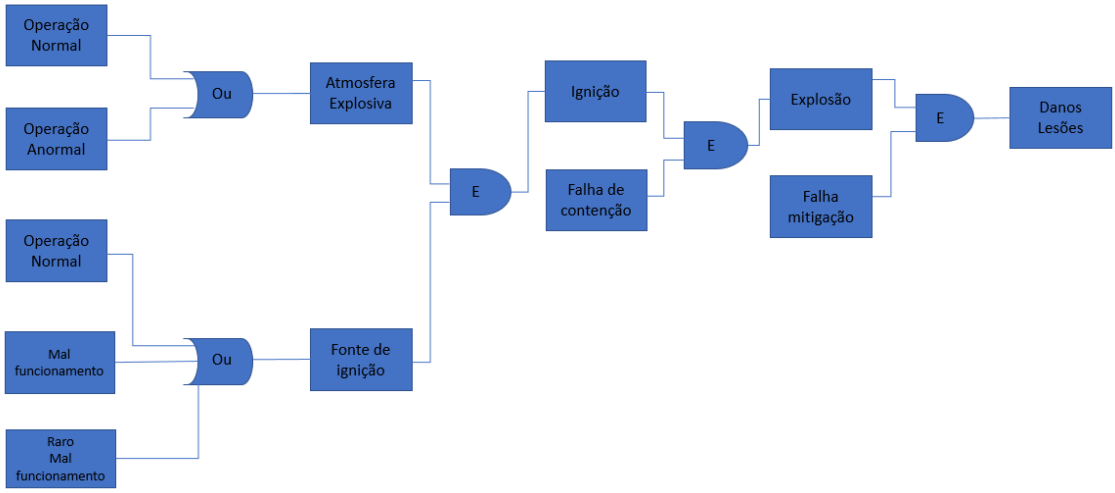

Figura 3.7-1 – Conceito de proteção a explosão segundo diretiva ATEX.

Fonte: *Explosive Atmospheres (*2015)

A proposta deste trabalho se apresenta como uma oportunidade de atuar especificamente no campo da monitoração de fontes de ignição tendo como referência os equipamentos não elétricos elencados no sistema de transporte de farinha de soja da empresa citada anteriormente, sendo atuado por motores elétricos com possibilidade de ***trip*** (desligamento automático mediante superação de algum parâmetro crítico) através de relés microprocessados multifunções. E a determinação de quais pontos devem receber monitoração foram obtidos considerando-se os resultados de relevância por meio do impacto de falha dos equipamentos. Pelo fluxograma apresentado na forma da figura 3.7-2 é possível observar a estrutura que define o projeto.

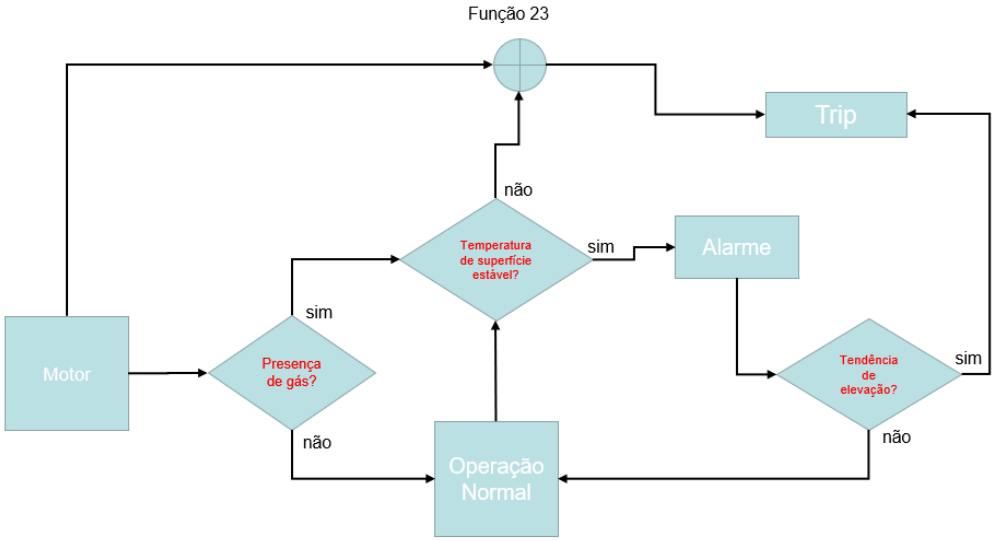

Figura 3.7-2 – Fluxograma de controle de temperatura de superfície.

Esse cenário prevê a possibilidade de ocorrência de presença de gases ou poeiras combustíveis no ambiente e o monitoramento da temperatura no ponto escolhido. O processamento da informação é gerido pelo relé microprocessado e representado pela função 23 da tabela ANSI – *American National Standards Institute*, que descreve as funções especificas dos relés que nesse caso é dedicado a monitoração da temperatura (ANSI/IEEE, 2017). Esse modelo permite um estágio de alarme que monitora a evolução e caso se mantenha a tendência de elevação da temperatura um estágio de ***trip*** da máquina com o intuito de conter esse avanço impedindo que o ponto monitorado atinja valores capazes de permitir a ignição de qualquer eventual mistura inflamável que possa estar presente no ambiente.

3.8. Diagrama em blocos do controle

Para estruturar o desenvolvimento pretendido baseado no fluxograma apresentado através da figura 3.8-2 – Fluxograma de monitoração de temperatura de superfície, foi elaborado um diagrama em blocos que elencasse todos os elementos necessários para que a monitoração proposta pudesse ser implementada.

O mecanismo de proteção foi projetado de forma que possa atuar em duas faixas distintas de temperatura para permitir os estados de alarme e ***trip*** na faixa de controle desejada. O elemento sensor utilizado para esta referência é do tipo resistência de platina PT 100 que apresenta resistência de 100 Ω a 0 °C. O controle se estabelece a partir da evolução da temperatura e é ativado caso a variável monitorada seja superior ao limite da temperatura de superfície denominada “TS” para cada um dos dois níveis de segurança, sendo o primeiro nível denominado “alarme” indicando portanto, que houve uma evolução da temperatura do conjunto monitorado alcançando níveis que podem se tornar perigosos caso nenhuma ação suplementar seja adotada. O segundo nível chamado ***TRIP*** sinaliza que a temperatura monitorada permaneceu em evolução e atingiu limites críticos estabelecidos pela norma ABNT NBR IEC 60079-14 de máxima temperatura de superfície permissível (ABNT NBR IEC 60079-14, 2016), e portando ocasionará a interrupção do sistema a fim de garantir que a mínima temperatura de ignição esteja presente na superfície do equipamento monitorado (CENEL, 2016).

Desse modo se a temperatura estiver entre valores maiores que -35 °C e menores que 200 °C o sistema estará operacional destinando os sinais para o monitoramento “TS” possibilitando sua atuação. A figura 3.7-1 apresenta a disposição do diagrama em blocos associado a lógica de controle mencionada.

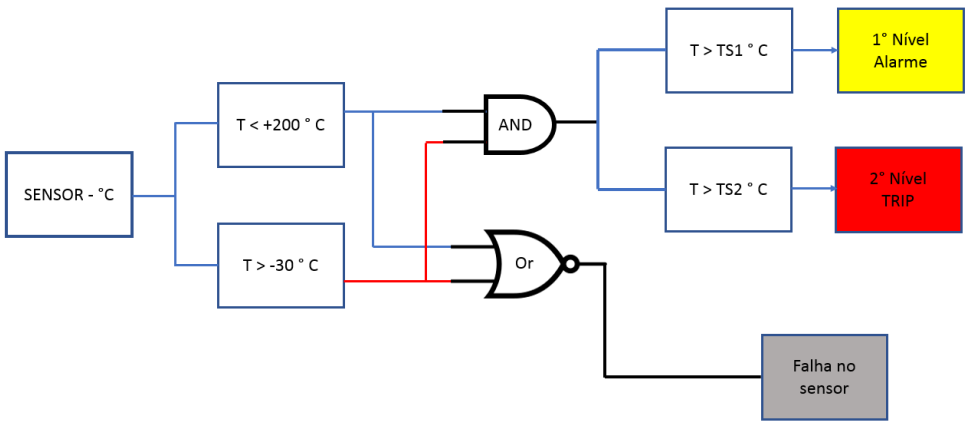

Figura 3.8-1 - Diagrama em blocos da lógica de monitoração da temperatura de superfície “TS”.

Na ocasião de haver alguma falha no elemento sensor foi projetado duas variações de monitoramento que indicarão a condição de falha no sensor sinalizando a condição anormal do sistema. Tal condição verifica o estado de sensor em curto-circuito ou desconectado. A condição de sensor em curto-circuito é identificada quando for detectado uma temperatura inferior a -35 °C e no caso de sensor desconectado quando for detectado valor superior a 200 °C. Para o sensor adotado seriam as regiões de mínima e máxima resistência (Ω).

3.9. Elementos químicos de referência para a monitoração da temperatura

De acordo com o a norma ABNT NBR IEC 60079-20-1:2011 que estabelece em seu anexo B (ver tabela completa nos apêndices) uma lista informativa contendo uma classificação de elementos inflamáveis que compõem a mistura de gás ou vapor em contato com o ar, contendo diversas informações inclusive a temperatura de autoignição permitindo o estabelecimento de parâmetros que evitem o risco de uma explosão a partir de qualquer fonte de ignição.

Quando se trata de poeiras suspensas no ambiente com potencial de formar camadas superficiais nos equipamentos a norma de referência é a ISO/IEC 80079-20-2 – *Explosive atmospheres – Part -20-2: Material characteristics – Combustible dust test methods*, que apresenta na forma da tabela 3.9-1 valores de referência da temperatura de ignição de camada ou poeiras. A lista complementar também pode ser encontrada na NFPA 499 – (*National Fire Protection Association) – Recommended Practice for the Classification of Combustible Dust and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas* (NPFA, 2004).

Tabela 3.9-1 - Temperatura de ignição de poeiras combustíveis.

Poeira combustível	Valor de referência de temperatura de ignição de camada ou poeira (ºC) NFPA 499
Açúcar	370
Arroz	220
Bagaço de cana	275
Canela	230
Carvão	180
Casca de laranja	270
Celulose	260
Chocolate natural	240
Enxofre	220
Farinha de soja	**190**
Farinha de trigo	360
Goma arábica	260
Madeira	260
Milho	250
Nylon	430
Epóxi	540
Policarbonato	710

Fonte: NFPA (2004)

Desse modo foi possível utilizar os dados de referência ajustados ao produto manipulado pela empresa considerada, que é a farinha de soja, destacado na tabela 4.3-1 permitindo assim compor os parâmetros de alarme e ***trip*** para a monitoração dos pontos de temperatura de superfície dos equipamentos propostos.

3.10. Parametrização das faixas de monitoração

A fim de apresentar os valores expressos em graus Celsius que permitem a segurança operacional da unidade, garantindo que os equipamentos se mantenham abaixo da temperatura mínima considerada crítica utilizou-se a expressão (2.4) para determinar os valores Tmáx para o tipo de material manipulado pela empresa , porém aplicável a qualquer produto contemplado pela lista do anexo B da norma ABNT NBR IEC 60079-20-1:2011 ou da NFPA 499.

O limite Tmáx se estabelece como uma fronteira uma vez que se apresenta em valores abaixo do limite crítico de temperatura permissível para justamente conceder a proteção requerida. Comparando o valor Tmáx com o diagrama em blocos

apresentado através da figura 3.8-1 este representa o sinal de TS2 e 2° Nível responsável pelo desligamento da máquina (***TRIP***) na condição de segurança.

A condição de alarme que permite o acompanhamento da evolução da temperatura se estabelece com valores na razão de Tmáx/2. É possível observar através da tabela 3.10-1 os valores de TS1 - 1° Nível (amarelo) e TS2 – 2° Nível (vermelho) aplicáveis a poeira combustíveis.

Tabela 3.10-1 - Valores de referência para controle de temperatura de superfície para poeiras combustíveis.

Poeira Combustível	Temperatura de ignição °C	1° Nível Alarme °C	2° Nível TRIP °C
Açúcar	370	123,4	246,7
Arroz	220	73,3	146,7
Bagaço de cana	275	91,7	183,3
Canela	230	76,7	153,3
Carvão	180	60,0	120,0
Casca de laranja	270	90,0	180,0
Celulose	260	86,7	173,3
Chocolate	240	80,0	160,0
Enxofre	220	73,3	146,7
Farinha de soja	**190**	**63,3**	**126,7**
Farinha de trigo	360	120,0	240,0
Madeira	260	86,7	173,3
Milho	250	83,4	166,7
Nylon	430	143,4	286,7
Epóxi	540	180,0	360,0
Policarbonato	710	236,7	473,4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Considerações iniciais

O capítulo anterior foi apresentado com o intuito de estruturar o modo como as informações foram expostas dentro da abordagem escolhida que se apresenta na proposta de monitoração da temperatura de superfície, respeitando-se as recomendações das normas vigentes.

Neste capítulo apresentam-se o modelo proposto e os resultados do monitoramento a ser implementado. São feitas ponderações e estimativas probabilísticas que determinam a frequência e o impacto em caso da ocorrência de falha dos equipamentos elencados para a análise apresentando o resultado de quais receberiam os pontos de observações da temperatura de superfície.

4.2. Modelo de aplicação proposto

Todo dispositivo seja ele mecânico, elétrico com ou sem partes móveis estão sujeitos a falhas e a norma NBR 5462/1994 define diversas possibilidades de falhas.

Falhas por uso incorreto, manuseio, fragilidade, projeto, fabricação deterioração, repentina, gradual, catastrófica, relevante, não-relevante, primária, secundária, parcial e completa. Quaisquer dessas modalidades de falhas, estando o equipamento imerso em um ambiente de atmosfera explosiva, pode levar a sérios problemas envolvendo o equipamento em si, a instalação e pessoas que conduzem a unidade operacional.

De forma a evitar a ocorrência desses tipos de falhas existe o desenvolvimento de diversos tipos de dispositivos de proteção de motores. Atualmente os relés de proteção microprocessados têm sido desenvolvidos para proporcionar uma adequada proteção de motores considerados críticos e os de grande porte. Pode-se citar ainda a evolução das facilidades de proteção, controle e monitoração proporcionados pelas redes de comunicação de dados que possibilitam ao pessoal de operação e manutenção uma melhor avaliação do comportamento do desempenho dos motores e portanto, estender os pontos de observação baseados em estratégias de controle

de risco, monitorando também os equipamentos adjacentes ao motor elétrico garantindo a possibilidade de atuação antes que as falhas quando ocorrerem tenham consequências perigosas sob o ponto de vista da segurança.

Por participar do cenário que envolve a proteção dos motores trifásicos, que utilizam proteções durante os estados de partida, ciclo de funcionamento normal, durante condições anormais de operação do sistema elétrico e do sistema mecânico. Utilizou-se do modelo de proteção térmica de um motor que tem por função evitar danos quando cargas mecânicas são aplicadas acima das capacidades nominais, com o motor em operação o que pode ocasionar o aquecimento prematuro de alguma parte do equipamento podendo ser detectada de modo local garantindo a percepção da eventual evolução de temperatura antes que o limite térmico estabelecido seja atingido.

Apresenta-se na forma da figura 4.2-1 o modelo de aplicação proposto que se apresenta no conjunto do motor de indução trifásico conectado a uma caixa de engrenagens para transmissão de força dedicado a um sistema mecânico de transporte de cargas responsável pela distribuição de produtos da empresa.

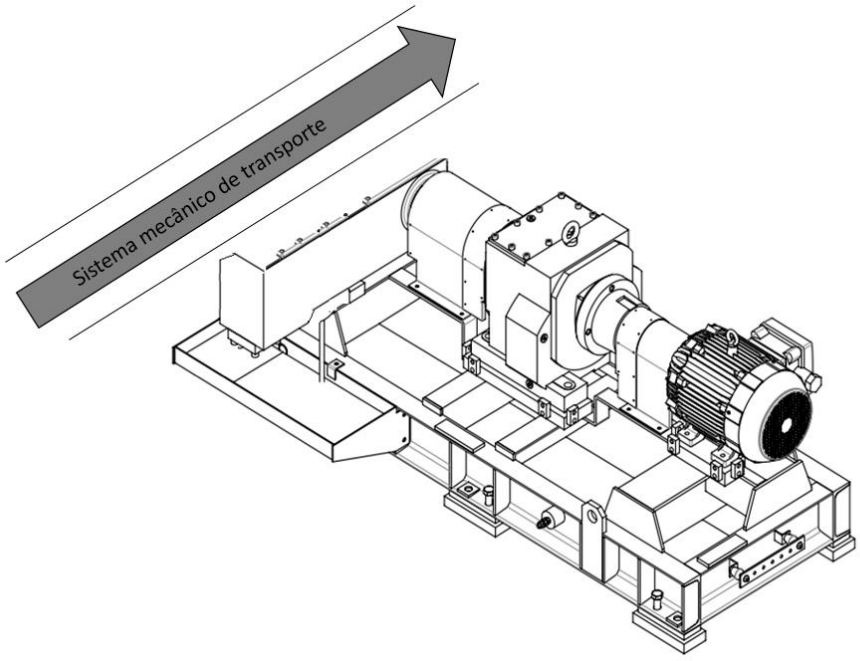

Figura 4.2-1 Motor acoplado ao redutor do modelo proposto.

Fonte: Adaptado Kobelco (2017)

A fim de estruturar a distribuição dos pontos de monitoração da temperatura de superfície do equipamento não elétrico proposto representado pela caixa de engrenagens ou simplesmente redutor, apresenta-se na figura 4.2-2 o motor trifásico acoplado ao redutor e as sinalizações concentrados em um painel dos comandos de alarme, desligamento, liga e desliga do motor.

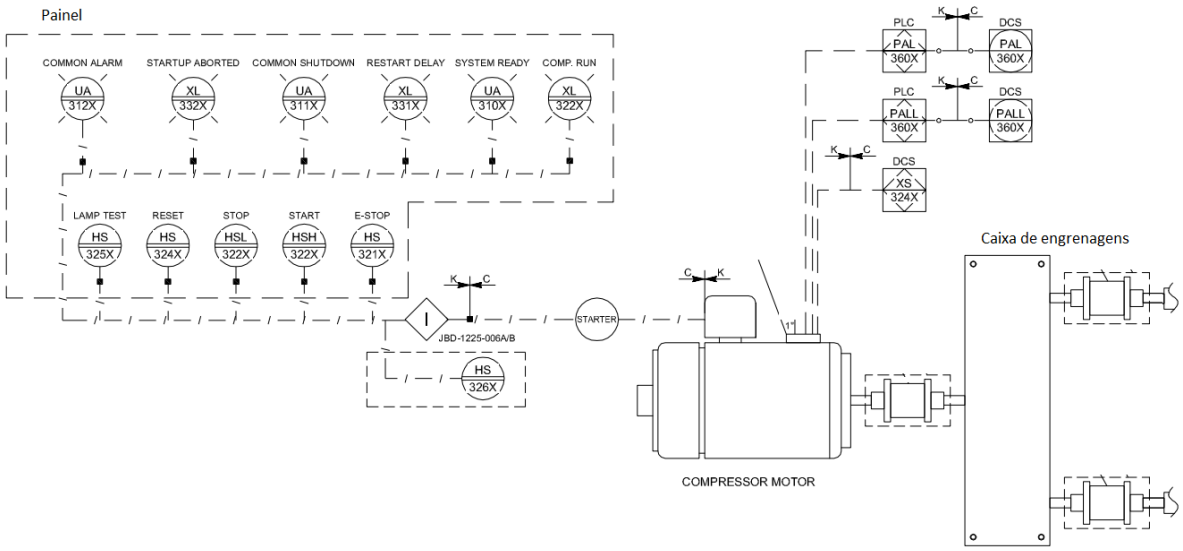

Figura 4.2-2 Esquema motor trifásico acoplado a caixa de engrenagem.

Fonte: Adaptado Kobelco (2017)

A seguir é possível observar a caixa de engrenagens representada pela figura 4.2-3 - Mapeamento por pontos da caixa de engrenagem do modelo proposto de forma isolada, onde pode-se notar as diversas possibilidades na distribuição dos pontos de monitoração determinados por pontos críticos ou ainda a partir de uma distribuição uniforme para garantir a observação do equipamento como um todo. É possível realizar a programação da quantidade de RTD´s e o algoritmo do relé automaticamente mede e indica a temperatura aproximada dos enrolamentos, dos mancais e também dos pontos da caixa de engrenagens.

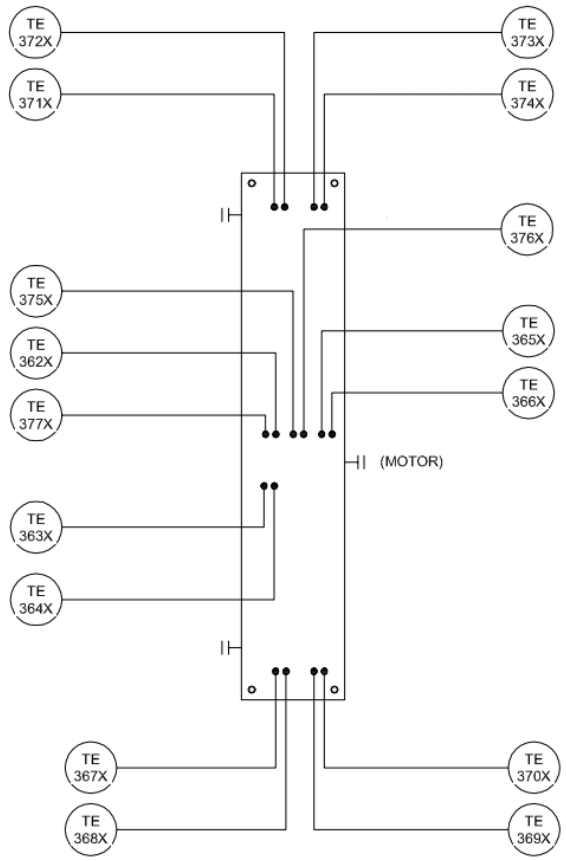

Figura 4.2-3 Mapeamento por pontos caixa de engrenagem do modelo proposto.

Fonte: Adaptado Kobelco (2017)

Integrando os pontos de monitoração da temperatura de superfície da caixa de engrenagem o algoritmo do relé de proteção microprocessado pode comparar o valor presente da capacidade térmica com os valores limites para alarme e para trip, para a decisão de desligamento do motor garantindo assim o funcionamento do conjunto dentro de parâmetros preestabelecidos. Devido a capacidade de processamento dos microprocessadores é possível realizar a modelagem térmica de todo conjunto tendo como referência principal as condições do motor em situação de partida, operação ou repouso ajustando estes parâmetros com o modelo de proteção térmica instalados no interior do motor e conforme a proposta desse estudo nos equipamentos associados sendo possível monitorar inclusive a variação da temperatura ambiente.

As premissas de proteção térmica do relé microprocessado estão alinhadas com as recomendações da norma IEC 60034-1 que estabelece redução do valor da temperatura de trip dos enrolamentos pelos RTD´s e o valor do limite de trip do elemento térmico, se a temperatura ambiente atingir valores acima de 40 ºC. O algoritmo do relé opera na redução de 1 °C em razão do mesmo valor de elevação, além dos 40°C (IEC 60034-1, 2017).

Com isso espera-se fornecer uma proteção térmica eficiente e de modo abrangente durante as condições normais especificadas e eventuais falhas no sistema mecânico capaz de fornecer um sinal de *trip* de saída, na ocasião do valor da estimativa de aquecimento exceder o limite ajustado de *trip.* Fornecer ainda um sinal de alarme de saída, na ocasião da superação de aquecimento ajustado para faixa de alarme, baseados nas medições através dos RTD´s

4.3. Classificação dos impactos de falha dos equipamentos

Os equipamentos que compõem o fundamento desse estudo, tem participação fundamental dentro do contexto operacional da empresa, deste modo elencam atributos relevantes para a classificação de importância baseada no impacto de falha.

Utilizando-se dos equipamentos dispostos na área de manuseio e armazenamento da empresa na forma de motores e redutores conectados ao sistema de transportes de carga, foi atribuído uma codificação para denominar cada um dos conjuntos de modo que se possa realizar uma correta identificação dos equipamentos por local de instalação que se apresenta por meio da tabela 4.3-1, o posicionamento desses equipamentos dentro da unidade que pelo fato de conter material combustível presente na atmosfera se enquadra como área classificada. São 5 grupos de esteiras acionadas por conjuntos eletromecânicos com função de movimentar o produto farinha de soja nas áreas recebimento de matéria prima, processamento, área de transferência, estocagem e setor de expedição.

Tabela 4.3-1 Definição de equipamentos X locais de instalação.

Equipamento	Local de instalação
M-A	Área de processamento
M-B	Área de estocagem
M-C	Torres de recepção
M-D	Expedição trecho 1
M-E	Expedição trecho 2

O fluxo de movimentação do material transportado pelas esteiras pode ocorrer de modo bidirecional de modo a abastecer os silos de matéria prima e permitir o escoamento do produto final seja por transporte rodoviário ou marítimo. A figura 4.3-1 demarca o posicionamento dos equipamentos declarados na tabela de definição de equipamentos e seus respectivos locais de instalação.

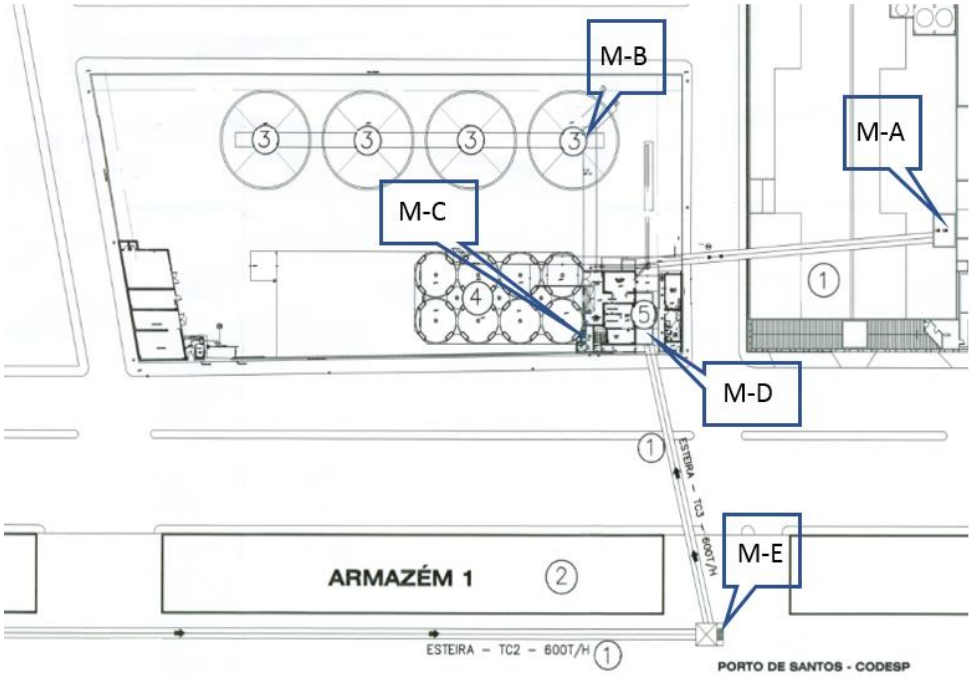

Figura 4.3-1 Posicionamento dos equipamentos empresa “x”.

Conforme mencionado anteriormente o cenário mais conservador sob o ponto de vista da segurança também resultaria em um gasto que poderia inviabilizar o projeto, pois cobriria quase que a totalidade dos equipamentos de modo que se torna necessário uma análise que considere um ponto de equilíbrio permitindo que elementos de relevância sejam protegidos de maneira mais precisa utilizando-se de métodos que evitem a subjetividade da escolha.

De posse das localizações dos equipamentos na planta fabril foi possível confrontar seu posicionamento em relação a classificação de área destinado a ambientes contendo atmosferas explosivas, como sendo uma das premissas para a determinação do impacto de falha do equipamento perante a instalação.

A figura 4.3-2 retrata a distribuição da unidade por zonas, separadas em zona 20, zona 21 e zona 22 conforme recomendação da norma IEC 60079-10-2: Classificação de áreas - Atmosferas explosivas para poeiras (IEC 60079-10-2, 2015).

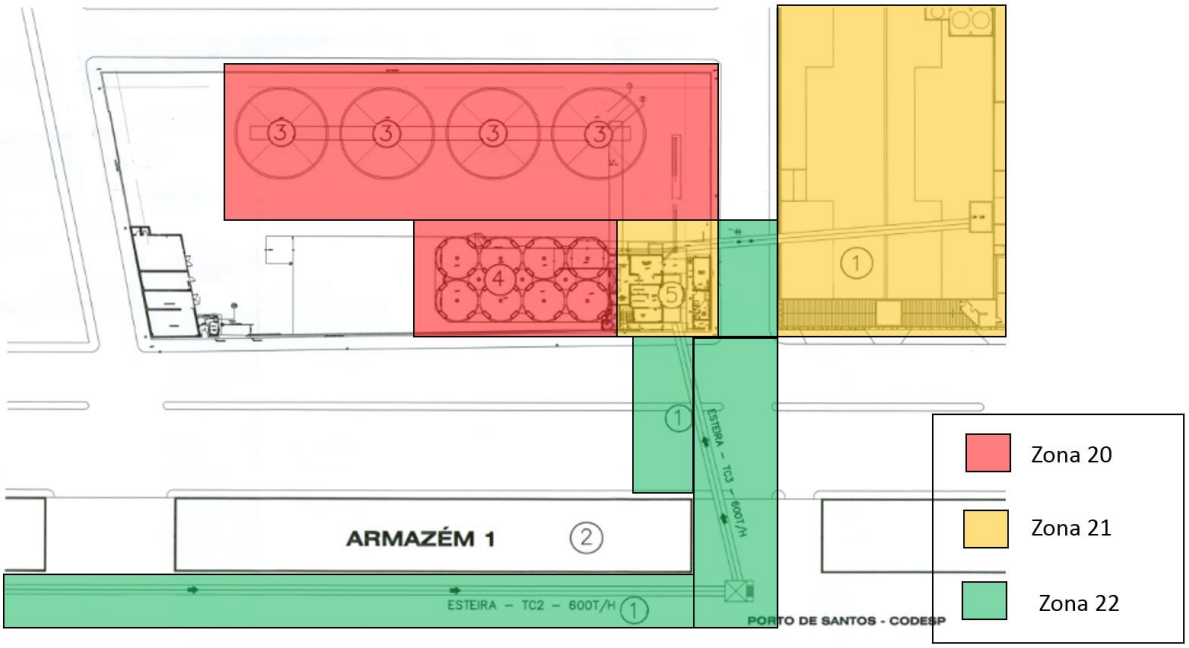

Figura 4.3-2 Classificação de área empresa "x".

Sendo assim foram aplicados critérios de controle do risco elencados na forma de tabela que relacionam a possibilidade de ocorrência de eventos correlacionados as falhas e suas respectivas consequências no âmbito dos setores operacional, produtivo, segurança, meio ambiente, manutenção e custo.

O agrupamento das informações apresentadas é a combinação das matrizes de riscos por especialidades, e a correlação desse evento considerando-se o risco associado ao local de instalação desse equipamento.

Os dados considerados para a análise são baseados em históricos de eventos, informações de fabricantes e levantamentos estatísticos, como de acordo com estudos do IEEE-IAS e EPRI (*Electric Power Research Institute)* apresentados de acordo com a tabela 4.3-2 que aponta as taxas de falhas de motores (ROBINSON; WHELAN; HAGGERTY; 2001).

Tabela 4.3-2 Tipos de taxas de falhas para motores industriais.

Tipo de falha em motores de indução trifásicos industriais	Taxa de Falha
Falha em mancais	41%
Falhas no estator	37%
Falhas no rotor	10%
Outros tipos de falhas	12%

Diante do exposto é possível notar que mais de 50% das falhas levantas no estudo em questão indicam eventos correlacionados a elementos não elétricos de desses 12% possuem eventos que podem estar ligados a falhas na caixa de engrenagens o que corrobora com a iniciativa de se obter parâmetros para os pontos de monitoração abordados.

Portanto utilizou-se a tabela 3.6-1 que correlaciona a probabilidade de um evento ocorrer durante o ciclo de vida do equipamento na instalação para pontuar este quesito na tabela de impacto de falha.

4.4. Análise dos equipamentos baseadas nos critérios de impacto de falha

Os conjuntos M-A, M-B, M-C, M-D e M-E receberam a legenda “PR” denominada PROVÁVEL, onde é esperado a ocorrência de mais de uma falha desse equipamento durante o ciclo de vida total da instalação.

Para a análise de consequência passa a ter influência a dimensão do dano a partir do local onde o equipamento foi instalado, e os critérios adotados se apresentam na forma da tabela 4.4-1, critério de definição elementos de segurança.

Tabela 4.4-1 - Critério de definição elementos de segurança.

Consequência		Critério de definição
MA	Muito Alta	A falha pode causar múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidades extramuros.
AL	Alta	A falha pode causar fatalidades intramuros ou lesões graves extramuros.
ME	Média	A falha pode causar lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros.
BA	Baixa	A falha pode somente causar lesões leves ou implicar em casos de primeiros socorros.

O resultado da avaliação dos conjuntos pode ser verificado conforme a tabela 4.4-2, mapeamento da matriz de risco probabilidade x segurança.

Tabela 4.4-2 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x segurança.

Denominação do Local de Instalação	Equipamento	Grupo	Zona	Probabilidade	Segurança	Consequência
ÁREA DE PROCESSAMENTO	M-A	III	21	**Provável**	**3**	**Alta**
ÁREA DE ESTOCAGEM	M-B	III	20	**Provável**	**5**	**Muito Alta**
TORRES DE RECEPÇÃO	M-C	III	20	**Provável**	**5**	**Muito Alta**
EXPEDIÇÃO TRECHO 1	M-D	III	21	**Provável**	**4**	**Alta**
EXPEDIÇÃO TRECHO 2	M-E	III	22	**Provável**	**3**	**Baixa**

Vale ressaltar a relação diretamente proporcional entre o grau de risco representado pela Zona 20 onde existe a maior presença em volume de material com o risco em potencial que representa perante a unidade.

A análise sob o ponto de vista do impacto ambiental ocorreu utilizando o mesmo padrão estabelecido suportado pelos critérios elencados conforme descrito na tabela 4.4-3 - definição dos elementos de meio ambiente.

Tabela 4.4-3 Critério de definição elementos de meio ambiente.

Consequência		Critério de definição
MA	Muito Alta	A falha pode causar danos severos em áreas sensíveis ou pode se estender para outros locais.
AL	Alta	A falha pode causar danos severos com efeito localizado.
ME	Média	A falha pode causar danos moderados.
BA	Baixa	A falha pode causar danos leves ou insignificantes.

É possível notar através da tabela 4.4-4 – Mapeamento da matriz de risco probabilidade x meio ambiente que na ocorrência da falha dos equipamentos analisados, aqueles que estão próximos de um volume significativo (capacidade instalação de 4000 ton.) de material potencialmente inflamável receberam avaliação de consequência alta / muito alta por serem capazes de se tornarem elementos de ignição e supondo tal ocorrência que é o incêndio a partir do aquecimento de superfície de equipamentos, condições de se estender para outros locais e por essa razão foram classificados como consequência “muito alta”.

Tabela 4.4-4 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x meio ambiente.

Denominação do Local de Instalação	Equipamento	Grupo	Zona	Probabilidade	Meio ambiente	Consequência
ÁREA DE PROCESSAMENTO	M-A	III	21	**Provável**	**4**	**Alta**
ÁREA DE ESTOCAGEM	M-B	III	20	**Provável**	**5**	**Muito Alta**
TORRES DE RECEPÇÃO	M-C	III	20	**Provável**	**5**	**Muito Alta**
EXPEDIÇÃO TRECHO 1	M-D	III	21	**Provável**	**5**	**Muito Alta**
EXPEDIÇÃO TRECHO 2	M-E	III	22	**Provável**	**3**	**Média**

Embora as inciativas para preservação da instalação e das pessoas que lá atuam fazerem parte do escopo convencional de um projeto de segurança onde, se espera que tais medidas ocorram antes que as falhas evoluam para consequências mais significativas, no entanto, o controle ou monitoração que limitam esses eventos podem acarretar em interrupção da produção. Essa condição quando bem definida, consta no escopo do projeto uma vez que este evento foi projetado para que se evite danos maiores a instalação. A figura 4.4-5 estabelece os critérios para definição dos potenciais de perda de produção relacionados aos eventos de falha dos equipamentos.

Tabela 4.4-5 Critério de definição para perda de produção.

Consequência		Critério de definição para unidade de produção de farinha de soja
		Perda estimada de produção da instalação
MA	Muito Alta	Provoca perda total
AL	Alta	Provocaria perda parcial, porém não tem redundância
ME	Média	Provocaria perda parcial, porém tem redundância
BA	Baixa	Sem perda

Conforme demostra a tabela 4.4-6 – mapeamento da matriz de risco probabilidade x produção todos os equipamentos analisados receberam a mesma avaliação uma vez que o impacto na produção em caso de falha é exatamente o mesmo. Provocam perdas parciais e não possuem redundância. Vale ressaltar que os limites críticos na matriz de risco se apresentam quando avaliados com probabilidades provável e/ou frequente e índice 5 com consequências alta e/ou muito alta.

Tabela 4.4-6 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x produção.

Denominação do Local de Instalação	Equipamento	Grupo	Zona	Probabilidade	Produção	Consequência
ÁREA DE PROCESSAMENTO	M-A	III	21	Provável	4	Alta
ÁREA DE ESTOCAGEM	M-B	III	20	Provável	4	Alta
TORRES DE RECEPÇÃO	M-C	III	20	Provável	4	Alta
EXPEDIÇÃO TRECHO 1	M-D	III	21	Provável	4	Alta
EXPEDIÇÃO TRECHO 2	M-E	III	22	Provável	4	Alta

Outro quesito que consta na norma NBR 5462/1994 é a mantenabilidade que justamente versa sobre a capacidade de o equipamento ser mantido ou recolocado nas condições especificadas quando a manutenção é executada sob condições determinadas. A complexidade e o tempo de intervenção são fatores que compõem os indicadores de manutenção e o desdobramento dos indicadores de desempenho global da instalação.

Diante do exposto a tabela 4.4-7 apresenta o critério de definição do tempo estimado de reparo para equipamentos com base de tempo em dias.

Tabela 4.4-7 Critério de definição para mantenabilidade.

Consequência		Critério de definição	
		Tempo estimado para reparo (dias)	
		De	até
MA	Muito Alta	>8	ou mais
AL	Alta	>4	8
ME	Média	>1	4
BA	Baixa	0	1

A análise para o cenário de manutenção dos conjuntos motor/redutor integrado ao sistema de transporte podem ser observadas conforme os dados da tabela 4.4-8 - Mapeamento da matriz de risco probabilidade x mantenabilidade que revela um índice de mantenabilidade baixo, uma vez que na simulação da pior condição que se apresenta na substituição do equipamento, a logística e a atuação da equipe de manutenção necessitaria de um dia para o total restabelecimento do conjunto.

Tabela 4.4-8 Mapeamento da matriz de risco probabilidade x mantenabilidade.

Denominação do Local de Instalação	Equipamento	Grupo	Zona	Probabilidade	Mantenabilidade	Consequência
ÁREA DE PROCESSAMENTO	M-A	III	21	Provável	1	Baixa
ÁREA DE ESTOCAGEM	M-B	III	20	Provável	1	Baixa
TORRES DE RECEPÇÃO	M-C	III	20	Provável	1	Baixa
EXPEDIÇÃO TRECHO 1	M-D	III	21	Provável	1	Baixa
EXPEDIÇÃO TRECHO 2	M-E	III	22	Provável	1	Baixa

As categorias apresentadas nas formas dos critérios estabeleceram parâmetros para que se pudesse elencar índices baseados na condição dos equipamentos, registros históricos e informações dos fabricantes por exemplo. Equipamentos similares em locais de instalação diferentes podem apresentar balanços distintos conforme ocorreu, obviamente a componente determinante é o local ao qual o equipamento foi instalado associado ao risco do próprio equipamento quando este gerar uma falha.

Todos os equipamentos analisados tiveram seus índices comparados com a matriz de risco – Probabilidade X Impacto já apresentada da forma da tabela 3.6-3 (página 63) estabelecendo como elementos críticos de controle todos os índices contendo o número 5 quando classificados em consequência alta e muito alta.

Os dados apresentados revelam que dos cinco conjuntos de equipamentos verificados, três deles (M-B, M-C e M-D) requerem monitoração suplementar devido a associação de componentes de riscos com impacto na segurança e meio ambiente. No segundo escalão seguem os equipamentos M-A e M-E, respectivamente onde o primeiro embora não tenha recebido o índice máximo tendo sua classificação em nível 4, merece acompanhamento de desempenho por estar em um ambiente de Zona 21 que estabelece a presença de particulado de poeira combustível durante a fase normal de produção. Já o equipamento M-E encontra-se em ambiente de Zona 22 onde está prevista a presença de atmosfera explosiva somente em situações anormais e por se tratar de uma área aberta a ventilação natural reduz ainda mais o risco.

Tais considerações podem ser observadas conforme a tabela 4.4-9 - Classificação dos impactos de falha do sistema de transporte referidas as condições estruturais e de trabalho da empresa “x”.

Tabela 4.4-9 - Classificação dos impactos de falha do sistema de transporte.

CLASSIFICAÇÃO DOS IMPACTOS DE FALHA													
Locais de Instalação relativos à: EMPRESA "X" SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE PRODUTOS				Probabilidade		Segurança		Meio Ambiente		Produção		Mantenabilidade		IMPACTO DE FALHA
Denominação do Local de Instalação	Equipamento	Grupo	Zona			Segurança	Consequência	Meio Ambiente	Consequência	Produção	Consequência	Mantenabilidade	Consequência	
ÁREA DE PROCESSAMENTO	M-A	III	21	Provável		3	Alta	4	Alta	4	Alta	1	Baixa	4
ÁREA DE ESTOCAGEM	M-B	III	20	Provável		5	Muito Alta	5	Muito Alta	4	Alta	1	Baixa	5
TORRES DE RECEPÇÃO	M-C	III	20	Provável		5	Muito Alta	5	Muito Alta	4	Alta	1	Baixa	5
EXPEDIÇÃO TRECHO 1	M-D	III	21	Provável		4	Alta	5	Muito Alta	4	Alta	1	Baixa	5
EXPEDIÇÃO TRECHO 2	M-E	III	22	Provável		3	Baixa	3	Média	4	Alta	1	Baixa	3

5. CONCLUSÃO

Diversos requisitos normativos são aplicados com intuito de permitir uma padronização de métodos visando o auxílio na tomada de decisão e sobretudo ações que resultem uma melhora efetiva na segurança da instalação e das pessoas que lá trabalham, as informações para classificação de áreas se mostra uma ferramenta importante na determinação da abrangência do risco e de ações que permitam reduzir ou mitigar pontos de risco. Algumas possibilidades foram elencadas no decorrer deste trabalho. Sempre que for possível, obviamente limitados pela condição da instalação e o limite do custo x benefício.

Conforme foi apresentado a classificação das áreas de uma empresa, de acordo com a norma vigente ABNT NBR IEC 60079-10-2:2016 leva em consideração a ventilação do local, quantidade em volume da poeira combustível suspensa assim como a frequência de sua ocorrência para determinação do nível de risco desses setores separados por zonas, entende-se, portanto, que as medidas cabíveis no sentido de reduzir a classificação da área já foram adotadas.

Com isso através da matriz de risco e o histórico estatístico dos eventos de falha dos equipamentos foi possível determinar, reduzindo as componentes subjetivas, o nível de criticidade de cada conjunto de equipamento por local de instalação. Naturalmente, pelo risco associado, todos os dispositivos que habitam o ambiente classificado por zona 20 foram avaliados com impacto de falha grau 5, em virtude do risco potencial em caso de falha por estarem próximos a grandes volumes de materiais inflamáveis. Os conjuntos M-B, M-C e M-D pertencem aos locais de maiores riscos referindo-se aos critérios de segurança e meio ambiente.

Os conjuntos M-A e M-E pertencem a zonas 21 e 22, respectivamente e observa-se uma redução no nível de criticidade diretamente proporcional a medida que a concentração ou frequência da manifestação da atmosfera explosiva se apresenta.

É possível observar que a probabilidade de a falha ocorrer agrega componentes do campo e a coluna que representa as consequências desses eventos também mudam conforme apresentado.

A monitoração da temperatura de superfície de mostra oportuna justamente por atuar com certa margem no limite máximo da temperatura de autoignição da farinha de soja que é de 190 °C pelo simples fato do equipamento possuir energia para atingir este valor.

Utilização dos relés multifunção se apresenta como um incentivo financeiro em prol da segurança, porque normalmente já fazem parte do escopo de elementos de proteção dos motores trifásicos industriais e portanto, já estão estimados nos custos de um projeto como este restando como investimento apenas os elementos sensores e as barreiras intrínsecas o que pode-se classificar como uma aplicação de relativo baixo custo frente a real contribuição para a segurança da instalação na eventual ocorrência de uma falha ou qualquer condição anormal especificada.

A transmissão do sinal elétrico pode ser aplicada dentro das condições de segurança para ambientes “Ex” utilizando-se proteção intrinsecamente seguras previstas na IEC 60079-25 (ABNT NBR IEC 60079-25, 2009) podendo ser integradas até mesmo em CLP’s ou sistemas supervisórios.

Vários tipos diferentes de proteções “Ex” convivem harmonicamente dentro de uma instalação industrial e a aplicação dessa monitoração da temperatura de superfície visa reforçar um elo na corrente de ações em prol da segurança em atmosferas explosivas.

Os parâmetros aplicados a essa monitoração estão alinhados com as normas vigentes e foi possível integrar a proteção entre equipamentos não elétricos ao seu dispositivo de acionamento, uma vez que ao se identificar uma anomalia, caso ela não seja sanada a tempo, o dispositivo irá parar e, portanto, a evolução da temperatura será interrompida, permitindo igual análise para que novos elementos passam ser incorporados baseados na mesma metodologia.

Partindo dessa premissa proposta de monitoração das fontes de ignição apresentada como uma condição relevante para a garantia da segurança, efetuando assim uma abrangência através do mapeamento de pontos anteriormente não cobertos.

5.1. Propostas para trabalhos Futuros

Vislumbrando a evolução desse trabalho para um escopo mais abrangente, é possível elencar algumas oportunidades uma vez que vários pontos que podem contribuir para algum evento que impacte a segurança, podem e devem ser monitorados.

O conhecimento dos limites de segurança e requisitos normativos podem ser melhor aproveitados a medida que o conhecimento e consequentemente a facilidade da aquisição dessa informação ser disponibilizada. O processo de classificação de áreas passa por diversos setores que devem trabalhar de forma integrada, para que a determinação dos elementos de risco, assim como a correta escolha dos equipamentos sejam aplicadas. Uma plataforma digital que concentre as informações inseridas conforme o projeto poderia ser criada de tal forma que questionamentos baseados nos requisitos normativos na forma de questionário, pudessem auxiliar as bases para que itens relevantes sejam observados durante a realização desses trabalhos.

O correto dimensionamento dos dispositivos e elementos sensores conferem uma determinada faixa de atuação. O uso de termopares cobriria uma faixa mais abrangente, de temperaturas superiores a faixa utilizada para este trabalho. Permitindo quem novas faixas de temperatura de superfície possam ser monitoradas e com isso uma nova faixa limite máximo de temperatura e outros tipos de produtos poderiam serem implementados, atendendo a demanda de outros locais com potencial de risco de explosão.

O monitoramento indireto da temperatura se apresenta como uma pratica já consolidada em diversas outras aplicações, utilizando-se de pirômetros seria possível o monitoramento de superfícies sem a necessidade de alterações físicas no ponto de referência, tornando possível a monitoração mais abrangente sem a necessidade de alterações no equipamento.

A termográfica também exerce papel de destaque para soluções de manutenção preditiva, utilizado em transformadores, motores e barramentos elétricos. Fazendo uso desse princípio existe a possibilidade de integrar ao processo produtivo os pontos de destaque para a monitoração de temperatura de superfície através

desses dispositivos conectados a um sistema supervisório, conferindo uma monitoração ***on line*** da temperatura por meio de termografia.

Por fim, mas não menos importante, se faz presente a possibilidade de realização de um mapeamento dos pontos de possível elevação de temperatura de superfície de equipamentos, para que seja possível realizar um levantamento dos elementos e a depender de sua localização na unidade, esses venham a fazer parte do levantamento de elementos críticos. Garantindo que pontos de relevância para a segurança, meio ambiente e produção não estejam ocultos.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR IEC 60079-0, **Atmosferas explosivas – Parte 0: Equipamentos – Requisitos gerais**;

ABNT NBR IEC 60079-10-1, **Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás**;

ABNT NBR IEC 60079-10-2:2016 — **Atmosferas explosivas - Parte 10-2: Classificação de áreas - Atmosferas de poeiras explosivas**, 2016;

ABNT NBR IEC 60079-11, **Atmosferas explosivas — Parte 11: Proteção de equipamento por segurança intrínseca "i",** 2013;

ABNT NBR IEC 60079-14, **Atmosferas explosivas – Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas. Incluindo o Anexo F - Conhecimentos, habilidades e competências de pessoas responsáveis, executantes e projetistas**, 2016;

ABNT NBR IEC 60079-17, **Atmosferas explosivas – Parte 17: Inspeção e manutenção de instalações elétricas em áreas classificadas (exceto minas)**, 2007;

ABNT NBR IEC 60079-19, **Atmosferas explosivas – Parte 19: Reparo, revisão e recuperação de equipamentos. Incluindo o Anexo B - Conhecimento, habilidades e competências de "Pessoas Responsáveis" e "Executante**, 2016;

ABNT NBR IEC 60079-20-1, **Atmosferas explosivas – Parte 20-1: Características de substâncias para classificação de gases e vapores - Métodos de ensaios e dados**, 2011;

ABNT NBR IEC 60079-25, **Atmosferas explosivas - Parte 25: Sistemas elétricos intrinsecamente seguros**, 2009;

ABNT NBR IEC 60079-7, **Atmosferas explosivas – Parte 7: Proteção de equipamentos por segurança aumentada "e"**, 2010;

ABNT NBR ISO/IEC 80079-34, **Atmosferas Explosivas - Parte 34: Aplicação de sistemas da qualidade para a fabricação de equipamentos**, 2014;

ANSI/IEEE – **Standard Device Numbers** – Disponível em: http://www.ece.uidaho.edu/ee/power/ECE525/Lectures/L3/L3.pdf acesso em 30/06/2017;

APOLLO – **Barreira intrinsecamente segura** - Disponível em: https://www.apollo-fire.co.uk/products/range/xp95-i-s/input-output-units/29600-098-xp95-i-s-galvanic-barrier, 2017

BUFFON, L. - **Estudo de adequação de uma área classificada à norma Vigente**. Porto Alegre UFRGS, 2011;

BULGARELLI, R. - **Proteção Térmica de Motores de Indução Trifásicos Industriais,** 2006

BULGARELLI, R. - **Requisitos específicos para seleção da proteção e ensaios funcionais de motores de tipo segurança aumentada "e".** Revista o Setor elétrico, 2010;

BULGARELLI, R. - **Os 100 primeiros anos da segurança intrínseca**, 2013;

CENEL- (Curso de engenharia elétrica) - **Características Técnicas e Funções de Proteção de Motores Elétricos Trifásicos para a Indústria do Petróleo e Petroquímica** - Petrobras, 2016;

COBEI - ABNT/CB-03 **– 100 Anos de Cobei,** 2008. Disponível em link: http://docplayer.com.br/36960126-100-anos-de-um-seculo-de-existencia-em.html. Acesso em 18 fev.2017;

GAVRANIC, I.; VRAZIC, M.; SUMINA, D. - ***New Approach in Electrical Drives at Risk of Explosive Atmospheres***, 2015

IEC 60034-1, ***Rotating Electrical machines*****,** 2017;

IEC 60079-10-2, ***Explosive Atmospheres – Part 10-2: Classification of areas - Combustible dust atmospheres****, 2015*;

IECEx 05: ***Rules of Procedure - System for Certification of Personnel Competencies for Explosive Atmospheres***, 2015;

ISO/IEC 80079-36, ***Explosive atmospheres - Part 36: Non-etectrical equipament for explosive atmospheres - Basic method and requirements***, 2016;

KOBELCO – **Motocompressor** - Disponível em http://kobelcocompressors.com/index.php/technical papers/ . acesso em 10/08/2017.

MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS -NR-12 - **Segurança no Trabalho em máquinas e equipamentos** – Disponível em :www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm

Nações Unidas – **Marco Regulatório comum para equipamentos utilizados em ambientes de atmosferas explosivas**, 2015;

NEMA Std. MG-1 – ***Motor and Generators, National Electrical Manufactures Association*****,** 2002

Norma NR-20 – **Norma Regulamentadora NR-20** – Disponível em: www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relatórios/NRs/nr_20.pdf. Acesso em 01/06/2017;

NPFA – ***National Fire Protection Association****,* 2004 – Disponível: http://hamyarenergy.com/static/fckimages/files/NFPA/Hamyar%20Energy%20NFPA%20499%20-%202004.pdf . Acesso dia 23/05/17;

RAC - Portaria 179, de 18/05/2010, contendo os **Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) do Inmetro sobre equipamentos para atmosferas explosivas de gases inflamáveis e poeiras combustíveis,** 2010;

Redutor – Disponível em: http://www.industriahoje.com.br/redutor-velocidade. Acesso dia 23/05/17;

Risco 2017 – Disponível em https://zonaderisco.blogspot.com.br/2015/07/incendio-atinge-armazem-de-acucar-no_30.html. Acesso dia 07/03/2017

ROBINSON,J.;WHELAN,C.D.; HAGGERTY,N.K.; ***Trends in advanced motor protection & monitoring, IEEE, PCIC*** *– Petroleum and Chemical Industry Conference*, 2001

SCHNEIDER – **Manual do Usuário do Relé Microprocessado - SEPAM Série 40** , 2017;

Subcomitê SC-31 - **COBEI - ABNT/CB-03 - Atmosferas Explosivas**, 2016

Redutor – Disponível em: http://www.industriahoje.com.br/redutor-velocidade. Acesso dia 23/05/17

Sulzer - Disponível:http://www.salvex.com/listings/listing_detail.cfm?aucID=182951575. Acesso dia 23/05/2017.

WEG – Manual de motores elétricos, características, especificações, instalações e manutenção http://www.weg.net/institutional/BR/pt/ (2017)

GLOSSÁRIO

Atmosfera explosiva – mistura com ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor, poeira, fibras ou partículas suspensas, na qual, após a ignição, permite auto sustentação de propagação.

Atmosfera explosiva de gás – mistura com ar, sob condições atmosféricas de substâncias inflamáveis na forma de gás ou vapor, na qual, após a ignição, permite a auto sustentação de propagação da chama.

Área classificada (devido a atmosferas explosivas de gás) – área na qual uma atmosfera explosiva de gás está presente ou é esperada para estar presente em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos.

Área não classificada (devido a atmosferas explosivas de gás) – área na qual uma atmosfera explosiva de gás não é esperada para estar presente em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos.

Ventilação - movimento do ar e sua renovação com ar fresco devido aos efeitos de vento, gradiente de temperatura ou meios artificiais (por exemplo, ventiladores ou exaustores).

Limite inferior de explosividade (LIE) - concentração de gás, vapor ou névoa inflamável no ar, abaixo da qual uma atmosfera explosiva de gás não é formada.

Limite superior de explosividade (LSE) - concentração de gás, vapor ou névoa inflamável no ar, acima da qual uma atmosfera explosiva de gás não é formada.

Densidade relativa de um gás ou vapor - densidade de um gás ou vapor em relação à densidade do ar na mesma pressão e na mesma temperatura (a densidade relativa do ar é igual a 1,0).

Material inflamável (substância inflamável) - material que é inflamável por si mesmo ou que é capaz de produzir um gás, vapor ou névoa inflamável.

Líquido inflamável - líquido capaz de produzir vapor inflamável sob qualquer condição de operação prevista, onde este pode ser processado a temperaturas próximas ou acima de seu ponto de fulgor.

Gás ou vapor inflamável - gás ou vapor que, quando misturado com o ar em determinadas proporções, forma uma atmosfera explosiva de gás.

Névoa inflamável - gotículas de líquido inflamável, dispersas no ar, de modo a formar uma atmosfera explosiva.

Ponto de fulgor - menor temperatura na qual, sob determinadas condições normalizadas, um líquido libera vapor em quantidade suficiente para ser capaz de formar uma mistura inflamável ar/vapor.

Ponto de ebulição - temperatura na qual um líquido entra em ebulição à pressão ambiente de 101,3 kPa (1 013 mbar).

Pressão de vapor - pressão exercida quando um sólido ou um líquido está em equilíbrio com seu próprio vapor. Esta é função da substância e da temperatura.

Temperatura de ignição de uma atmosfera explosiva de gás - menor temperatura de uma superfície aquecida, a qual, sob condições especificadas na IEC 60079-4, provoca a ignição de uma substância inflamável na forma de uma mistura de gás ou vapor com o ar.

Gás liquefeito inflamável - material inflamável que é armazenado ou processado como um líquido e que na temperatura ambiente e na pressão atmosférica é um gás inflamável.

Instrumento de medição – Dispositivo utilizado para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares.

Medição – Processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza.

Validação – Verificação na qual os requisitos especificados são adequados para um uso pretendido.

APÊNDICE

CAS Number (Chemical Abstract System)	Gas or Vapour	Relative Density	Melting Point	Boiling Point	Flash Point	Flammability Limits				Ignition Temp.	Most incentive mixture	MESG	MIC Ratio	T Class	Group
						Lower	Upper	Lower	Upper						
			°C	°C	°C	vol %		g/m³		°C	vol %	mm			
75-07-0	Acetaldehyde	1,52	-123	20	-38	4	60	74	1108	155	0,37	0,92	0,98	T4	IIA
64-19-7	Acetic Acid	2,07	17	118	39	4	19,9	100	428	510		1,76	2,67	T1	IIA
108-24-7	Acetic Anhydride	3,52	-73	140	49	2	10,3	85	428	316		1,23		T2	IIA
67-64-1	Acetone	2	-95	56	<-20	2,5	14.3 at 100°C	60	345 at 100°C	539	5,9	1,01	1	T1	IIA
	Acentonitrile	1,42			2	3	16	51	275	523		1,5		T1	IIA
74-86-2	Acetylene	0,9	-80,8	-84	gas	2,3	100	24	1092	305	8,5	0,37	0,28	T2	IIC
107-13-1	Acrylonitrile	1,83	-82	77	-5	2,8	28	64	620	480	7,1	0,87	0,78	T1	IIB
591-87-7	Allyl acetate	3,45	103		13	1,7	10,1	69	420	348		0,96		T2	IIA
107-18-6	Allyl alcohol	2	-129	97	21	2,5	18	61	438	378		0,84		T2	IIB
107-05-1	Allyl chloride	2,64	-136	45	-32	2,9	11,2	92	357	390		1,17	1,33	T2	IIA
7664-41-7	Ammonia	0,59	-78	-33	gas	15	33,6	107	240	630	24,5	3,18	6,85	T1	IIA
	Amphetamine	4,67			<100										IIA
62-53-3	Aniline	3,22	-6	184	75	1,2	11	47	425	615				T1	IIA
	Azepane	3,41			23					279		1		T3	IIA
100-52-7	Benzaldehyde	3,66	-26	179	64	1,4		62		192				T4	IIA
71-43-2	Benzene	2,7	6	80	-11	1,2	8,6	39	280	498		0,99	1	T1	IIA
74-96-4	Bromoethane	3,75	-119	38	<-20	6,7	11,3	306	517	511				T1	IIA
106-99-0	Buta-1,3-diene	1,87	-109	-5	-76	1,4	16,3	31	365	420	3,9	0,79	0,76	T2	IIB
106-97-8	Butane	2,05	-138	-1	-60 (gas)	1,4	9,3	33	225	372	3,2	0,98	0,94	T2	IIA
123-86-4	Butyl acetate	4,01	-77	127	22	1,2	8,5	58	408	390	130 mg/l	1,04	1,08	T2	IIA
7397-62-8	Butyl glycolate	4,45	-26	187	61						4,2	0,88			IIB
107-00-6	But-1-yne	1,86	-125	8								0,71			IIB
75-15-0	Carbon disulphide	2,64	-112	46	-30	0,6	60	19	1900	90	8,5	0,34	0,39	T6	IIC
630-08-0	Carbon Monoxide (saturated at 18oC)	0,97	-205	-192	gas	10,9	74	126	870	607	40,8	0,84		T1	IIB
108-90-7	Chlorobenzene	3,88	-45	132	28	1,3	11	60	520	593				T1	IIA
109-69-3	1-Chlorobutane	3,2	-123	78	-12	1,8	10	69	386	245		1,06		T3	IIA
78-86-4	2-Chlorobutane	3,19	-140	68	<-21	2	8,8	77	339	415		1,16		T2	IIA
75-00-3	Chloroethane	2,22	-139	12	gas	3,6	15,4	95	413	510				T1	IIA
107-07-3	2-Chloroethonal	2,78	-68	128	55	4,9	16	160	540	425				T2	IIA
75-01-4	Chloroethylene	2,15	-160	-14	-78 (gas)	3,6	33	94	610	415	7,3	0,99		T2	IIA
74-87-3	Chlorometane	1,78		-24	gas	7,6	19	160	410	625		1		T1	IIA
107-30-2	Chlormethyl methyl ether	2,78	-104	59	-8							1			IIA
513-36-0	1-Chloro-2-methylpropane	3,19	-131	69	<-14	2	8,8	75	340	416		1,25		T2	IIA
540-54-5	1-Chloropropane	2,7	-123	47	-32	2,4	11,1	78	365	520				T1	IIA
75-31-0	2-Chloropropane	2,7	-117	35	<-20	2,8	10,7	92	350	590		1,32		T1	IIA
8030-30-6	Coal tar naphtha									272				T3	IIA
287-23-0	Cyclobutane	1,93	-91	13	gas	1,8		42							IIA
291-64-5	Cycloheptane	3,39	-8	119	6	1,1	6,7	44	275						IIA
110-82-7	Cyclohexane	2,83	7	81	-17	1	8	35	290	244	90mg/l	0,94		T3	IIA
108-93-0	Cyclohexanol	3,45	24	161	61	1,2	11,1	50	460	300				T3	IIA
108-94-1	Cyclohexanone	3,38	-26	156	43	1,3	9,4	53	386	419	3	0,95		T2	IIA
110-83-8	Cyclohexene	2,9	-104	83	-17	1,1	8,3	37		244		0,94	0,97	T3	IIA
108-91-8	Cyclohexylamine	3,42	-18	134	27	1,1	9,4	47		275				T3	IIA
287-92-3	Cyclopentane	2,4	-94	49	-37	1,4		41		320		1,01		T2	IIA
142-29-0	Cyclopentene	2,3	-135	46	<-22	1,48		41		309		0,96		T2	IIA
75-19-4	Cyclopropane	1,45	-128	-33	gas	2,4	10,4	42	183	500		0,91		T1	IIA
	Decahydronaphthalene	4,76			54	0,7	4,9	40	284	288				T3	IIA
124-18-5	Decane (Mixed isomers)	4,9			46	0,7	5,6	41	332	235	120mg/l	1,05		T3	IIA
142-96-1	Dibutyl ether	4,48	-95	141	25	0,9	8,5	48	460	175	2,6	0,86		T4	IIB
75-34-3	1-Dichlorethane	3,42	-98	57	-10	5,6	16	230	660	439		1,82		T2	IIA
107-06-02	1,2-Dichloroethane	3,42	-36	84	13	6,2	16	255	654	438	9,5	1,8		T2	IIA
75-35-4	Dichloroethylene	3,4	-122	32	-18	6,5	16	260	645	530	10,3	3,91		T1	IIA
78-87-5	1,2-Dichloropropane	3,9	-80	96	15	3,4	14,5	160	682	557				T1	IIA
60-29-7	Diethyl ether	2,55	-116	35	-45	1,7	39,2	50	1210	175	3,47	0,87	0,88	T4	IIB
95-92-1	Diethyl oxalate	5,04	-41	185	76							0,9			IIA
64-67-5	Diethyl sulphate	5,31	-25	208	104					360		1,11		T2	IIA
108-20-3	Diilisopropyl ether	3,52	-86	69	-28	1	21	45	900	405		0,94		T2	IIA
124-40-3	Dimethylamine	1,55	-92	7	gas	2,8	14,4	53	272	400		1,15		T2	IIA
110-71-4	Dimethoxymethane	3,1	-58	84	-6	1,6	10,4	60	390	197		0,72		T4	IIB
108-01-0	2-Dimthylaminothanol	3,03	-40	131	39					220				T3	IIA
115-10-6	Dimethyl ether	1,59	-142	-25	gas	2,7	32	51	610	240	7	0,84		T3	IIB
693-65-2	Dipentyl ether	5,45	-69	180	57					171				T4	
142-84-7	Dipropylamine	3,48	-40	105	4	1,2	9,1	50	376	260		0,95		T3	IIA
108-20-3	Diispropyl ether	3,52	-86	69	-28	1	21	45	900	405	2,6	0,94		T2	IIA
75-56-9	1,2-Epoxypropene	2	-112	34	-37	1,9	37	49	901	430	4,55	0,7		T2	IIB
74-84-0	Ethane	1,04	-183	-86	gas	2,4	15,5	30	194	515	5,9	0,91	0,82	T1	IIA
64-17-5	Ethanol	1,59	-114	78	12	3,1	19 at 60°C 27.7 at 100°C	59	359	400	6,5	0,89	0,88	T2	IIB
	2-(2-Ethoxyethoxy) ethanol	4,62			94					190		0,94		T4	IIA
141-78-6	Ethyl Acetate	3,04			-4	2,2	11	81	406	460		0,99		T1	IIA
	Ethyl acetoacetate	4,5			65	1	9,5	54	519	350		0,96		T2	IIA
	Ethylamine	1,5			<-20	2,68	14	49	260	425		1,2		T2	IIA
100-41-4	Ethylbenzene	3,66	-95	136	15	0,8	7,8	44	340	431				T2	IIA
	Ethylcylobutane	2,9			<-16	1,2	7,7	42	272	212				T3	IIA
	Ethylcyclohexane	3,87			<24	0,9	6,6	42	310	238				T3	IIA
	Ethylcyclopentane	3,4			<5	1,05	6,8	42	280	262				T3	IIA
74-85-1	Ethylene	0,97	-169	-104	gas	2,3	36	26	423	440	6,5	0,65	0,53	T2	IIB
	Ethylene oxide	1,52			<-18	2,6	100	47	1848	435		0,59		T2	IIB
	Ethyl formate	2,55			-20	2,7	16,5	87	497	440		0,91		T2	IIA
	Ethyl methacrylate	3,9			-20	1,5		70				1,01			IIA
	Ethyl methyl ether	2,1				2	10,1	50	255	190				T4	IIB
50-00-0	Formaldehyde	1,03	-92	-6	60	7	73	88	920	424		0,57		T2	IIB
64-18-6	Formic acid	1,6	8	101	42	18	57	190	1049	525		1,86		T1	IIA
	2-Furaldehyde	3,3			60	2,1	19,3	85	768	316		0,88		T2	IIB
142-82-5	Heptane (mixed isomers)	3,46			-4	1,1	6,7	46	281	215		0,91		T3	IIA
	Heptan-1-ol	4,03			60					275		0,94			IIA
	Heptan-2-one	3,94			39	1,1	7,9	52	378	533				T1	IIA
	Hept-2-ene	3,4			<0					263		0,97		T3	IIA
	Hexane (mixed isomers)	2,97			-21	1	8,4	35	290	233		0,93		T3	IIA
	Hexane-2-one	3,46			23	1,2	8	50	336	533				T1	IIA
1333-74-0	Hydrogen	0,07				4	77	3,4	63	560		0,28		T1	IIC
74-90-8	Hydrogen cyanide	0,9	-13	26	<-20	5,4	46	60	520	538	18,4	0,8		T1	IIB
7783_06-4	Hydrogen sulfide	1,19				4	45,5	57	650	270		0,89		T3	IIB
	4-Hydroxy-4-methylpenta-2-one	4			58	1,8	6,9	88	336	680				T1	IIA
8008-20-6	Kerosene				38	0,7	5			210				T3	IIA
	Metaldehyde	6,1			36										IIA
74-82-8	Methane (firedamp)	0,55			gas	4,4	17	29	113	595	8,2	1,14		T1	I
74-82-8	Methane	0,55	-182	-162	gas	4,4	17	29	113	600		1,12	1	T1	IIA
67-56-1	Methanol	1,11	-98	65	9	6	36 at 60°C 50.0 at 100°C	73	665 at 100°C	440	11	0,92	0,82	T2	IIA
	2-Methoxyethanol	2,63			39	2,4	20,6	76	650	285		0,85		T3	IIB
79-20-9	Methyl acetate	2,56	-99	57	-10	3,1	16	95	475	505	208 mg/l	0,97	1,08	T1	IIA
	Methyl acetoacetate	4			62	1,3	14,2	62	685	280		0,85		T3	IIB
	Methyl acrylate	3			-3	2,4	25	85	903	415		0,85		T2	IIB
74-89-5	Methylamine	1	-92	-6	gas	4,2	20,7	55	270	430		1,1		T2	IIA
	Methylcyclobutane														IIA
	Methylcyclohexane	3,38			-4	1,15	6,7	47	275	258				T3	IIA
	Methylcyclopentane	2,9			<-10	1	8,4	35	296	258				T3	IIA
	Methylenecyclobutane	2,35			<0	1,25	8,6	35	239	352		0,76		T2	IIB
	Methyl formate	2,07			-20	5	23	125	580	450				T2	IIA
	4-Meth6ylpentan-2-one	3,45			16	1,2	8	50	336	475		1,01		T1	IIA
	2-Methylpropan-l-ol	2,55			28	1,7	9,8	52	305	408		0,96		T2	IIA
	α-Methyl styrene	4,08			40	0,9	6,6	44	330	445		0,88		T2	IIB
110-91-8	Morpholine	3			31	1,8	15,2	65	550	230		0,92		T3	IIA
	Naphtha	2,5			<-18	0,9	6			290				T3	IIA
	Naphthalene	4,42			77	0,9	5,9	48	317	528				T1	IIA
	Nitrobenzene	4,25			88	1,7	40	87	2067	480		0,94		T1	IIA
	Nitroethane	2,58			27	3,4		107		410		0,87		T2	IIB
	Nitromethane	2,11			36	7,3	63	187	1613	415		1,17		T2	IIA
	l-Nitropropane	3,1			36	2,2		82		420		0,84		T2	IIB
	Nonane	4,43			30	0,7	5,6	37	301	205				T3	IIA
	Octaldehyde	4,42			52										IIA
111-65-9	Octane	3,93			13	0,8	6,5	38	311	206		0,94		T3	IIA
	l-Octanol	4,5			81	0,9	7,4	49	385	270		1,05		T3	IIA
	Paraformaldehyde				70	7	73			380		0,57		T2	IIB
	Pemtane-2,4-dione	3,5			34	1,7		71		340		0,96		T2	IIA
71-41-0	Pentan-1-ol	3,03	-78	138	42	1,06	10,5	36	385	320	100 mg/l	0,99		T2	IIA
	Pentanols (mixed isomers)	3,04			34	1,2	10,5	44	388	300		1,02		T3	IIA
	Petroleum	2,8			<-20	1,2	8			560				T1	IIA
108-95-2	Phenol	3,24			75	1,3	9,5	50	370	595				T1	IIA
74-98-6	Propane	1,56	-188	-42	gas	1,7	10,9	31	200	450	4,2	0,92	0,82	T2	IIA
71-23-8	Propan-1-Oi	2,07	-126	97	15	2,1	17,5	52	353	405		0,89		T2	IIB
67-63-0	Propan-2-ol	2,07	-88	83	12	2	12,7	50	320	399		1		T2	IIA
	Propene	1,5				2	11	35	194	455		0,91		T1	IIA
	Propyl acetate	3,5			10	1,7	8	70	343	430		1,04		T2	IIA
	Propylamine	2,04			-37	2	10,4	49	258	318		1,13		T2	IIA
100-42-5	Styrene	3,6	-31	145	30	1	8	42	350	490		1,21		T1	IIA
	Tetrafluorothylene	3,4				10	59	420	2245	255		0,6		T3	IIB
	Tetrahydrofuran	2,49			-20	1,5	12,4	46	370	224		0,87		T3	IIB
	Tetrahydrofurfuryl	3,52			70	1,5	9,7	64	416	280		0,85		T3	IIB
	Thiophene	2,9			-9	1,5	12,5	50	420	395		0,91		T2	IIA
108-88-3	Toluene	3,2			4	1,1	7,8	42	300	535				T1	IIA
	Triethylamine	3,5			-7	1,2	8	51	339						IIA
	Trifluorethylene	2,83				15,3	27	502	904	319		1,4		T2	IIA
	1,3,5-Trioxane	3,11			45	3,2	29	121	1096	410		0,75		T2	IIB
8006-64-2	Turpentine				35	0,8				254				T3	IIA
	Vinyl acetate	3			-8	2,6	13,4	93	478	425		0,94		T2	IIA
	Water Gas				1,2									T1	IIC
1330-20-7	Xylenes	3,66			30	1	7,6	44	335	464		1,09		T1	IIA