



CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA PARA POEIRAS EXPLOSIVAS EM UMA PLANTA INDUSTRIAL DE VEDANTES

ALICE DE BRITTO PEREIRA FORTUNA

Monografia em Engenharia Química

Orientador

**Prof. Carlos André Vaz Junior,
D.Sc.**

Julho de 2018

CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA PARA POEIRAS EXPLOSIVAS EM UMA PLANTA INDUSTRIAL DE VEDANTES

Alice de Britto Pereira Fortuna

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Kese Pontes Freitas Alberton, D.Sc.

Karen Signori Pereira, D.Sc.

Felipe Selzer Raymann, B.Sc.

Orientado por:

Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Julho de 2018

Fortuna, Alice de Britto Pereira.

Classificação de área para poeiras explosivas em uma planta industrial de vedantes/Alice de Britto Pereira Fortuna. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.

xxii, 100 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2018.

Orientador: Carlos André Vaz Junior.

1. Poeiras Explosivas. 2. Classificação de Área. 3. Prevenção de Acidentes. 4.

Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Carlos André Vaz Junior. I. Segurança industrial em ambientes sujeitos a presença de poeiras explosivas.

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer primeiramente meus pais por sempre terem se empenhado para que eu pudesse ter as melhores oportunidades em minha vida de estudante. A eles também agradeço os irmãos que tenho, que sempre foram inspiração para mim.

As minhas colegas de classe Isabela Oliver, Suellen Paula, Luiza Leig e Camilla Ferreira, que me acompanharam nesta trajetória desde meu primeiro dia de aula até aqui.

Gostaria também de agradecer as minhas colegas de curso de Engenharia Química Mônica Gurvitz, Vivianne Borges, Daniella Beatriz, Natalia Colonese e Mariana Reis, que foram parte essencial dos meus últimos anos de graduação.

Agradeço também a UFRJ pelas oportunidades que me foram dadas durante os anos na faculdade e ao meu orientador de projeto final Carlos André Vaz Junior.

Além destes também gostaria de agradecer aos meus colegas de trabalho e vida, que complementaram muito a minha graduação e principalmente na minha trajetória até aqui: Fernando Martins, Guilherme Silva, Augusto Castro, Felipe Raymann, Lucas Luna, Leonardo Oliveira, Mariana Oliveira, Luciana Erthal, Carolina Brito, Julia Rocha e Izabella Amaral.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA PARA POEIRAS EXPLOSIVAS EM UMA PLANTA INDUSTRIAL DE VEDANTES

Alice de Britto Pereira Fortuna

Julho, 2018

Orientador: Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

A manipulação e o processamento de diferentes substâncias e materiais na indústria podem, em vários casos, envolver riscos de explosão e incêndio que comprometem a segurança dos trabalhadores e do patrimônio das empresas. Normalmente associa-se estes riscos a gases inflamáveis, combustíveis, produtos petroquímicos, solventes e similares. Porém, outra categoria de substâncias também pode apresentar um alto grau de risco: as poeiras combustíveis.

Tendo isto em vista, este trabalho visa abordar normas brasileiras relativas a prevenção de acidentes com poeiras explosivas, estas são: ABNT NBR IEC 60079-10-2 e ABNT NBR 16385. A primeira trata de classificação de área para áreas sujeitas a poeiras explosivas e a segunda de sistemas de prevenção e proteção contra explosão em fabricação, processamento e manuseio de partículas sólidas combustíveis. Os ambientes enquadrados em áreas classificadas requerem precauções especiais para a construção, instalação e uso de equipamentos.

Neste trabalho serão descritos os principais conceitos associados à análise de adequação de áreas classificadas. Uma extensa revisão das normas associadas será apresentada, buscando condensar de forma sucinta os parâmetros e recomendações estabelecidos pelos agentes normativos. Além da apresentação das normas, será apresentado o embasamento teórico que, de forma geral, fundamenta a correta aplicação das normas. Por fim, é apresentado um estudo de caso de classificação de área aplicado ao projeto de uma indústria de produtos químicos onde há adição de pó em uma de suas etapas.

Lista de Figuras

Figura 1: Ilustração da Padaria em Turim (OSHA, 1997)	Erro! Indicador não definido.
Figura 2: Poeiras envolvidas em explosões com pó (OSHA, 1997)	15
Figura 3: Triângulo do Fogo.....	21
Figura 4: Pentágono do Fogo (Adaptado de AMYOTTE e ECKHOFF, 2010)	23
Figura 5: Comparação entre detonação e deflagração.(CROWL e LOUVAR, 2001).....	20
Figura 6: Influência do teor de metano no ar sobre a concentração mínima explosivas de pós de carvão de diferentes conteúdos voláteis. Tamanho médio de partícula 40 µm a 75 µm , 4,5 kJ de energia de ignição. Eckoff (2003)	28
Figura 7: Influência do teor de metano no ar sobre a energia de ignição mínima faísca elétrica de um pó de carvão de 31% de conteúdo volátil. Tamanho médio de partícula é de 40 µm. Eckoff (2003)	29
Figura 8: Explosão em cascata: Mostra a progressão de uma explosão de poeira com a sequência de tempo e quanto dano pode ser causado (OSHA, 1997)	30
Figura 9: Fontes de Ignição para Poeiras Explosivas (SÁ, 1997)	32
Figura 10: Variação de concentrações de nuvens de pó no ar à temperatura ambiente e pressão atmosférica de um típico pó orgânico natural (amido de milho). (Eckhoff, 2003).....	35
Figura 11: Equipamentos Envolvidos em Explosões com Pó (Vijayaraghavan, 2004).....	39
Figura 12: Classificação de área para camadas de pós ou poeiras (ABNT NBR 16385)	43
Figura 13: Curva de elevação da pressão durante uma explosão (PASCON, 2011).....	51
Figura 14: Atuação de um painel de alívio em atuação (PASCON, 2011)	52
Figura 15: Esquema de um sistema de supressão (PASCON, 2011).....	53
Figura 16: Foto da entrada da fábrica da Imperial Sugar após o acidente (CSB, 2009).....	58
Figura 17: Foto da fábrica da Imperial Sugar após o acidente (CSB, 2009)	58
Figura 18: Foto aérea da fábrica da Imperial Sugar após o acidente (CSB, 2009).....	59
Figura 19: Camadas de açúcar acumuladas em pisos e equipamentos da Imperial Sugar. (CSB, 2009).....	59
Figura 20: Setor de Embalagem de açúcar (CSB, 2009).....	61
Figura 21: Esteira Transportadora com acúmulo de pó em suspensão (CSB, 2009).....	61
Figura 22: Obstrução de pó na saída de um dos depositores de pó na esteira (CSB, 2009)	62
Figura 23: Demais áreas da fábrica, com também acúmulo de pó em suspensão (CSB, 2009).....	62
Figura 24: Adição de chapas de inox envolvendo a esteira (CSB, 2009).....	63
Figura 25: Obstrução da esteira com a chapa de inox envolvendo a esteira (CSB, 2009)....	63
Figura 26: Momento da explosão (CSB, 2009)	64
Figura 27: Identificação da Zona nos desenhos (ABNT 60079-10-2).....	71
Figura 28: Vista Lateral das Zonas do Exemplo 1 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)	72
Figura 29: Vista Superior das Zonas do Exemplo 1 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)	73
Figura 30: Vista Lateral das Zonas do Exemplo 2 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)	74
Figura 31: Vista Superior das Zonas do Exemplo 2 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)	74
Figura 32: Classificação de Área na norma NFPA 499.....	76
Figura 33: Layout- Vista superior do processo de Vedantes.....	83
Figura 34: Layout- Vista frontal do processo de Vedantes	84
Figura 35: Bocal de adição de sólidos	86

Figura 36: Extração na Mesa de Carga	87
Figura 37: Planta de Classificação de Área- Vista superior da planta de Vedantes	90
Figura 38: Planta de Classificação de Área- Vista frontal da planta de Vedantes.....	91

Lista de Tabelas

Tabela 1: Produção e Área Plantada de Grãos (Embrapa, 2017)	16
Tabela 2: Classes de perigo para pós combustíveis (NFPA 68)	34
Tabela 3: Características de deflagração de produtos agrícolas. (ABNT NBR 16385)	34
Tabela 4: Subdivisão do Grupo III (ABNT NBR IEC 60079-10-2).....	37
Tabela 5: Temperaturas Mínima de Ignição (BENEDETTO, SARLI e RUSSO, 2010).....	38
Tabela 6: Intervalo de tempo para limpeza não programada (ABNT NBR 16385)	44
Tabela 7: Propriedades do pó utilizado no processo de Vedantes	82
Tabela 8: Classificação dos equipamentos do processo de Vedantes	88
Tabela 9: Simbologia para Planta de Classificação de Área.....	89

Sumário

1. Introdução	12
1.1. Objetivo do Trabalho	16
1.2. Metodologia	17
1.3. Organização dos Capítulos	17
2. Conceitos Gerais	18
2.1. Definições.....	18
2.1.1. Poeira.....	18
2.1.2. Poeira Combustível.....	18
2.1.3. Atmosfera Explosiva	19
2.1.4. Ignição.....	19
2.1.5. Deflagração.....	19
2.1.6. Detonação	19
2.2. Triângulo do Fogo.....	21
2.2.1. Combustível.....	21
2.2.2. Comburente	22
2.2.3. Fonte de Ignição	22
2.3. Pentágono da Explosão.....	23
2.3.1. Mistura de Combustível e Comburente	23
2.3.2. Confinamento	24
2.4. Classificação de Área.....	24
2.5. Norma Brasileira Para Classificação De Área	26
2.6. Explosão em Poeiras.....	26
2.6.1. Presença de Metano	27
2.6.2. Explosão em Cascata.....	29
2.7. Fontes de Ignição.....	30
2.8. Propriedades da Poeira	32
2.8.1. Tamanho da Partícula	33
2.8.2. Classe de Perigo.....	33
2.8.3. Limites de Inflamabilidade	35
2.8.4. Nível de Umidade.....	36
2.8.5. Grupo de Poeira e Resistividade Elétrica	36
2.8.6. Energia Mínima e Temperatura de Ignição de Nuvens de Poeira e Camadas de Poeira	37

2.9. Equipamentos Onde Os Acidentes Ocorrem.....	39
3. Sistemas Preventivos e Mitigadores.....	41
3.1. Sistemas Preventivos.....	41
3.1.1. Housekeeping pela norma ABNT NBR 16385.....	41
3.1.2. Programa de Prevenção a Incêndio	45
3.1.3. Controle de Atmosfera.....	46
3.1.4. Controle de Ignição.....	48
3.2. Sistemas Mitigadores.....	50
3.2.1. Sistemas que Reduzem os Efeitos da Explosão Durante o seu Curso	50
3.2.1.1. Contenção	50
3.2.1.2. Alívio ou “Venting”	51
3.2.1.3. Supressão	52
3.2.1.4. Isolamento por Intertravamento	53
3.2.2. Sistemas que minimizam consequências de uma explosão	54
3.2.2.1. Layout.....	54
3.2.2.2. Sistema de Combate a Incêndio.....	54
4. Análise do Acidente na Imperial Sugar	56
4.1. Lições Aprendidas	64
4.2. Gerenciamento de Mudanças	65
5. Aplicação da Classificação de Áreas.....	67
5.1. Norma ABNT NBR IEC 60079-10-2	67
5.1.1. Área Classificada.....	68
5.1.2. Área Não Classificada.....	68
5.2. Graus de Risco	69
5.2.1. Grau Contínuo.....	69
5.2.2. Grau Primário	69
5.2.3. Grau Secundário.....	69
5.3. Zonas de Classificação.....	70
5.3.1. Zona 20.....	70
5.3.2. Zona 21	70
5.3.3. Zona 22.....	70
5.4. Exemplos da Norma	71
5.4.1. Exemplo sem Ventilação de Extração	71
5.4.2. Exemplo com Ventilação de Extração	73

5.5. Extensão das Zonas	75
5.5.1. Zona 20.....	75
5.5.2. Zona 21.....	75
5.5.3. Zona 22.....	75
5.6. Ventilação.....	76
5.6.1. Ventilação Natural.....	78
5.6.2. Ventilação de Extração	78
5.7. Níveis de Limpeza	79
5.7.1. Bom.....	79
5.7.2. Regular	80
5.7.3. Pobre	80
6. Estudo de caso	81
6.1. Descrição da Área.....	81
6.2. Layout da Planta.....	82
6.3. Ventilação.....	85
6.4. Limpeza.....	85
6.5. Classificação da Área.....	85
6.5.1. Interior do Misturador	85
6.5.2. Mesa de Carga do Misturador	86
6.5.3. Planta de Classificação de área	89
6.5.4. Análise da Classificação de área de Vedantes.....	91
7. Conclusão	93
8. Revisão Bibliográfica	94
ANEXO A – P&ID DO ESTUDO DE CASO.....	99

1. Introdução

A primeira explosão de poeira documentada na história ocorreu em uma padaria de Turim, na Itália, em 1785. A explosão foi causada pela ignição do pó de farinha por uma lâmpada em um depósito. Felizmente, a explosão não causou fatalidades. Porém o incidente levou à constatação de que o pó de grão é uma substância explosiva que deve ser tratada com cautela (PAREKH, 1998).

A explosão em uma grande planta em Corpus Christi, Texas, em abril de 1981, chamou a atenção na era moderna para acidentes com poeiras explosivas. Esta explosão resultou em nove mortes, 30 feridos e mais de US\$ 46 milhões em danos materiais corrigidos para valores atuais. A causa mais provável da explosão é de que um grão de milho inflamou uma nuvem de poeira em um elevador de balde, embora nunca tenha havido consenso sobre a causa (PAREKH, 1998).

Entre as ocorrências recentes no cenário internacional, ressalta-se a explosão da Imperial Sugar, em 7 de fevereiro de 2008, uma refinaria de açúcar perto de Savannah, Georgia, nos Estados Unidos. A explosão feriu mais de 30 pessoas e causou 13 fatalidades - o relatório da investigação deste evento será posteriormente discutido no Capítulo 4.

No Brasil também já foram registradas diversas ocorrências, especialmente na região Sul do país. Embora não se tenham estatísticas detalhadas, pode-se afirmar que algumas ocorrências atingiram considerável magnitude. (RANGEL, 2003)

Entre as ocorrências de explosões envolvendo pós combustíveis no Brasil, RANGEL (2003) cita:

Em janeiro de 1992: explosão da célula C-2 do silo vertical do Porto de Paranaguá, Curitiba (PR), que causou o falecimento de dois trabalhadores além de cinco ficarem feridos. A provável causa apontada para a explosão teria sido a combustão da poeira de cevada armazenada no local, durante uma operação de limpeza que acontecia no décimo andar do silo, o qual tinha 13 andares e 55 metros de altura.

Em junho de 1993: explosão de um túnel de expedição de grãos da Cooperativa Agrícola Vale do Piqueri (Coopervale), em Assis Chateaubriand (PR). A explosão deslocou o túnel, lançando-o a mais de um metro no ar, e formou uma cratera de mais de 40 metros de diâmetro. Quatro homens, que trabalhavam no escritório do setor de expedição morreram, e seis ficaram feridos. Segundo moradores da cidade, o estrondo foi ouvido há quilômetros de distância.

Em novembro de 2001: explosão no depósito da empresa multinacional Coinbra, responsável pelo armazenamento de grãos do Corredor de Exportação do Porto de Paranaguá (PR). Esta explosão deixou 18 pessoas feridas. A explosão teve magnitude tal que pedaços de telhas de zinco foram arremessados até mil metros de distância, e estruturas de cimento com mais de 300 quilos também foram encontradas longe.

Além dos acidentes citados por RANGEL (2003), o Jornal do Estado de São Paulo noticiou em outubro de 2013 que uma explosão atingiu armazéns arrendados pela Copersucar - uma refinaria de açúcar no Porto de Santos, maior exportadora de açúcar e etanol do Brasil. Na ocasião, dos seis galpões da empresa, com capacidade para armazenamento de 300 mil toneladas, três foram afetados. Pela cotação da época, o prejuízo chegou a aproximadamente R\$ 130 milhões.

Apesar de todos estes eventos, até 2013 não existia, no Brasil, norma que tratasse da instalação de equipamentos elétricos em áreas sujeitas a presença de atmosferas de pós explosivos. Apenas em março de 2013 foi publicada a ABNT NBR 60079-10-2 (Classificação de áreas – Atmosferas de poeiras combustíveis). Até esta norma ser lançada, indústrias brasileiras poderiam se basear pela NFPA 499, norma americana que também trata do tema.

Além da ABNT NBR 60079-10-2, em julho de 2015 foi lançada a norma ABNT NBR 16385 (Sistemas de prevenção e proteção contra explosão – Fabricação, processamento e manuseio de partículas sólidas combustíveis – Requisitos), que trata do sistema de prevenção e proteção contra incêndios de pós em instalações industriais que manuseiam partículas sólidas combustíveis. O que se utilizava antes de 2015 para proteção e prevenção do sistema eram normas acessórias ao tema, como a NBR ISO 6184 (2007) (Determinação dos índices de explosão

dos pós combustíveis no ar) que trata da determinação dos índices de explosão de misturas ar/combustível, pós e gases combustíveis no ar, além da determinação da eficácia dos sistemas de supressão de explosões. Normas estrangeiras, como as americanas (NFPA 654 - Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids), inglesas e alemãs, eram utilizadas por empresas que já possuíam certa cultura de prevenção contra explosões.

De acordo com Antony Brown, um dos membros do comitê responsável pela criação da ABNT NBR 16385, mesmo que as instruções da NBR 16385 não sejam obrigatórias, ela se torna imprescindível em determinado contexto pois, se a norma for citada em alguma norma regulamentadora (NR), ela passa automaticamente a ser lei em âmbito federal. De mesmo modo, se a NBR 16385 for citada em uma Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros, ela deverá ser cumprida. (SOBRAL, 2016)

A ABNT NBR 16385 tem 142 páginas e engloba desde a definição sobre o que é uma explosão até a recomendação de equipamentos que devem ser utilizados para prevenir esse tipo de acidente, passando ainda por temas como requisitos de projeto.

Em relação às poeiras explosivas é importante também mapear quais poeiras estão mais frequentemente envolvidas em acidentes com pó, e com isso quais setores da economia devem se atentar mais a este risco. Segundo a OSHA, 1997 (Occupational Safety and Health Administration - agência do Departamento do Trabalho dos Estados Unidos), as poeiras usualmente envolvidas em Explosões com pó estão distribuídas conforme a Figura 1.

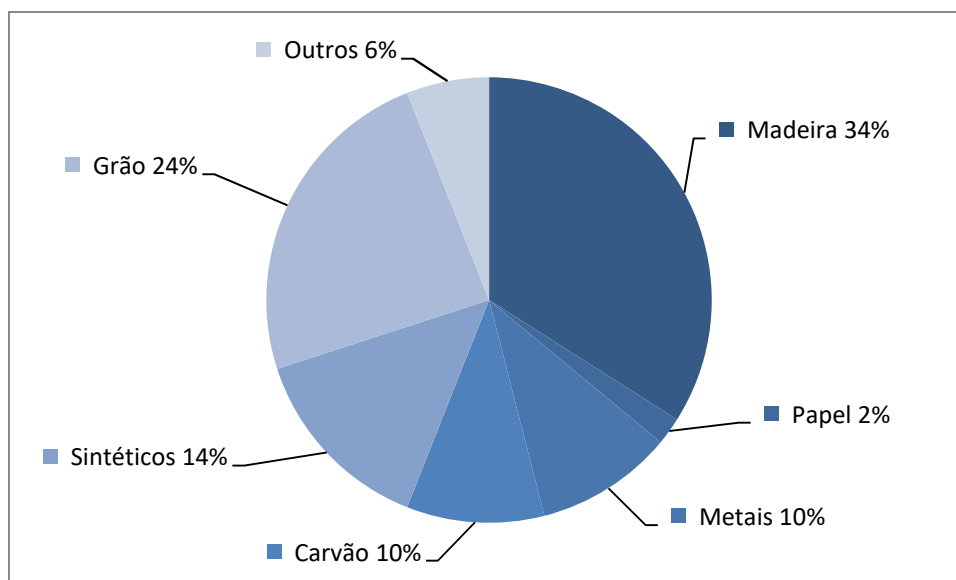


Figura 1: Poeiras envolvidas em explosões com pó (OSHA, 1997)

Pela figura, é possível analisar que o pó da madeira, composto principalmente de celulose (aproximadamente 40-50%), gerado pelos vários processos de transformação da madeira, é o pó onde há maior frequência de acidentes.

Já as poeiras de grãos são o segundo tipo de poeira mais envolvido em acidentes com explosões de pó, e este número tende a aumentar. O Ministério da Agricultura brasileiro divulgou, em agosto de 2017, o Relatório de Projeções de Crescimento do Agronegócio no Brasil até 2026/2027. O relatório analisou o crescimento da produção dos seguintes tipos de grãos: Algodão, amendoim, arroz, aveia, centeio, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo, trigo e tricalhe, todos estes com potencial geração de pó de grão através de seus processos de transformação. Os resultados da análise estão apresentados conforme a Tabela 1.

Ano	Produção (mil t)		Área (mil hectares)	
	Projeção	Limite Superior	Projeção	Limite Superior
2017/18	220.634	244.322	62.166	65.134
2018/19	236.859	263.898	63.222	68.409
2019/20	239.110	272.011	64.308	71.316
2020/21	248.209	284.836	65.243	73.808
2021/22	253.865	294.451	66.199	76.113
2022/23	261.218	305.152	67.123	79.239

2023/24	267.720	314.888	68.054	80.259
2024/25	274.643	324.780	68.977	82.184
2025/26	281.356	334.323	69.903	84.041
2026/27	288.173	343.814	70.828	85.840

Tabela 1: Produção e Área Plantada de Grãos (Embrapa, 2017)

As projeções para 2026/27 são de uma safra de grãos por volta de 288,2 milhões de toneladas, e corresponde a um acréscimo de 24,2% sobre a atual da safra de 2017. Esse acréscimo corresponde a uma taxa de crescimento de 2,6% ao ano. A área de grãos deve aumentar 17,3% entre 2016/17 e 2026/27, passando de 60,4 milhões de hectares em 2016/17 para 70,8 milhões em 2026/27, o que corresponde a um acréscimo anual de 1,5%.

Uma vez que os grãos são o segundo tipo de poeira que estão envolvidos em acidentes com pó, o potencial de crescimento do setor pode causar aumento também no número de acidentes com o pó destes grãos, por isso a importância do estudo abordado neste trabalho.

Porém não há explosões nem mesmo incêndios se os grãos (ou qualquer poeira combustível) estiverem isolados, mesmo em concentração explosiva. É necessário que haja duas outras condições presentes no ambiente para que a explosão ocorra: um comburente e uma fonte de ignição.

1.1. Objetivo do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo geral analisar explosões de pó em indústrias, assim como as orientações das normas existentes a respeito do assunto.

Os objetivos específicos são:

- i) Apresentar os conceitos de fogo e explosão;

- ii) Apresentar as normas ABNT NBR 16385 e ABNT NBR IEC 60079-10-2;
- iii) Apresentar o caso do acidente na empresa Imperial Sugar, analisando os fatores que levaram à explosão;
- iv) Fazer a análise de um estudo de caso de uma planta de Vedantes em Jundiaí-SP, em que a norma ABNT NBR IEC 60079-10-2 foi seguida.

1.2. Metodologia

A metodologia proposta neste trabalho contemplou o estudo de normas ABNT para classificação de áreas com poeiras combustíveis e suas aplicações, além da análise crítica do acidente da Imperial Sugar e de estudo de caso.

1.3. Organização dos Capítulos

No capítulo 2 uma revisão bibliográfica a respeito de explosões de pó é apresentada.

No capítulo 3 os sistemas preventivos e mitigadores para a acidentes com pós são apresentados se baseando na norma ABNT NBR 16385.

No capítulo 4 é feita uma apresentação da refinaria de açúcar da Imperial Sugar. Estão inseridos neste capítulo a descrição dos acontecimentos que levaram a explosão da fábrica.

No capítulo 5 são apresentadas as zonas de classificações de área e como distinguir cada uma delas a partir da norma ABNT NBR IEC 60079-10-2.

No capítulo 6 são apresentados a análise de classificação de área em um estudo de caso de uma planta em Jundiaí-SP.

2. Conceitos Gerais

Neste capítulo, o objetivo é contextualizar os termos técnicos que serão apresentados nos próximos capítulos e prover o embasamento científico para o estudo de caso que será apresentado ao final deste trabalho.

2.1. Definições

2.1.1. Poeira

As poeiras são partículas sólidas geradas mecanicamente por manuseio, moagem, raspagem, esmerilhagem, impacto rápido, denotação, etc. (SÁ, 2007)

Estas podem ser proveniente de materiais orgânicos e inorgânicos (como grãos, minérios, pedras, madeiras e metais) e não tendem a flocular (a não ser sob ação de forças eletrostáticas), apenas se depositam pela ação da gravidade. (SÁ, 2007)

As poeiras são encontradas em dimensões perigosas que vão de 0,5 a 10 mg/m³. São expressas em m.p.p.c. (milhões de partículas por pé cúbico de ar) ou mg/m³ de ar conforme método a ser usado para detecção. (SÁ, 2007)

2.1.2. Poeira Combustível

Partículas sólidas finamente divididas, de 500 µm ou menores, que podem estar suspensas no ar, podendo ficar suspensas na atmosfera sob o próprio peso, podem queimar ou derreter no ar, e podem formar

misturas explosivas com o ar à pressão atmosférica e a temperaturas normais. (ABNT NBR 60079-10-2)

No item 2.8 serão melhor descritas as propriedades de poeira a serem consideradas neste estudo.

2.1.3. Atmosfera Explosiva

Mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias combustíveis na forma de poeira, fibras ou partículas em suspensão, as quais, após ignição, permitem uma propagação autossustentada. (ABNT NBR IEC 60079-10-1)

2.1.4. Ignição

A ignição é um processo ou meio que inflama um material combustível. O processo de ignição de uma mistura inflamável pode ser causado pelo contato da mistura com uma fonte de ignição, como uma centelha elétrica, superfície quente ou chama direta, por exemplo. (ABNT NBR IEC 60079-10-1)

2.1.5. Deflagração

É o fenômeno de explosão que ocorre com velocidade de chama de 1 a 100m/s – é o mais comum em ambiente industrial. (SÁ, 1997)

2.1.6. Detonação

É o fenômeno de explosão em que a velocidade da chama é igual ou superior a velocidade do som, chegando aos 1000m/s. No caso das

explosões em cadeia (em sequência) a deflagração evolui para detonação nas fases posteriores. (SÁ, 1997)

Logo, de acordo com CROWL e LOUVAR (2001), as frentes de pressão produzidas por detonações e deflagrações possuem características marcantes e distintas.

Uma detonação produz uma onda de choque, com aumento abrupto de pressão (superior a 10 atm) e de duração total menor que 1 milissegundo.

A frente de pressão resultante de uma deflagração é temporalmente mais ampla (possui muitos milissegundos de duração), lisa (sem uma onda de choque abrupta), e com uma pressão máxima (tipicamente de 1 ou 2 atm) muito menor do que a pressão máxima de uma detonação, conforme comparativo da Figura 2. (CROWL e LOUVAR, 2001)

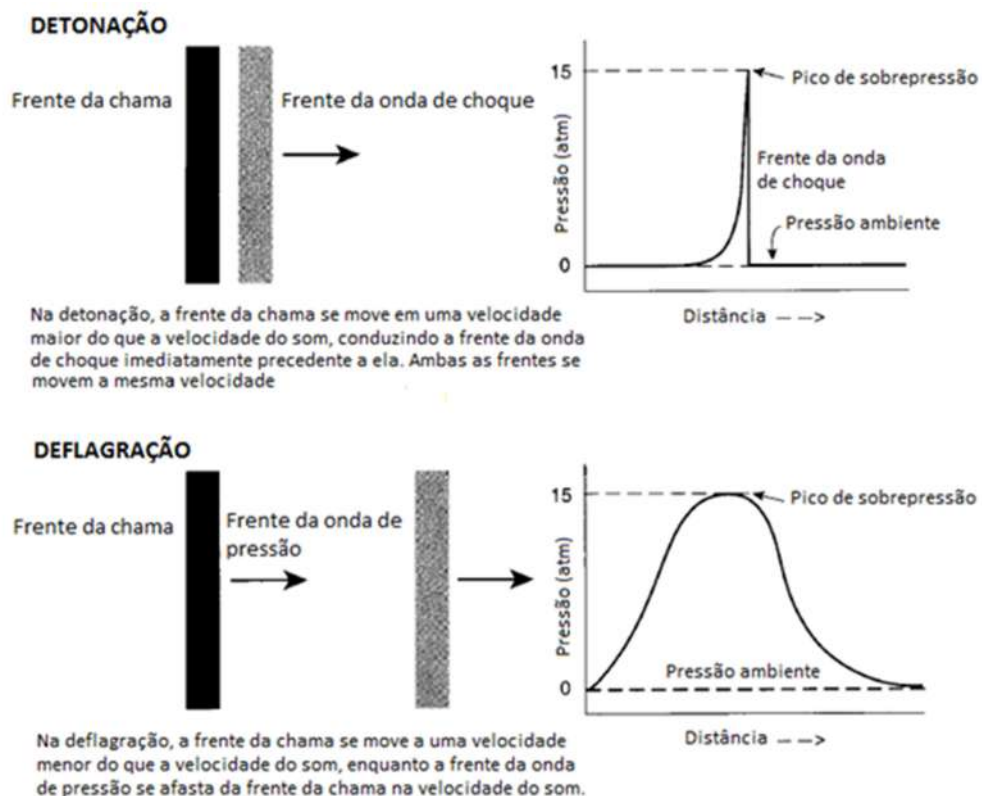


Figura 2: Comparação entre detonação e deflagração.(CROWL e LOUVAR, 2001)

2.2. Triângulo do Fogo

As condições que favorecem a ocorrência de explosões podem fazer parte da operação normal do processo industrial em questão ou surgirem como decorrência de situações não operacionais.

Fogo é a reação química na qual um combustível se combina com comburente (em geral oxigênio), sendo liberada energia. Como já dito anteriormente, existem três condições essenciais para haver o fogo: (1) combustível, (2) comburente e (3) calor. Essas condições essenciais são usualmente dispostas no tradicional “triângulo do fogo”. Se uma destas condições não está presente, o fogo não ocorre. De mesmo modo, se uma delas é removida, o fogo é extinto (LEES, 1996). Na Figura 1 é apresentado o triângulo do fogo, sintetizando o que foi explicado acima.



Figura 3: Triângulo do Fogo

A seguir cada um dos fatores que compõem o triângulo de fogo será descrito.

2.2.1. Combustível

O combustível é todo material que queima. São gases, vapores, névoas, poeiras ou fibras, ou seja, podem ser sólidos, líquidos e gasosos, sendo que os sólidos e os líquidos se transformam primeiramente em gás pelo calor e depois inflamam.

2.2.2. Comburente

O ar contém aproximadamente 20,95 % de oxigênio. No caso de atmosferas que contenham mais de 21 % de oxigênio ou onde a pressão parcial do oxigênio exceda a pressão de 12 bar, deve ser considerado como uma atmosfera de oxigênio enriquecida. Desde que a ignição possa ser mais acelerada nestas atmosferas, deve existir precaução especial. (GARSIDE, 1995)

2.2.3. Fonte de Ignição

Existe um grande número de fontes de ignição em potencial, segundo GARSIDE (1995), tais como chamas abertas, superfícies quentes do próprio processo, faiscamentos, centelhamentos, energia estática, incluindo as geradas de roupas e por descargas elétricas.

Muitas destas fontes podem ser controladas ou minimizadas através de um bom arranjo da planta, gerenciamento e controle de riscos. Existe, porém, um problema adicional: os equipamentos elétricos necessários para operar uma planta industrial, tais como bombas, ventiladores, luzes, instrumentação e outros equipamentos são eles próprios fontes de ignição potenciais.

Para MORAES et JORDÃO (2002), em unidades de processos, vários são os equipamentos que podem ocasionar uma onda de choque, centelhas ou produzir um efeito térmico. É preciso ter cuidado especial com instalações elétricas, devido ao fato da eletricidade ser uma fonte de risco normalmente presente.

2.3. Pentágono da Explosão

A expansão do triângulo do fogo é conhecida como “pentágono da explosão”, representado na Figura 4, por incluir a mistura do combustível com o comburente e o confinamento da mistura.



Figura 4: Pentágono do Fogo (Adaptado de AMYOTTE e ECKHOFF, 2010)

2.3.1. Mistura de Combustível e Comburente

Este fator ilustra a diferença entre as explosões de pó e de gás – a presença de um combustível sólido ao invés de um combustível gasoso. As explosões de gases envolvem um sistema homogêneo no qual pequenas quantidades de combustível e ar estão separadas somente por distâncias moleculares. A mistura completa de combustível e oxidante é facilmente alcançada e os efeitos gravitacionais são desprezíveis (AMYOTTE e ECKHOFF, 2010).

Entretanto, na mistura pó/ar, as partículas de pó são fortemente influenciadas pela gravidade; um pré-requisito essencial para a explosão de pó é a formação de uma suspensão pó/oxidante.

2.3.2. Confinamento

Uma vez que a explosão desta mistura pó/ar ocorre, o confinamento (parcial ou completo) permite o desenvolvimento de uma sobrepressão, o que causa uma queima rápida do pó que acarreta em uma transição para uma explosão de pó (ECKHOFF, 2003).

Devido aos riscos da presença destes fatores apresentados acima, tem-se necessária à utilização do conceito de Área Classificada, que permite, a partir da delimitação de áreas de maior ou menor exposição de material inflamável, restringir as fontes de ignição presentes na planta.

2.4. Classificação de Área

Buscando evitar a presença de fontes de ignição em locais onde existe potencial formação de nuvens explosivas, desenvolveu-se o conceito de “Área Classificada”.

Segundo Sá (1997), a Área Classificada é uma área de espaço tridimensional na qual uma atmosfera potencialmente explosiva estará presente ou na qual é provável a sua ocorrência, a ponto de exigir precauções especiais para construção, instalação e utilização de equipamentos elétricos.

Áreas classificadas estão frequentemente presentes na indústria, sendo um campo de interesse prático e científico. Um dos aspectos que devem ser observados é a segurança das instalações e equipamentos elétricos, que devem ser apropriadamente especificados de acordo com o ambiente e a natureza das substâncias que podem gerar uma atmosfera explosiva (NBR-8370).

Conforme o Triângulo do Fogo, para que uma explosão possa ocorrer, uma atmosfera explosiva e uma fonte de ignição precisam coexistir. Portanto, as medidas de proteção aplicadas em projetos de instalações elétricas ou de

instrumentação em atmosferas explosivas a partir dos critérios de área classificada objetivam reduzir a um nível aceitável a possibilidade de que uma instalação elétrica possa se tornar uma fonte de ignição em presença de atmosfera explosiva.

As instalações elétricas em áreas classificadas necessitam de proteções adicionais em relação às instalações tradicionais devido ao maior risco de ocorrência de explosões e consequentes incêndios de grandes proporções. A presença de equipamentos elétricos em áreas com atmosferas explosivas constitui-se como uma das principais fontes de ignição e de produção de chamas e explosões. Isso ocorre porque esses equipamentos podem gerar centelhamentos, no chaveamento de contatos, ou devido às elevadas temperaturas de operação, ou ainda em condições de falha (NETO e SOARES, 2010).

Corroborando com o que foi dito acima, segundo a NBR 60079-14 (ABNT, 2007), quando equipamentos elétricos são instalados em ambientes que contenham concentrações perigosas de gases inflamáveis, vapores, poeiras, névoas ou fibras inflamáveis que possam estar presentes na atmosfera, medidas de proteção devem ser aplicadas de maneira a diminuir o risco de explosão devido à ignição por arcos ou faíscas em condições normais ou sob condições de falhas especificadas. Um projeto bem dimensionado pode possibilitar a instalação de equipamentos elétricos em áreas de menor risco ou áreas não classificadas.

Avaliar e controlar os riscos em áreas classificadas não é somente um requisito legal como também um fator de segurança decisivo para o funcionamento ótimo de uma instalação elétrica em áreas classificadas (NR 10). A manutenção dos equipamentos e instalações deve ser um processo contínuo nos procedimentos e controles de uma área classificada.

2.5. Norma Brasileira Para Classificação De Área

Em março de 2013 houve a primeira publicação da norma ABNT NBR IEC 60079-10-2 (Classificação de áreas – Atmosferas de poeiras combustíveis). Esta norma é relacionada com a identificação e classificação de áreas onde atmosferas explosivas de poeiras e camadas de poeiras combustíveis estão presentes, de forma a permitir uma adequada avaliação das fontes de ignição em tais áreas.

Segundo Roberval Bulgarelli, representante do Brasil no TC-31 da IEC, as áreas industriais que apresentem o risco de possuir atmosferas explosivas devido à presença de poeiras combustíveis necessitam passar por avaliações de risco. Estas avaliações de risco determinam as extensões e as características das misturas destas poeiras que podem estar presentes nas instalações de processo. Estas áreas de risco, que apresentam a possibilidade de presença de atmosferas explosivas, são denominadas áreas classificadas. (BULGARELLI, 2016)

Foi publicada pela ABNT, em junho de 2016, uma nova revisão da norma ABNT NBR IEC 60079-10-2, esta será posteriormente avaliada e exemplificada no capítulo 5.

2.6. Explosão em Poeiras

Em explosões de pó, materiais sólidos combustíveis suspensos no ar podem se incendiar a partir de uma fonte de ignição, sendo que quanto mais subdividido este material estiver maior será a velocidade de combustão, pois ocorrerá um aumento na superfície total de contato entre o material e o ar. Explosões de pó são mais possíveis de ocorrer por causa do tamanho de suas partículas, tendo como base de regra que somente partículas menores que 500 μm podem entrar em ignição (COUTO, 2004). Entretanto, deve-se

dar a devida importância ao tipo de material que forma a nuvem de pó, pois existem materiais que nem entram em ignição (ECKHOFF, 2003).

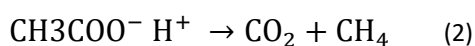
Quando um pó pega fogo, ele queima outras partículas ao seu redor e a chama pode se alastrar por uma nuvem de pó com uma força explosiva. Esta explosão pode ter proporções devastadoras, ocorrendo em cadeia.

O processo de explosão envolve alta taxa de combustão das partículas individuais e aglomeradas que são consumidas ou oxidadas. A combustão do carbono presente em materiais orgânicos produzirá produtos gasosos que ocuparão mais espaço que o sólido de origem elevando a pressão.

Além dos produtos gasosos gerados no processo de combustão, em alguns tipos de grãos pode haver geração de metano a partir de sua decomposição natural. O metano também é liberado no processo de extração de carvão de minas.

2.6.1. Presença de Metano

Em relação às explosões envolvendo grãos, ainda há o risco da chama resultar na ignição de gases, produzidos pela decomposição de pó. A decomposição de grãos pode gerar vapores inflamáveis, que se apresentam quando a umidade do grão é superior a 20%, podem liberar gases como metano e etano (COUTO, 2004). A liberação do gás metano pode acontecer também pela respiração anaeróbica de microrganismos também conhecida como fermentação (DANIELS et al., 1987; METJE e FRENZEL, 2007). As equações 1 e 2 demonstram como ocorre emissão do metano para o ambiente.



Sendo a primeira equação metanogênese hidrogenotróficas e a segunda metanogênese acetoclástica. Nesta última o metano é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético, e no caso das hidrogenotróficas, a partir do consumo do hidrogênio. (DANIELS et al., 1987; METJE; FRENZEL, 2007)

Outra fonte de emissão de metano em uma explosão de pó ocorre em minas de carvão, sendo resultado do processo de extração de carvão tanto da superfície como no subsolo da mina. A emissão da superfície é bem menor que a emissão advinda do subsolo, entretanto o tipo de pó, a permeabilidade, parâmetros geológicos e a quantidade de carvão produzido vão interferir na quantidade de metano emitido (KARAKURT; AYDIN; AYDINER, 2012).

O gás metano é altamente explosivo sendo um dos gases de maior efeito para explosões de pó. (ANDERSEN et al., 2009; COLLECUTT; HUMPHREY; PROUD, 2009).

O gás metano influencia os vários índices relacionados a explosões de pó como pode ser visualizado nos Figura 5 e Figura 6.

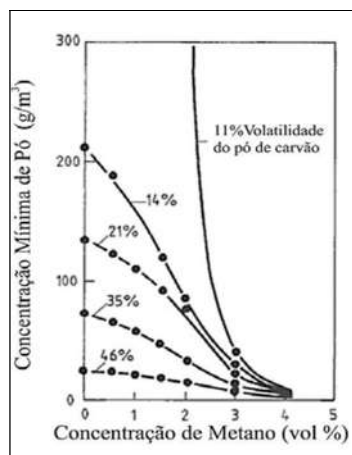


Figura 5: Influência do teor de metano no ar sobre a concentração mínima explosivas de pós de carvão de diferentes conteúdos voláteis. Tamanho médio de partícula 40 µm a 75 µm , 4,5 kJ de energia de ignição. Eckoff (2003)

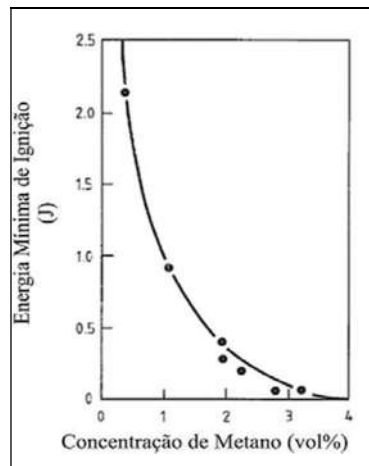


Figura 6: Influência do teor de metano no ar sobre a energia de ignição mínima faísca elétrica de um pó de carvão de 31% de conteúdo volátil. Tamanho médio de partícula é de 40 μm . Eckoff (2003)

Na Figura 5 e Figura 6 pode-se observar que fatores que causam uma explosão de pó são influenciados pelo aumento de metano na atmosfera, todos eles são decrescidos quando existe o gás metano na atmosfera, com isto aumentando a probabilidade de ocorrência de uma explosão.

Quando há uma explosão em pó geralmente esta pode ser dividida em duas explosões: uma primária e uma secundária – ocorrida devido ao efeito cascata da primária.

2.6.2. Explosão em Cascata

A explosão primária acontece em ambientes confinados, como ciclones, silos ou alguma outra parte fechada da fábrica. Após a detonação, a onda de choque pode danificar e, muitas vezes, romper paredes, permitindo que chamas de poeira e gases da explosão sejam expelidos para as demais áreas da planta (OSHA, 1997).

A explosão primária perturba o pó que pode estar acumulado no ambiente ao redor do acidente. Uma vez no ar, este pó pode provocar uma explosão maior; isso é referido como uma explosão secundária. As explosões secundárias podem causar danos graves aos edifícios das plantas ao redor da afetada. Todas as explosões de poeira em larga escala resultam de

reações em cadeia deste tipo. Pode haver uma reação em cadeia de muitas explosões causadas pela explosão inicial (OSHA, 1997). No acidente da Imperial Sugar, que será posteriormente abordado, houve primeiro a explosão primária, e em seguida a secundária. Este efeito ocorre como representado na Figura 7.

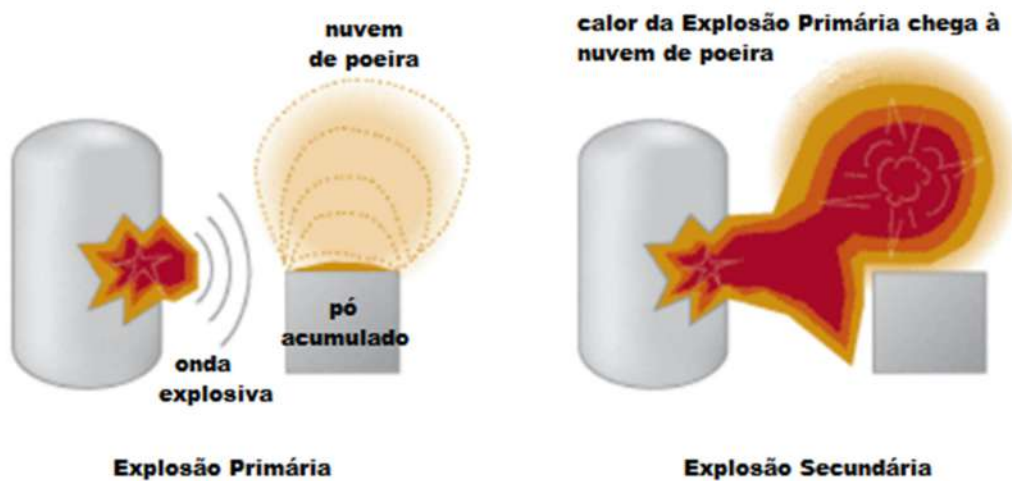


Figura 7: Explosão em cascata: Mostra a progressão de uma explosão de poeira com a sequência de tempo e quanto dano pode ser causado (OSHA, 1997)

2.7. Fontes de Ignição

As nuvens de poeira podem incendiar-se pela ação de diferentes fontes de ignição, tais como chamas abertas, arcos elétricos, filamentos incandescentes, faíscas de fricção, condutos de vapor de alta pressão e outras superfícies quentes, faíscas eletrostáticas, aquecimento espontâneo, solda e corte oxi-acetilênico e faíscas procedentes destas operações. (SÁ, 1997)

Em equipamentos elétricos, são vários os fatores que podem vir a ser fonte de ignição de uma atmosfera explosiva. Estes podem ser ocasionados por condições normais de operação do equipamento ou por condições anormais de operação tais como: travamentos de motores, mau contatos, falhas de

montagem e manutenção, falta de aterramento, curtos-circuitos etc.(JORDÃO, 2002)

Assim sendo, para JORDÃO (2002), é fundamental o conhecimento das peculiaridades de cada ambiente quanto ao aspecto da possibilidade da presença de uma atmosfera potencialmente explosiva, para uma correta especificação técnica de um equipamento elétrico.

Para que o processo de especificação, instalação, manutenção e sequência operacional de uma determinada área industrial, que possua características consideradas explosivas, seja possível dentro de normas de segurança reconhecidas internacionalmente, é fundamental o desenvolvimento de um arranjo denominado “planta de classificação de áreas”, conforme JORDÃO, 2002.

A partir desta, é possível definir quais as melhores soluções técnicas para a especificação e instalação de um equipamento elétrico nesta área, ou até se a melhor solução for a instalação deste equipamento a uma distância segura, fora da área desta atmosfera explosiva.

É interessante ressaltar que a maior parte das temperaturas necessárias para pôr em ignição as nuvens de pó situa-se entre 300 e 600 ° C e a grande maioria das potências está entre 10 e 40 milijoules. Comparando-se estes dados com as energias de ignição necessárias para inflamar vapores, que são de 0,2 a 10 milijoules, verifica-se que as poeiras necessitam de 20 a 50 vezes mais energia do que para os gases. Mesmo assim, a energia de ignição necessária para explodir poeiras é inferior às produzidas pela maior parte dos equipamentos industriais comuns, de modo que a eliminação de todas as fontes é um princípio básico na prevenção de acidentes por explosão, embora difícil de ser atingido. As fontes mais comuns de ignição em casos de acidentes com poeiras estão apresentadas na Figura 8. (SÁ, 1997)

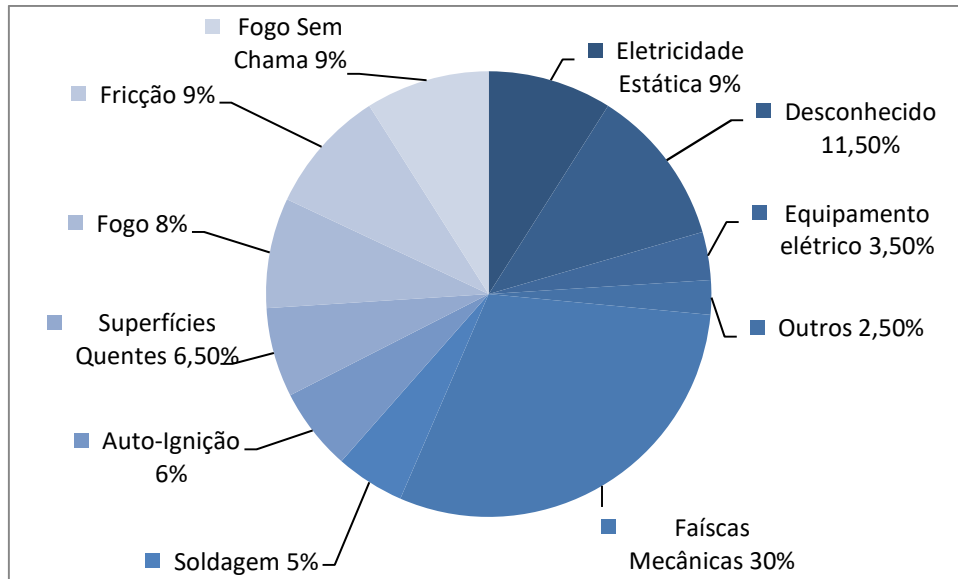


Figura 8: Fontes de Ignição para Poeiras Explosivas (SÁ, 1997)

A partir da Figura 8, nota-se que faíscas mecânicas, isto é, faíscas provocadas pelo uso de ferramentas de corte, solda, esmerilhamento, etc., são responsáveis por 30% das fontes de ignição em explosões com poeiras.

Além disto, nota-se também que 11,5% das fontes de ignição são desconhecidas. Em uma instalação industrial existem inúmeros fatores/equipamentos que podem gerar de fonte de ignição, dificultando definir exatamente qual gerou a ignição.

2.8. Propriedades da Poeira

Segundo a norma ABNT NBR IEC 60079-10-2, as propriedades a serem levadas em consideração para a análise de risco de explosão com poeiras são conforme itens abaixo.

2.8.1. Tamanho da Partícula

Quanto menor for a dimensão da partícula, mais fácil é a nuvem sofrer ignição, visto ser maior a superfície exposta por unidade de peso da matéria (superfície específica). (SÁ, 1997)

As dimensões da partícula influem também sobre a taxa de crescimento da pressão: para uma concentração dada de pó em peso, um pó formado por partículas grossas mostra uma velocidade de aumento de pressão mais baixa que o mesmo pó fino. (SÁ, 1997)

A concentração mínima necessária para que haja explosão (CMI), a temperatura de ignição, e a energia necessária para ignição, por sua vez diminuem ao diminuir a dimensão da partícula de pó. Numerosos estudos indicam este efeito em grande variedade de poeiras. (SÁ, 1997)

Em relação aos conceitos apresentados acima em relação ao tamanho da partícula, também é possível obter a partir das normas ABNT NBR 16385 e NFPA 68 o conceito de classe de perigo de pós, que avalia o potencial de destruição de um pó combustível.

2.8.2. Classe de Perigo

Segundo a NFPA 68, a pressão máxima de deflagração ($P_{m\acute{a}x}$) e a máxima taxa de crescimento da pressão $[(dP/dt)_{m\acute{a}x}]$ são determinadas a partir de testes de diferentes concentrações de pós combustíveis. A $P_{m\acute{a}x}$ para pós combustíveis é em torno de 6 a 10 vezes maior que a pressão absoluta no momento da ignição.

Os parâmetros de pressão máxima de deflagração e a máxima taxa de crescimento da pressão são fatores chave nos sistemas de proteção de uma instalação. (NFPA 68)

A taxa de deflagração (K_{ST}) é calculada a partir da equação 4, onde V é o volume de um vaso fechado. (NFPA 68)

$$K_{ST} = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max} V^{1/3} \quad (4)$$

Baseado nos valores de K_{ST} , os pós são classificados em três níveis de perigo, conforme representado na Tabela 2. Estas classes são uma indicação do perigo de explosividade relativa, além de também ser utilizada para o dimensionamento de vent's que aliviam a pressão de um vaso no caso de uma explosão. (NFPA 68)

Hazard Class	K_{ST} (bar-m/seg)	$P_{\max}$ (bar)
St-1	200	10
St-2	201-300	10
St-3	>300	12

Tabela 2: Classes de perigo para pós combustíveis (NFPA 68)

A norma ABNT NBR 16385 levanta dados, conforme NFPA 68, das características de deflagração de uma seleção de pós combustíveis (pós de produtos agrícolas, de carvão, metálicos, químicos e de plásticos). Para exemplificar, a partir da Tabela 3 podemos obter as características de deflagração de produtos agrícolas, onde CMI é a concentração mínima de inflamabilidade.

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

Tabela 3: Características de deflagração de produtos agrícolas. (ABNT NBR 16385)

2.8.3. Limites de Inflamabilidade

A combustão explosiva de nuvens de pó não poderá ocorrer a menos que a concentração de pó (e.g., massa de pó por volume de nuvem) esteja dentro de certos limites. O mesmo ocorre com a combustão de misturas homogêneas de gases combustíveis e ar, nos quais os limites de inflamabilidade inferior (LII) e superior (LSI) são bem estabelecidos (ECKHOFF, 2003). Os limites de inflamabilidade diferem um pouco de acordo com o material que compõe o pó.

A Figura 9 ilustra a variação de explosividade para um típico material orgânico natural, como o amido de milho, no ar à temperatura ambiente e pressão atmosférica (ECKHOFF, 2003). Ainda segundo ECKHOFF (2003), a faixa de explosividade do amido de milho é bem estreita, estendendo-se sobre menos do que duas ordens de grandeza, de 50-100 g/m³ (concentração mais baixa) até 2-3 kg/m³ (concentração mais alta).

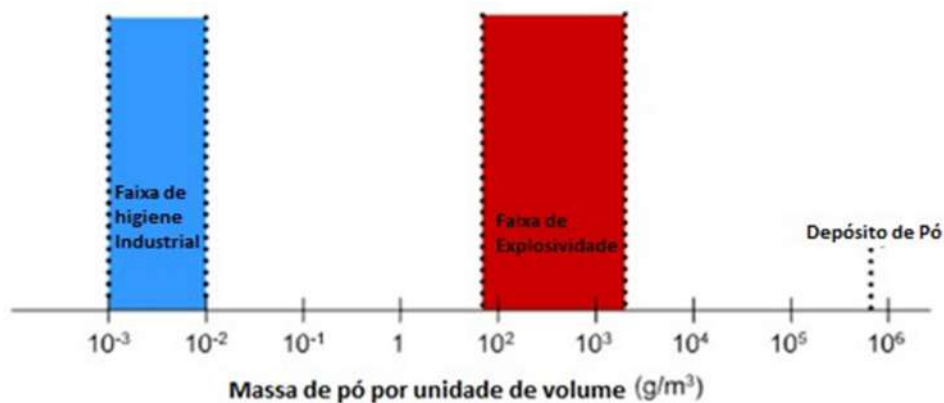


Figura 9: Variação de concentrações de nuvens de pó no ar à temperatura ambiente e pressão atmosférica de um típico pó orgânico natural (amido de milho). (Eckhoff, 2003)

É possível concluir a partir da Figura 9 que abaixo de certa concentração de combustível (LII), a mistura é demasiadamente pobre para queima. Por outro lado, acima de certa concentração de combustível (LSI), a mistura é demasiadamente rica para queimar. As concentrações entre esses limites constituem a faixa, ou região, de inflamabilidade. Um

aumento na quantidade de oxigênio disponível (atmosfera ricas em oxigênio) tende a aumentar o LSI. Observa-se ainda que um aumento da temperatura amplia a gama de inflamabilidade (LII se torna menor e LSI aumenta). (LEES, 1996).

2.8.4. Nível de Umidade

A umidade contida nas partículas de pó faz aumentar a temperatura de ignição devido ao calor absorvido durante o aquecimento e a vaporização da umidade. A umidade do ar tem pouco efeito sobre a deflagração, existe porém uma relação direta entre a umidade, a energia mínima necessária para a ignição e o limite mínimo de inflamabilidade. Por exemplo, a temperatura de ignição do amido de milho pode aumentar até 50°C com um aumento de umidade de 1,6 a 12,5%. Do ponto de vista prático a umidade não pode ser considerada como meio efetivo de prevenção contra explosões, pois a maior parte das fontes de ignição proporcionam energia suficiente para aquecer e evaporar a umidade que pode estar presente no pó. (SÁ, 1997)

2.8.5. Grupo de Poeira e Resistividade Elétrica

Pela norma ABNT NBR IEC 60079-10-2, as substâncias inflamáveis podem ser classificadas em três grupos:

- GRUPO I - Minas suscetíveis à exalação de grisú (Mineração Subterrânea).
- GRUPO II – Gases Combustíveis.
- GRUPO III – Poeiras Combustíveis. Este grupo pode ser subdividido conforme Tabela 4.

Grupo	Tipo de Material
IIIA	Aplicável a ambientes com fibras combustíveis
IIIB	Aplicável a ambientes com pós-combustíveis de característica não condutora de eletricidade
IIIC	Aplicável para os pós combustíveis condutores de eletricidade

Tabela 4: Subdivisão do Grupo III (ABNT NBR IEC 60079-10-2)

Podem ser citados como exemplo de poeiras inflamáveis classificadas no Grupo IIIA as fibras combustíveis tais como trigo, soja, cevada, cacau, milho, leite, algodão, linho, juta, serragem, grãos e materiais plásticos. (BULGARELLI , 2016)

O grupo IIIB trata de poeiras combustíveis não condutivas com resistividade acima de 10^3 ohm tais como produtos com base no carbono, como, por exemplo, poeiras de carvão vegetal, carvão mineral, coque de petróleo e negro de fumo. (BULGARELLI , 2016)

O Grupo IIIC trata de poeiras combustíveis condutivas com resistividade abaixo de 10^3 ohm tais como poeiras metálicas de alumínio, magnésio e suas ligas. Poeiras condutivas são poeiras que podem apresentar riscos de ocasionar curtos-circuitos, dependendo do nível de tensão presente nos equipamentos elétricos. (BULGARELLI , 2016)

2.8.6. Energia Mínima e Temperatura de Ignição de Nuvens de Poeira e Camadas de Poeira

A temperatura mínima necessária para iniciar o processo de ignição é conhecida como temperatura mínima de ignição (MIT – Minimum ignition temperature) (HASSAN, et al., 2014).

Segundo ABBASI e ABBASI (2007), a MIT aumenta com a presença de umidade, como já descrito no item 2.8.4, ou outros inertes na nuvem de pó, mas diminui com a diminuição do tamanho da partícula e o aumento

do conteúdo de matéria volátil no pó, concentração de oxigênio, e espessura da camada de pó. A medição da MIT é essencial para eliminação das fontes de ignição.

A medição da MIT é normalmente realizada por meio de ensaios de forno, tal como o descrito na norma ASTM E1491-06 (2012). Nestes ensaios, o pó é disperso em um forno aquecido a uma temperatura pré-determinada. A nuvem de pó é exposta às paredes aquecidas do forno por vários segundos. Uma chama visível saindo do forno fornece a evidência da ignição. A concentração de pó e a temperatura são sistematicamente variadas para se encontrar a menor temperatura na qual a autoignição ocorre para a concentração de pó mais facilmente inflamável. (BENEDETTO, SARLI e RUSSO, 2010).

Exemplo de temperaturas mínimas de ignição para pós comuns no ar com umidade relativa de 30-90% estão apresentadas na Tabela 5.

Poeiras combustíveis	Temperatura Mínima de Ignição (°C)
Farinha de Trigo	410 - 430
Amido de Milho	410 - 450
Pó de Centeio	430 - 500

Tabela 5: Temperaturas Mínima de Ignição (BENEDETTO, SARLI e RUSSO, 2010)

A maioria dos pós de grãos e de farinha, quando soprados contra superfícies quentes com temperaturas em torno 400-500°C, podem ser inflamados. Mesmo em temperaturas em torno de 200°C, pós podem ser inflamados se estiverem em condições favoráveis (baixa umidade relativa, pequeno tamanho de partícula, alta turbulência) formando brasas. Estas brasas podem causar explosões (ABBASI e ABBASI, 2007).

Além desta análise de propriedades de poeira citados na norma ABNT NBR IEC 60079-10-2, também é importante ressaltar quais são os equipamentos em que acidentes com pó ocorrem com maior frequência.

2.9. Equipamentos Onde Os Acidentes Ocorrem

As explosões de poeira geralmente ocorrem em pontos de transferência, como elevadores de balde ou transportadores fechados (OSHA, 1997).

Nestes equipamentos as pequenas partículas de poeira se desprendem dos grãos devido aos impactos de queda e agitação. Este movimento de pó turbulento causa altos níveis de partículas de poeira suspensas (de 2 a 20 microns de diâmetro) no ambiente (OSHA, 1997).

Como pode ser observado na Figura 10, os principais equipamentos envolvidos nos acidentes foram em equipamentos de transferência, seguidos por usinas, moinhos e filtros.

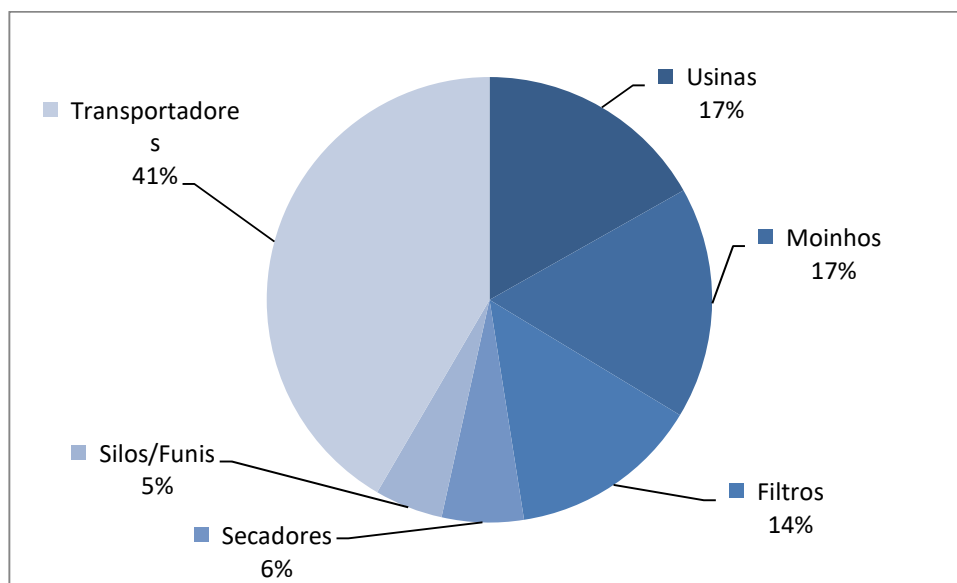


Figura 10: Equipamentos Envolvidos em Explosões com Pó (Vijayaraghavan, 2004)

No Brasil, destaca-se o acidente já citado da célula C-2 do silo vertical do Porto de Paranaguá, onde a causa da explosão teria sido a combustão da poeira de cevada armazenada no local. (RANGEL, 2003)

No acidente da Imperial Sugar, que será melhor descrito no capítulo 4, a explosão começou em um transportador de açúcar nos silos da empresa. A explosão primária levantou a camada de poeira de açúcar que havia acumulado nos pisos e superfícies horizontais elevadas, propagando mais

poeira e explosões através dos edifícios. As explosões secundárias ocorreram ao longo dos edifícios de embalagem e edifícios de carregamento de açúcar. As ondas de pressão das explosões geraram desprendimento de pisos de concreto e paredes de tijolo desabaram, bloqueando a escada e outras rotas de saída de emergência, aumentando a tragédia (DEI, 2012).

Como também será melhor descrito no capítulo 4, este acidente poderia ter sido evitado caso houvessem sistemas preventivos e mitigadores.

3. Sistemas Preventivos e Mitigadores

Para reduzir as chances de uma explosão de poeira ocorrer devem ser criadas salvaguardas, tais como limpeza, controle de poeira e eliminação de poeira fugitiva (vazamento de poeira de outras fontes). O foco é manter o ambiente limpo.

A prevenção resulta na implementação de controles operacionais e outras ações para minimizar a probabilidade de ocorrência das causas potenciais de acidentes identificadas nos estudos de riscos que devem ser feitos para a operação da planta. (MORAES, 2010)

Todas as plantas que operam com poeiras explosivas e as que possam gerar riscos de explosão devem adotar em seus procedimentos de manutenção preventivos. Isto deve ser feito para evitar paradas desnecessárias, que implicam em perdas da produção e também por que em paradas programadas todas as peças e equipamentos cuja vida útil recomendada pelos fabricantes esteja expirada são substituídas, mesmo que ainda estejam aparentemente bem, a regra é trocar. (SÁ, 1997)

Já os sistemas mitigadores visam minimizar as consequências uma vez que o acidente já ocorreu. A seguir serão exemplificados e descritos os sistemas preventivos e mitigadores.

3.1. Sistemas Preventivos

3.1.1. Housekeeping pela norma ABNT NBR 16385

A ABNT NBR 16385 estabelece regras de fabricação, manuseio e armazenamento de pós combustíveis, que são produtos perigosos por terem alto índice de explosividade. A norma é voltada especificamente às indústrias e usinas que manuseiam ou estocam pós-orgânicos, metálicos (advindos de produtos como alumínio, ferro e bronze) e farmacêuticos.

Segundo a ABNT NBR 16385, a aspiração contínua para minimizar o escape de pó deve ser prevista para processos onde o pó combustível é liberado na operação normal. O pó aspirado deve ser conduzido para separadores de partículas-ar.

3.1.1.1. Frequência de Limpeza da Instalação

A Norma diz que quanto à frequência de limpeza, a norma diz que onde a instalação se destinar a ser operada com menos que o acúmulo de poeira definido pelo proprietário/operador, a frequência deve ser estabelecida para garantir que os níveis de pó acumulados em paredes, pisos e superfícies horizontais (equipamentos, dutos, tubulações, exaustores, lajes, vigas e tetos falsos) não excedam o limite de massa de pó/acúmulo.

E onde a instalação se destinar a ser operada com o nível de acúmulo de pó acima do valor definido pelo proprietário/operador, pode-se admitir um risco documentado, com avaliação aceitável pela autoridade competente para determinar o nível de limpeza condizente com as medidas de proteção previstas contra qualquer início de incêndio e/ou explosão de pó.

O acúmulo limite de pó que define a necessidade de classificação do equipamento elétrico está condicionado à probabilidade de acúmulo e à política de limpeza de área e equipamentos, como representado na Figura 11. As zonas de classificação 20, 21 e 22 serão descritas no capítulo 5.

Altura da camada de acúmulo de pó	Frequência	Requisito de limpeza	Classificação de área (elétrica)
Negligenciável	N/A	N/A	Não classificado
Negligenciável até < 1/32" (0,794 mm) ^a	Não frequente ^b	Limpar no mesmo turno de trabalho	Não classificado
Negligenciável até < 1/32" (0,794 mm)	Contínuo/frequente ^c	Limpar para manter a altura do acúmulo inferior a 1/64" (0,397 mm) ^d	Não classificado, porém os invólucros elétricos devem ser à prova de penetração de pó ^{e, f}
1/32" até 1/8" (3,175 mm)	Não frequente ^c	Limpar no mesmo turno de trabalho	Não classificado, porém os invólucros elétricos devem ser à prova de penetração de pó ^{f, g}
1/32" até 1/8" (3,175 mm)	Contínuo/ frequente ^d	Limpar para manter a altura do acúmulo inferior a 1/16" (1,588 mm)	Zona 21
> 1/8" (3,175 mm)	Não frequente ^c	Encerrar operação e limpar imediatamente	Zona 22
> 1/8" (3,175 mm)	Contínuo/ frequente ^d	Limpar com frequência apropriada para minimizar o acúmulo	Zona 20
^a A cor da superfície do equipamento deve ser visível. ^b 1/32" (0,794 mm) é similar à espessura de um clipe para papel. ^c Vazamento de pó: formação de camada com ocorrência inferior a 2 ou 3 vezes ao ano. ^d Vazamento de pó: formação de camada com ocorrência superior a 3 vezes por ano, resultando em acúmulo no período de 24 h. ^e Altura de camada de pó de 1/64" (0,397 mm), de pó com baixa densidade, é suficiente para formar nuvem a cada pisada com calçado. ^f Equipamento que não produz calor, como: caixa de passagem que, pode ser selada à penetração de pó com silicone. Este conceito pode ser considerado em áreas onde a fuga de pós é de baixo fluxo e tende a se acumular após longos períodos de tempo. ^g Guia a ser aplicado em instalações existentes. Para novas instalações a classificação de área deve ser no mínimo ABNT zona 22 (Classe II, divisão 2 - NEC 500).			

Figura 11: Classificação de área para camadas de pós ou poeiras (ABNT NBR 16385)

Além das camadas de pó, a limpeza de pós fugitivos é importante onde a intenção operacional é manter ambientes limpos de acúmulos de pó em edificações que não tenham a proteção contra deflagração, como construção resistente a pressão de explosão e/ou equipamento elétrico classificado conforme classificação de área e proteção pessoal adicional. Os fatores que devem ser considerados para a frequência de limpeza incluem:

- Variedade de emissões de pós fugitivos;
- Impacto de mudanças de processo ou de atividades não rotineiras;

- Variedade de acúmulo em diferentes dentro de uma sala (paredes, pisos e topo de equipamentos/tubulações).

A limpeza não programada deve ser efetuada de acordo com a Tabela 6 para limitar o tempo de vazamento ou acúmulo de pó de curta duração possível antes de efetuar a limpeza do bocal, de modo que este acúmulo seja inferior ao acúmulo/massa-limite de pó.

Quantidade indesejável de acúmulo de pó por m ² de superfície	Maior intervalo de tempo para limpeza não programada em superfícies acessíveis (h)	Maior intervalo de tempo para limpeza não programada em superfícies de difícil acesso ou remotas
> 1 a 2 vezes a massa-limite de pó/acúmulo	8	24
> 1 a 4 vezes a massa-limite de pó/acúmulo	4	12
> 4 vezes a massa-limite de pó/acúmulo	1	3

Tabela 6: Intervalo de tempo para limpeza não programada (ABNT NBR 16385)

Em relação aos dados acima a norma também estabelece métodos de limpeza a serem seguidos.

3.1.1.2. Métodos de Limpeza

A aspiração (vácuo) deve ser o método prioritário de limpeza. Onde o aspirador for impraticável, os métodos de limpeza permitidos devem incluir varrição com água borrifada (wash-down). Sopro, usando ar comprimido ou vapor, pode ser usado para a limpeza de superfícies de difícil acesso ou superfícies inacessíveis, onde outros métodos de limpeza resultam em maior risco de segurança pessoal.

Onde forem utilizados sopros com ar comprimido, as seguintes precauções devem ser seguidas:

- Para ter acesso com segurança, devem ser utilizados métodos de limpeza, varredura ou lavagem com água nas superfícies antes de sua utilização;

- O acúmulo de pó na área após aspirar e varrer, ou a lavagem com água não pode exceder o seu limite;
- Mangueiras de ar comprimido devem estar equipadas com bocais de alívio de pressão que limitem o manômetro de descarga a 207kPa, em conformidade com os requisitos da norma NBR 16385 para o uso de equipamentos manuais e ferramentas elétricas portáteis e equipamentos em geral.

Dentro das áreas classificadas não pode ser utilizado o sistema de ar comprimido, pois pode gerar nuvem de pó, resultando em potencial explosão no local.

3.1.2. Programa de Prevenção a Incêndio

O primeiro e mais importante passo na prevenção de incêndios é o estabelecimento de um programa para evitar que os incêndios sejam iniciados.

Isto é particularmente importante nas indústrias de alimentos e grãos devido ao potencial de explosões e ao histórico desta indústria com incêndios. Um programa abrangente de prevenção de incêndio não só aborda questões de limpeza, mas também todas as atividades de trabalho nas quais as condições para iniciar um incêndio estão presentes, como trabalho a quente, maquinaria elétrica, correias e secadores de grãos (OSHA, 1997).

A equipe envolvida com um determinado projeto ou responsável pela operação de uma determinada planta, precisa antes de tudo, definir qual será a filosofia de proteção a ser adotada, ou seja, se o sistema de proteção atuará antes, durante ou após a explosão. Com base nesta divisão podemos considerar e avaliar medidas que evitem explosões; medidas que funcionem simultaneamente ao curso da explosão, o qual se resume a alguns mili-segundos; e medidas que tenham efeito a partir

do momento em que o evento está próximo do seu final, objetivando reduzir consequências posteriores. (PASCON, 2011)

A decisão pelo sistema de proteção mais apropriado, e qual será sua base de projeto, deverá estar baseada em critérios lógicos e admissíveis, de acordo com as possibilidades, mas sobretudo considerando as possíveis consequências da explosão. Estão inclusos no Programa de Prevenção a Incêndio os itens a seguir.

3.1.3. Controle de Atmosfera

Esta técnica implica no controle da presença, quantidade ou concentração de qualquer um dos componentes da mistura, ou na adição de outros componentes. (PASCON, 2011)

O primeiro passo para este controle é através de uma concepção adequada da instalação e da implementação de procedimentos para operação e manutenção. Com isso, estaremos mantendo o produto em sua contenção primária, e não no ambiente externo, onde o seu comportamento pode se tornar bastante incerto. Embora a contenção de líquidos, gases e vapores seja de amplo domínio; a prática tem revelado, até o presente, que nas operações onde se demandam estocagem e processamento de pós a formação de dispersões no ar ou camadas sobre equipamentos ainda é bastante frequente. (PASCON, 2011)

Para os sistemas fechados, a prevenção de explosão pode ser alcançada reduzindo-se a concentração de oxigênio até um nível que não suportará a reação de combustão; o que é conhecido por inertização.

Ao selecionar o gás inerte mais adequado, deve-se cuidar para que este não sofra reação com o pó, como é o caso de certas poeiras metálicas

que reagem com o CO_2 ou com o N_2 - neste caso deve usar-se o Hélio ou Argônio. (SÁ, 1997)

Para que a inertização possa ser considerada como base para segurança, devemos analisar: os custos do gás inerte, níveis típicos de vazamento do gás, perigo de asfixia e a confiabilidade do sistema de monitoramento. (PASCON, 2011)

Com quantidades adequadas de ar, pode ser possível garantir que as concentrações de pó em alguns pontos da instalação permaneçam sempre abaixo da concentração mínima explosível (MEC). E ocasionalmente é possível usar um pó inerte com o pó principal objetivando obter uma mistura não explosiva. Para adotar esta técnica, a concentração mínima de pó diluente deve ser pesquisado em testes de laboratório. (PASCON, 2011)

Além da inertização por gás, pode ser feita também a adição de um sólido inerte no pó, que reduza a combustividade do mesmo, já que este absorve calor. A adição de corpos inertes reduz o K_{ST} e aumenta a concentração mínima de pó necessária para a explosão. Um exemplo é a pulverização de rocha nas minas de carvão para impedir as explosões dos pós combustíveis. Geralmente a pulverização se faz na entrada das minas com uma concentração de poeira de rocha de 65% da quantidade total do pó. (SÁ, 1997)

Controle de atmosfera envolve, por exemplo:

- Substituição do pó combustível;
- Redução da quantidade de pó combustível;
- Diminuição da temperatura do processo;
- Impedimento ou minimização de liberações;
- Inertização.

O controle da atmosfera resulta numa redução das áreas classificadas e traz como consequência otimização de investimentos em instalações elétricas, otimização da manutenção, otimização dos valores de seguro e

melhora nas condições de saúde do trabalhador e meio ambiente. (PASCON, 2011)

3.1.4. Controle de Ignição

Uma vez que os princípios de controle de atmosfera tenham sido aplicados, as áreas classificadas remanescentes devem ser tratadas com métodos de controle que impeçam que equipamentos ou serviços nestas área possam gerar fontes de ignição. De acordo com PASCON (2011), as medidas de energia mínima de ignição e temperatura mínima de ignição são parâmetros que devem ser conhecidos para que a exclusão seja feita de forma criteriosa até onde seja possível.

Nesse contexto surge o conceito de segurança intrínseca. Em relação aos equipamento, a essência de um projeto é evitar ou remover, ao invés de adicionar equipamentos, itens ou instalações de proteção. Quanto menos a segurança for dependente de equipamentos, sistemas e procedimentos, mas intrinsecamente segura é a planta ou o processo (PASCON, 2011).

Um circuito elétrico intrinsecamente seguro, é definido pela CENELEC - Comité Europeu de Normalização Electrotécnica, como: “Um circuito no qual nenhuma centelha e nenhum efeito térmico produzido nas condições de teste prescritas neste padrão (o qual inclui operação normal e as condições de falha especificadas) é capaz de causar ignição de uma determinada atmosfera explosiva”. A segurança está garantida mesmo na presença de falhas (PASCON, 2011).

Ainda segundo Pascon, a segurança intrínseca está baseada em 5 princípios:

- Substituição- substituir materiais perigosos por menos perigosos). Exemplo: mudar o meio de resfriamento no processo de óxido de etileno de óleo térmico para água pressurizada.

- Intensificação- reduzir os inventários de produtos perigosos. Exemplo: passar a operar com quilogramas ao invés de toneladas num processo como o de fabricação de nitroglicerina.
- Atenuação- usar processos ou materiais perigosos em condições menos severas, de forma a limitar seu perigo potencial. Exemplo: dissolver num solvente, estocar amônia em tanques refrigerados onde a pressão é mais baixa, usar traço de vapor para limitar temperatura.
- Isolamento- separar os produtos químicos das pessoas. Exemplo: reduzir as tensões de projeto em tubulações de gás para aumentar a integridade de contenção, montar plantas em locais afastados de vias públicas.
- Simplificação- fazer a planta e o processo mais simples de projetar, construir operar, e consequentemente menos factíveis de falhas humanas, de controle ou de equipamentos. Exemplo: injetor com falha segura para mistura de ácido nítrico e glicerina.

Assim, é normal em plantas industriais o uso de barreiras de segurança intrínseca, que são colocadas nas áreas classificadas. O acionamento dos equipamentos elétricos é, então, intrinsicamente seguro, ou seja, não tem energia suficiente para causar a ignição. Também existem outros exemplos de métodos de evitar a ignição de uma atmosfera explosiva segundo PASCON (2011):

- Equipamento elétrico apropriado (fixo ou portátil);
- Aterramento e equipotencialização evitando eletricidade estática;
- Permissões de serviço à quente;
- Acesso restrito a pessoal treinado;
- Sinalização em campo.

3.2. Sistemas Mitigadores

Uma vez que os sistemas preventivos podem não ser suficientes para evitar um acidente, podem ser previstas algumas práticas que minimizem as perdas, dentre elas PASCON (2011) subdivide estes sistemas em sistemas que reduzem os efeitos da explosão durante o seu curso e sistemas que minimizam as consequências da explosão.

3.2.1. Sistemas que Reduzem os Efeitos da Explosão Durante o seu Curso

3.2.1.1. Contenção

Esta técnica de proteção consiste em projetar o vaso, equipamento de processos, invólucro ou prédio para suportar a pressão de uma explosão confinada. Plantas resistentes a explosões podem suportar a pressão de uma explosão confinada várias vezes sem deformação permanente. (PASCON, 2011)

Por outro lado, uma planta também pode ser projetada para resistir a “golpes” de pressão resultante de explosões. Neste caso, podem suportar a pressão de uma explosão confinada sem ruptura, mas com alguma deformação permanente. (PASCON, 2011)

Contenção é uma medida bastante frequente em equipamentos que operam em pressões negativas, como os secadores à vácuo. Em plantas onde produtos muito tóxicos são processados, como pesticidas e outros ingredientes ativos e uma eventual emissão para a atmosfera teria consequências inaceitáveis, a contenção acaba sendo uma das únicas alternativas viáveis de proteção apesar dos altos custos envolvidos. (PASCON, 2011)

Em equipamentos isolados, dependendo das condições de processo, as pressões máximas geradas numa explosão se situam na faixa de 7 - 10 vezes a pressão de operação. (PASCON, 2011)

Nesta categoria de proteção estão incluídos os equipamentos elétricos a prova de explosão, os quais são projetados para resistir a uma explosão interna sem sofrer danos. (PASCON, 2011)

3.2.1.2. Alívio ou “Venting”

Consiste em interromper o curso de elevação de pressão durante a explosão, escoando os gases de combustão já formados e a parcela da mistura inflamável ainda não queimada, mas que está sendo comprimida, para o exterior do equipamento onde ocorreu a explosão através de uma abertura suficientemente grande (PASCON, 2011).

A Figura 12 apresenta uma curva de elevação de pressão durante uma explosão confinada e uma explosão com alívio. Nota-se que a pressão que a explosão aliviada atinge, em geral, menos da metade da pressão de uma explosão confinada. A Figura 13 apresenta o sistema de alívio em atuação.

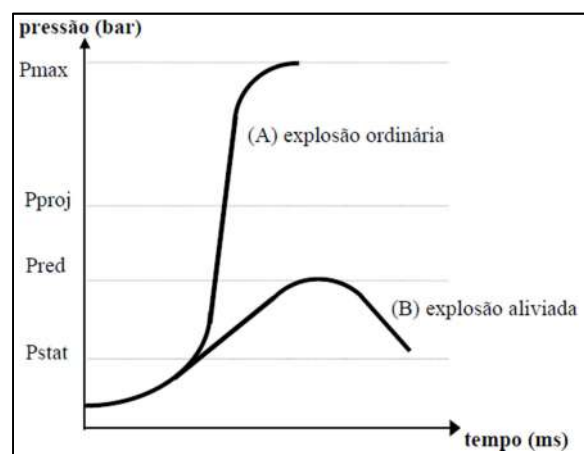


Figura 12: Curva de elevação da pressão durante uma explosão (PASCON, 2011)

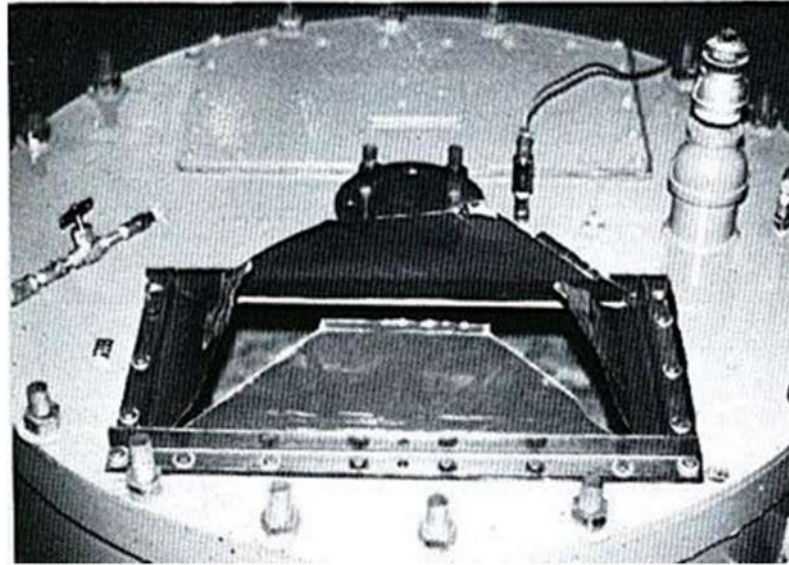


Figura 13: Atuação de um painel de alívio em atuação (PASCON, 2011)

3.2.1.3. Supressão

Uma explosão não ocorre instantaneamente, seu curso demora um intervalo de 30 a 100 ms. A supressão consiste em detectar a explosão imediatamente após sua ignição e descarregar um material extintor na bola de fogo em expansão para resfriar a chama antes que pressões destrutivas se desenvolvam. (PASCON, 2011). A Figura 14 apresenta um esquemático do sistema de supressão.

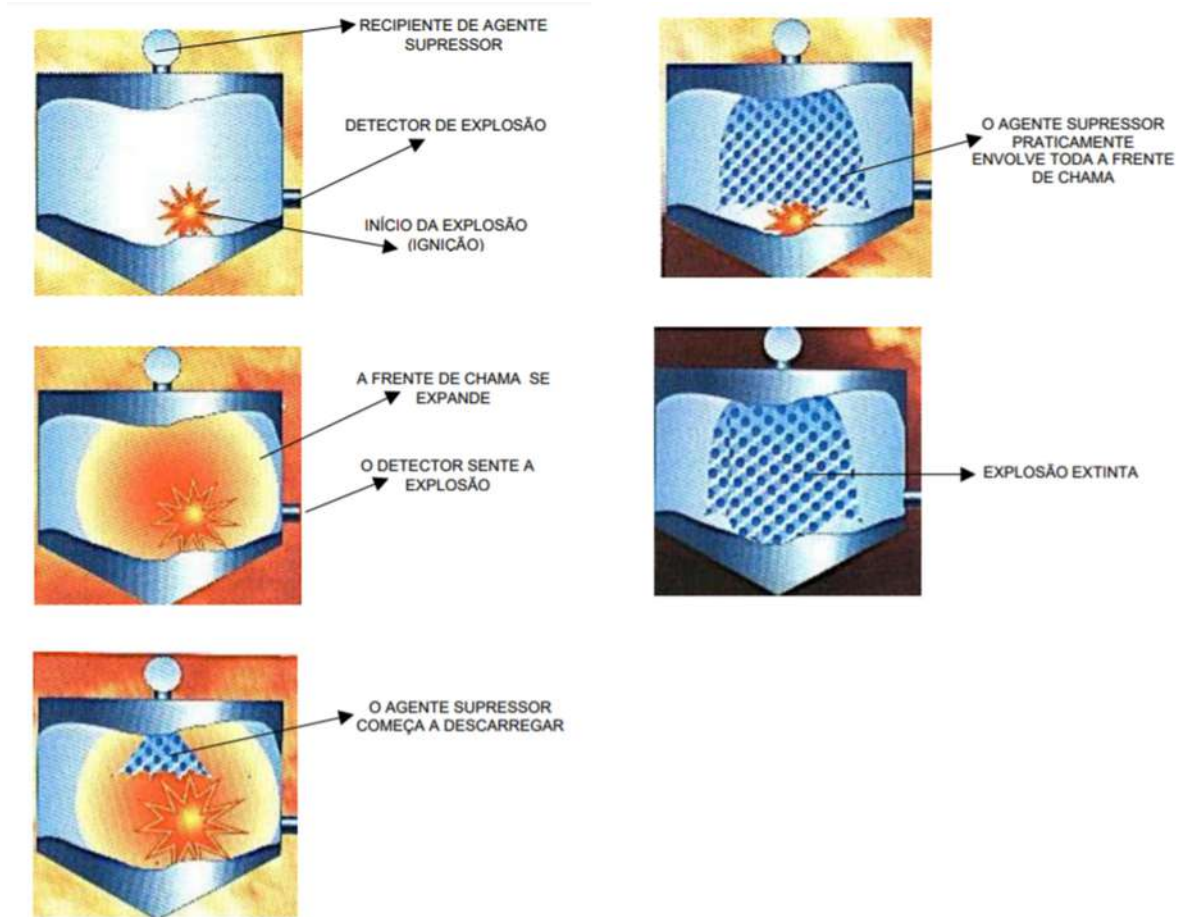


Figura 14: Esquema de um sistema de supressão (PASCON, 2011)

3.2.1.4. Isolamento por Intertravamento

Quando possível, as explosões devem ficar isoladas das demais partes das instalações. Assim sendo, não haverá propagação para as outras partes das instalações. O isolamento deve ser analisado sempre que estiverem sendo considerados os demais sistemas de proteção, caso contrário as instalações adjacentes não estarão protegidas. É prática em plantas industriais adotar intertravamentos de forma que se um invólucro sofrer uma explosão e romper, todos os equipamentos conectados são desligados (PASCON, 2011).

3.2.2. Sistemas que minimizam consequências de uma explosão

3.2.2.1. Layout

De acordo PASCON (2011), o layout de uma planta deve ser projetado de modo a evitar um “efeito dominó” iniciado por uma explosão e que pode destruir as plantas industriais nos arredores. O projeto visa basicamente três objetivos:

- Garantir que uma planta não cause perigo a outra planta, equipamentos e pessoas como decorrência de um posicionamento muito próximo;
- As plantas individuais devem estar distanciadas umas das outras de modo a evitar o “efeito dominó”. Devem ser considerados: explosão interna, fogo, emissão de material inflamável ou material tóxico;
- Propiciar acesso adequado a todos os locais, de forma que operações de resgate e combate à incêndio não tenham nenhum tipo de restrição.

Além disso, para o controle de danos de uma explosão recomenda-se reduzir ao máximo o número de pessoas expostas a uma possível explosão e fornecimento de equipamento de proteção individual adequado para resgate e salvamento (PASCON, 2011).

3.2.2.2. Sistema de Combate a Incêndio

Mesmo tomadas todas as medidas para prevenção, proteção, controle e supressão de explosões, deve-se projetar também um sistema de combate a incêndio, já que em muitos casos, uma das consequências de uma explosão é o fogo (PASCON, 2011).

De acordo com BRENTANO (2007), para se ter uma planta segura, além de um sistema de proteção bem projetado e executado, é necessário que

o mesmo passe por inspeções, testes e manutenção constante. É preciso, também, que os usuários saibam como se comportar na ocasião de um incêndio e a edificação deve ter pessoas treinadas para operar o sistema de forma eficiente no combate ao fogo e comandar a saída com segurança da edificação, isto é, ter uma brigada de incêndio.

Na tentativa de que essas perdas sejam reduzidas, foram desenvolvidos dispositivos de combate a incêndio que auxiliam nos momentos iniciais de propagação do fogo, são eles: extintores de incêndio, hidrantes, chuveiros automáticos, entre outros. A fim de que esses equipamentos sejam utilizados de forma eficiente, faz-se necessário conhecer suas particularidades: efeitos, composição, indicação e modo de uso.

O conjunto de prevenções descritas neste capítulo poderiam ter evitado o acidente na Imperial Sugar que ocorreu em 2008. A análise deste acidente será feita a seguir.

4. Análise do Acidente na Imperial Sugar

O acidente, que envolveu uma explosão seguida de incêndio, ocorreu na Imperial Sugar, usina de açúcar em Port Wentworth, Georgia (EUA) em 2008. Este evento causou a morte de 14 pessoas e feriu outras 38, incluindo 14 com queimaduras gravíssimas. O acidente nesta usina de açúcar poderia ter sido evitado com o gerenciamento de risco correto, segundo Relatório de Investigação do acidente feito pelo Conselho de Segurança Química dos EUA (CSB) em 2009.

Segundo o Relatório de Investigação do acidente feito pela CSB (2009), às 19:15 horas do dia 7 de fevereiro de 2008, uma explosão de pó de açúcar ocorreu dentro da cuba de inox que envolvia uma correia transportadora. Nesse relatório sobre o desastre de Port Wentworth, concluiu-se que uma correia transportadora, que corria por baixo dos silos de açúcar e atravessava grande parte das instalações, foi a causa imediata da explosão. A correia tinha sido recentemente revestida por um envoltório de aço inoxidável para reduzir a contaminação potencial do açúcar por impurezas. Porém, a instalação do envoltório, promoveu a presença de concentrações explosivas de pó de açúcar combustível no interior do espaço confinado.

De acordo também com o relatório do CSB, a negligência aos riscos operacionais de uma planta que contenha poeira, mais que qualquer outra coisa, esteve na origem do acidente. Classificada no momento do acidente como a segunda planta de refino e empacotamento nos Estados Unidos, a instalação de Port Wenworth foi construída em 1917 e foi comprada pela Imperial Sugar em 1997. Ao longo dos anos ocorreram incêndios nas instalações, mas eram relativamente pequenos e não houve mudança de postura interna em relação aos risco de operação da planta. Os diretores na Port Wenworth já estavam acostumados com os resíduos de açúcar granulado e, de acordo com o relatório do CSB, poderiam ter sido levados a um falso sentimento de segurança pelo fato que nunca tinha acontecido nada muito grave.

Mesmo com relatórios de explosões recentes de pó nos Estados Unidos, incluindo uma grande explosão seguida de incêndio em novembro de 2007, nas instalações da Domino Sugar, em Baltimore, que feriu vários trabalhadores e causou danos significativos, não houve mudança de cultura quanto à segurança da instalação e dos operadores na fábrica da Imperial Sugar. O relatório evidencia que a empresa sabia que o pó de açúcar poderia ser perigoso, mas infelizmente seus anos de experiência e o fato que anteriormente eles tinham tido apenas pequenos incêndios, fizeram acreditar que não havia um risco real de explosão.

Independentemente da causa, a explosão resultante foi de grandes proporções; câmaras de segurança posicionadas a mais de três quilômetros de distância capturaram uma enorme bola de fogo subindo no céu noturno. O choque da explosão soltou e levantou mais pó de açúcar acumulado, afetando áreas vizinhas, causando quase instantaneamente uma série de incêndios e explosões secundárias, suficientemente poderosas para rachar pisos de concreto e derrubar muros de tijolos. As explosões e os incêndios danificaram ou destruíram os edifícios de empacotamento, os silos, o edifício de colocação em paletes, a área da refinaria e a área de carregamento do açúcar a granel. Os efeitos visíveis da destruição do acidente estão representados nas Figura 15, Figura 16 e Figura 17.

Como descrito, de acordo com a investigação a explosão ocorreu devido ao acúmulo de poeira de açúcar em uma correia transportadora, onde recentemente havia sido instalado um revestimento com chapas de inox. Esse acúmulo foi causado por projeto inadequado da instalação do equipamento, falta de manutenção para conter vazamentos de particulado de açúcar e inexistência de limpeza no ambiente fabril. Com o revestimento da correia a situação se agravou, já que o pó não se dissipava para o ambiente, alcançando altas concentrações dentro do equipamento.



Figura 15: Foto da entrada da fábrica da Imperial Sugar após o acidente (CSB, 2009)

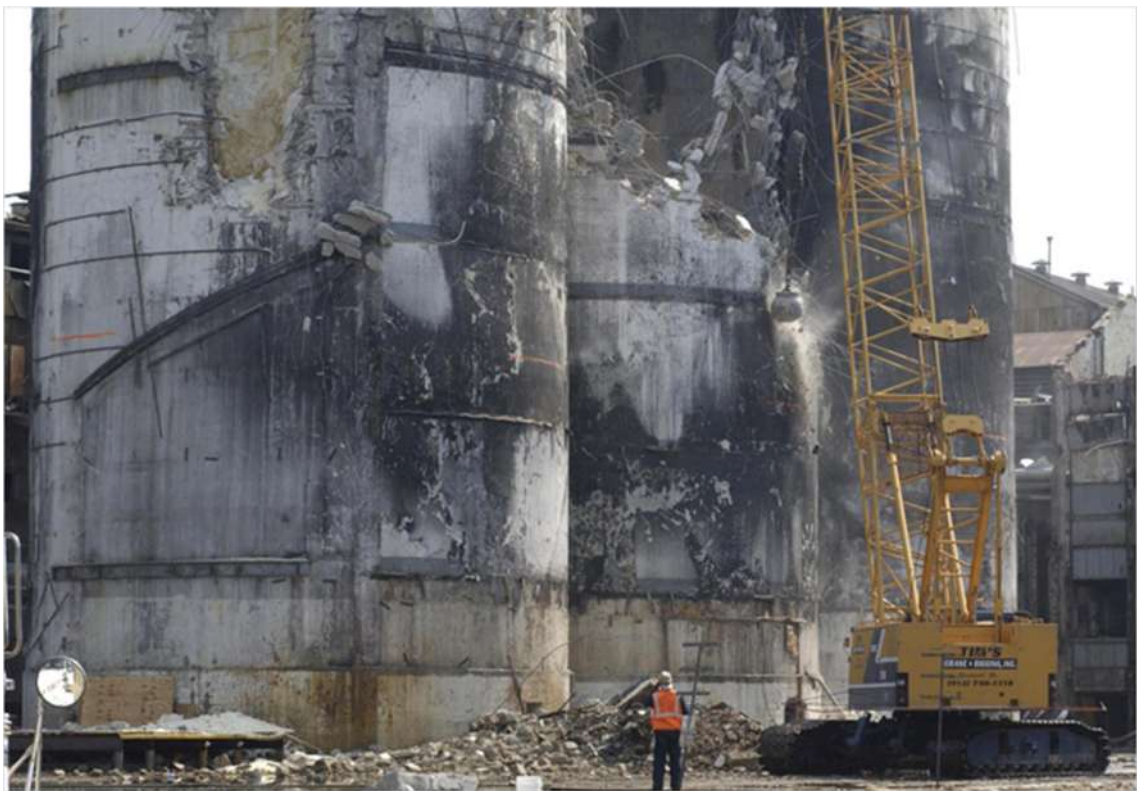


Figura 16: Foto da fábrica da Imperial Sugar após o acidente (CSB, 2009)



Figura 17: Foto aérea da fábrica da Imperial Sugar após o acidente (CSB, 2009)

O acidente foi na área de embalagem do açúcar. O produto que vinha de três silos, e era transportado via elevador tipo cubeta, roscas transportadoras e correia transportadora. Este processo mantinha muita poeira em suspensão neste ambiente, porém não era só neste ambiente que a poeira se encontrava suspensa ou em camadas. Foi avaliado ainda que a limpeza de toda a planta era feita através de jato de ar comprimido, o que aumentava ainda mais a concentração da poeira em suspensão. (CSB, 2009)

A partir da Figura 18 é possível ver o acúmulo de açúcar em diversas partes da fábrica da Imperial Sugar.



Figura 18: Camadas de açúcar acumuladas em pisos e equipamentos da Imperial Sugar. (CSB, 2009)

Além do Relatório de Investigação, o CSB divulgou também um vídeo de segurança de nove minutos sobre a explosão de pó combustível na refinaria. Intitulado “Inferno: Explosão de Pó no Imperial Sugar”, o vídeo inclui uma animação em 3D mostrando a primeira explosão - conhecida como “evento primário” - que provavelmente ocorreu dentro de um transportador de açúcar recentemente fechado, que foi seguido por explosões massivas de pó secundário que destruíram os edifícios de embalagem de açúcar da fábrica. As figuras descritas a seguir foram retiradas deste vídeo.

Na Figura 19 é possível ver como era o setor de embalagem, onde o acidente ocorreu, observa-se a presença de açúcar derramado no piso. Já na Figura 20 tem-se o detalhe da esteira transportadora, onde havia grande acúmulo de pó em suspensão. Seguro o relatório da CSB, com frequência havia obstrução do fluxo de açúcar, o que aumentava ainda mais a concentração de pó no ambiente e causava grande derramamento de açúcar no chão da fábrica (Figura 21). Na Figura 22 é possível se ter noção de outras áreas da planta, como as bombas de transferência de açúcar, que também acumulavam grandes quantidades de pó em suspensão e em camadas.

Segundo CSB (2009), com o objetivo de diminuir a contaminação de açúcar por impurezas, a esteira transportadora foi envolvida com chapas de inox, conforme Figura 23, o que criou um espaço, sem ventilação. Desta forma a concentração de poeira de açúcar aumenta no interior do equipamento, até alcançar o nível explosivo, conforme Figura 24.

A fonte de ignição foi provavelmente um mancal de rolamento da esteira, que estava superaquecido e envolto por açúcar. Pelo vídeo divulgado pela CSB (2009), o momento da explosão foi como representado na Figura 25.



Figura 19: Setor de Embalagem de açúcar (CSB, 2009)



Figura 20: Esteira Transportadora com acúmulo de pó em suspensão (CSB, 2009)

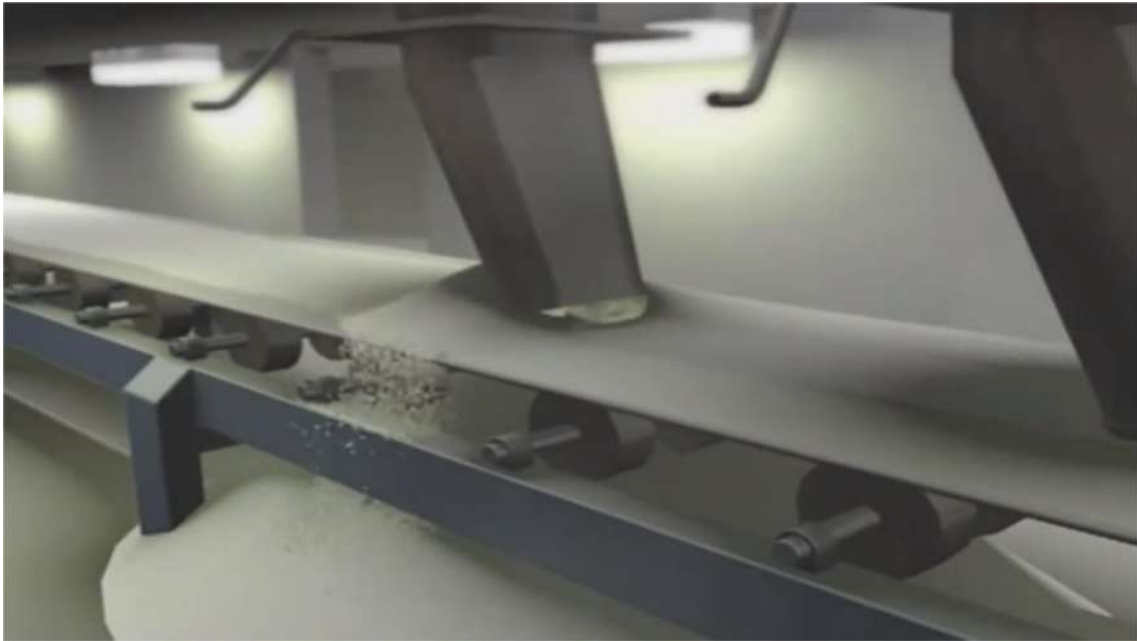


Figura 21: Obstrução de pó na saída de um dos depositores de pó na esteira (CSB, 2009)



Figura 22: Demais áreas da fábrica, com também acúmulo de pó em suspensão (CSB, 2009)



Figura 23: Adição de chapas de inox envolvendo a esteira (CSB, 2009)

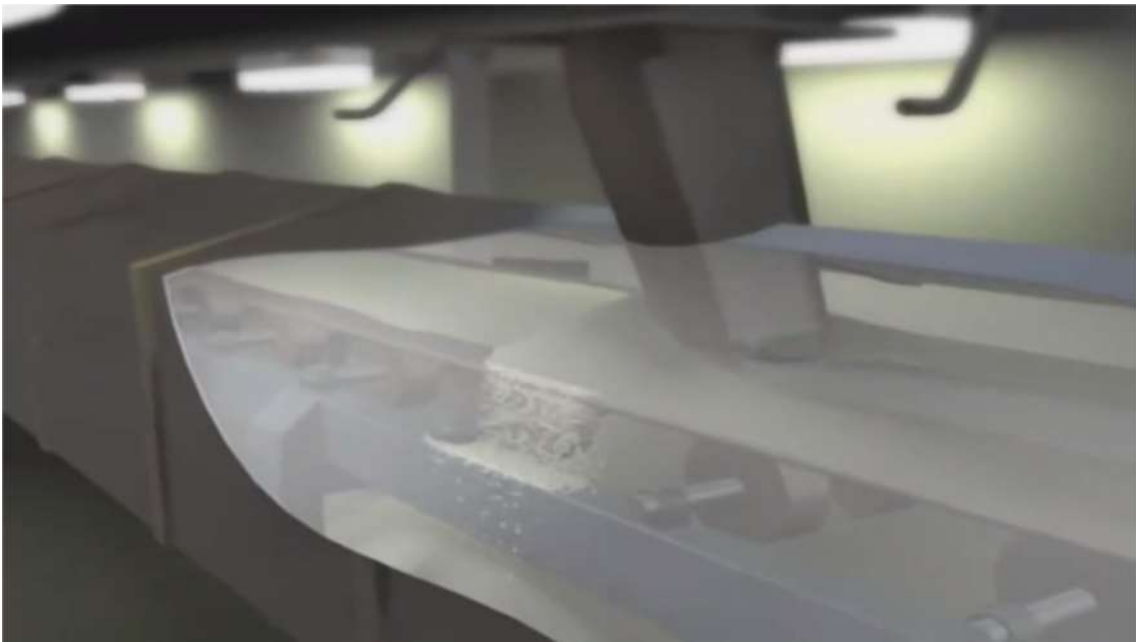


Figura 24: Obstrução da esteira com a chapa de inox envolvendo a esteira (CSB, 2009)



Figura 25: Momento da explosão (CSB, 2009)

O relatório da CSB indica que a empresa não havia realizado exercícios de evacuação para os seus funcionários. Juntamente com a falta sinalização e de iluminação de emergência, estes fatores tornaram difícil para os trabalhadores escaparem por vias confiáveis (seguras). Além disto, a explosão também danificou escadas e rotas de fuga, obstruindo o caminho.

4.1. Lições Aprendidas

Lições aprendidas do acidente (CSB, 2009):

- Desenvolver projetos de equipamentos levando em conta as concentrações explosivas do açúcar em suspensão e depositado, prevendo também sistemas de retirada da poeira e/ou de eliminação de vazamentos constantes;
- Detectar vazamentos do produto através de setor de inspeção equipamentos;
- Fazer programa de manutenção constante para eliminação desses vazamentos;

- Implementar treinamento operacional atentando sobre o perigo de explosão do açúcar em altas concentrações dando ênfase ao controle de poeira e limpeza dos equipamentos;
- Desenvolver programa de limpeza externa dos equipamentos e de todas as superfícies horizontais do ambiente fabril;
- Criar procedimentos de Segurança do Trabalho incluído ações durante evacuação de emergência e combate ao fogo, entre outros.

4.2. Gerenciamento de Mudanças

Foi possível observar que neste acidente da Imperial Sugar houve falha no Gerenciamento de Mudanças da planta, uma vez que houve a adição de chapa de inox no entorno da correia transportadora sem a correta avaliação de risco.

Conhecido em inglês como Management of Change (MOC), é definido como sendo um conjunto de políticas e procedimentos para assegurar que a mudança em equipamentos, processos ou instalações não resultem em operações fora de parâmetros de segurança estabelecidos. (SHINKLE, 2001)

O propósito do Gerenciamento de Mudança (MOC) é estabelecer um mecanismo formal escrito de modo a garantir que as mudanças não reduzam a segurança que foi especificamente planejada para a operação original do processo.

É importante ressaltar que a gestão de mudanças nunca termina, ou seja, ela é inevitável numa indústria e nunca se completa. Ela deve ser executada e acompanhada continuamente através de todo o ciclo de vida das instalações. Todas as organizações devem ter seu processo de gestão de mudança bem definido. (SHINKLE, 2001)

Corroborando com as causas descritas do acidente da Imperial Sugar, SHINKLE (2011) afirma que cerca de 80% dos maiores acidentes de processos na indústria química teve seu rastro em algum tipo de mudança.

A norma ABNT NRB 16385 diz que o MOC deve ser um projeto baseado em desempenho e documentações, e que se o projeto for modificado, este deve ser atualizado e submetido à nova aprovação por organização ou profissional competente.

Ainda segundo a ABNT NRB 16385, os procedimentos de gerenciamento de modificações devem garantir que os seguintes tópicos sejam atendidos antes de efetuar qualquer modificação:

- a. Os critérios técnicos para a modificação proposta;
- b. As implicações para a segurança e saúde;
- c. Se a modificação é permanente ou temporária;
- d. Modificações para operação e procedimentos de manutenção;
- e. Requisitos de treinamento para empregados;
- f. Requisitos de autorização para a modificação proposta.

Toda a documentação referente às modificações deve ser mantida em arquivo pelo tempo útil de operação da instalação. (ABNT NRB 16385)

A norma ABNT NBR 15662, que trata de gerenciamento de riscos de explosão, cita que o gerenciamento de modificações tem como objetivo estabelecer mecanismos de gestão para modificações na instalação que possam provocar riscos de explosão, tanto em procedimentos técnicos e/ou administrativos, como em operações, equipamentos e treinamentos de pessoas.

Antes de executar a modificação na instalação é necessário também obter as respectivas permissões de trabalho e licenças junto aos órgãos competentes, caso necessário. (ABNT NBR 15662)

Esta norma também cita a necessidade de revisão do relatório de gerenciamento de riscos da planta, detalhado na norma, quando houver modificação na planta.

5. Aplicação da Classificação de Áreas

Segundo a ABNT NBR IEC 60079-10-1, que trata de classificação de área para gases inflamáveis, a classificação de áreas é um método de análise e classificação do ambiente onde uma atmosfera explosiva de gases ou, no caso do presente estudo, poeira ou fibra, possa ocorrer. A classificação de áreas visa facilitar a adequada seleção e instalação de equipamentos a serem utilizados em tais ambientes.

Na maioria das situações práticas, é difícil assegurar que uma atmosfera explosiva irá ocorrer. Também é difícil de assegurar que um equipamento nunca se constituirá de uma fonte de ignição. Sendo assim, onde existe uma alta probabilidade de ocorrer uma atmosfera explosiva, a confiabilidade é obtida usando-se equipamentos que possuam baixa probabilidade de se tornarem fontes de ignição. Por outro lado, onde houver uma baixa probabilidade de ocorrência de uma atmosfera explosiva, equipamentos construídos com requisitos menos rigorosos podem ser utilizados. (ABNT NBR IEC 60079-10-1)

A ABNT NBR IEC 60079-10-2 é a norma que trata de classificação de área para poeiras explosivas. Neste capítulo serão descritas todas as etapas de classificação de área por esta norma.

5.1. Norma ABNT NBR IEC 60079-10-2

A classificação de áreas de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60079-10-2 é baseada na implementação de sistemas efetivos de limpeza, de forma a evitar que camadas de poeiras sejam acumuladas. Quando a efetividade da limpeza não for possível, a classificação de áreas inclui a possibilidade de formação de nuvens de poeiras explosivas a partir de camadas acumuladas. A norma também pode ser seguida quando fibras combustíveis ou materiais particulados puderem causar risco.

A norma é destinada a ser aplicada quando existir o risco devido a presença de atmosferas explosivas de poeiras ou camadas de poeiras explosivas sob condições atmosféricas normais (101,3kpa e 20°C).

Esta Norma não é aplicável em casos de:

- Áreas de minas subterrâneas;
- Áreas onde o risco pode ser gerado pela presença de misturas híbridas;
- Poeiras de explosivos que não requeiram o oxigênio da atmosfera para a combustão ou de substâncias pirofóricas;
- Falhas catastróficas que estejam além do conceito de anormalidade abrangidos por esta norma. Falha catastrófica, neste contexto, é aplicada, por exemplo, para a ruptura de um silo de armazenamento ou um condutor pneumático;
- Qualquer risco gerado a partir da emissão de gases inflamáveis ou tóxicos, a partir da poeira.

A norma ABNT NBR IEC 60079-10-2 também não leva em consideração medidas de proteção contra os danos decorrentes de um incêndio ou explosão.

A norma define o que é uma área classificada e uma área não classificada:

5.1.1. Área Classificada

Área na qual a poeira combustível está presente na forma de uma nuvem, ou pode-se esperar que esteja presente, em quantidades tais que requeiram precauções especiais para construção, instalação e utilização de equipamentos.

5.1.2. Área Não Classificada

Área na qual não se espera que a poeira combustível, na forma de uma nuvem, esteja presente em quantidades tais que requeiram precauções

especiais para construção, instalação e utilização de equipamentos.
(ABNT NBR IEC 60079-10-2)

O foco da norma é estabelecer critérios para a criação de zonas, que são identificadas de acordo com a frequência e a duração da ocorrência de uma atmosfera explosiva de poeira. Estes dois critérios estão relacionados na classificação de grau de risco.

5.2. Graus de Risco

Existem basicamente três graus de risco, conforme listado abaixo, em ordem decrescente em relação à probabilidade de formação de uma atmosfera explosiva:

5.2.1. Grau Contínuo

Liberação contínua ou que se espera que ocorra frequentemente ou por longos períodos.

5.2.2. Grau Primário

Liberação que se espera que ocorra periodicamente ou ocasionalmente durante operação normal.

5.2.3. Grau Secundário

Liberação que não se espera que ocorra em operação normal, e se ocorrer, é pouco frequente e por curtos períodos.

Estes três graus de riscos são determinantes na classificação de zona da atmosfera explosiva.

Os espaços são então divididos/classificados, em três zonas: zona 20, zona 21 e zona 22.

5.3. Zonas de Classificação

5.3.1. Zona 20

É uma área na qual uma atmosfera explosiva está continuamente presente, ou por longos períodos ou de modo frequente. Representa uma fonte de risco contínuo, ou seja, Grau de Liberação contínuo.

5.3.2. Zona 21

É uma área na qual uma atmosfera explosiva pode ocorrer ocasionalmente em condições normais de operação. Representa uma fonte de risco primário ou seja, Grau de Liberação primário.

5.3.3. Zona 22

É uma área na qual uma atmosfera explosiva não é provável de ocorrer em condições normais de operação, e se ocorrer irá persistir somente por um curto período, ou seja, Grau de Liberação secundário.

Estas três zonas se assemelham as utilizadas para a classificação de área de gases inflamáveis, de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10-1 (zonas em 0, 1 e 2) com as mesmas frequências de fonte de liberação (zonas 20, 21 e 22).

Também de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10-2, a simbologia recomendada de classificação de áreas é apresentada na Figura 26. Uma legenda da simbologia deve ser indicada em cada projeto.

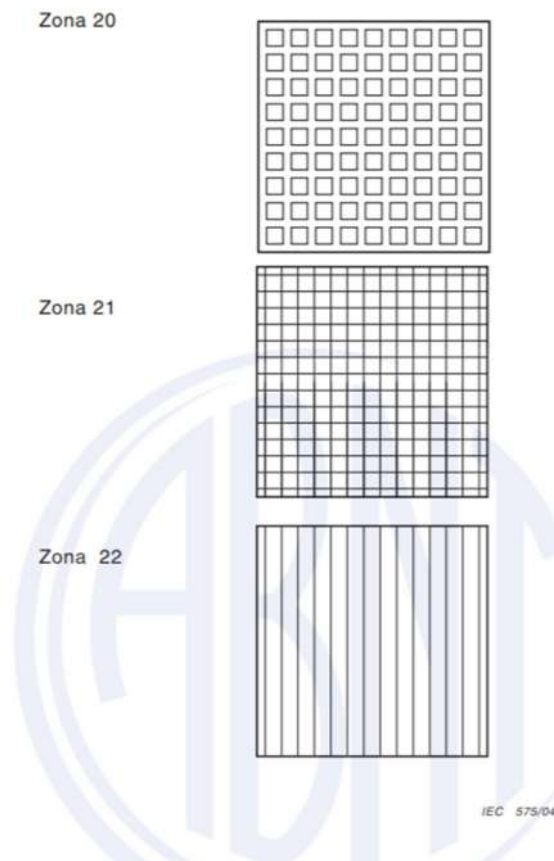


Figura 26: Identificação da Zona nos desenhos (ABNT 60079-10-2)

5.4. Exemplos da Norma

Nesta norma também são dados alguns exemplos de diagramas de classificação de área em zonas. Um deles consiste em uma estação de esvaziamento de sacos no interior de um ambiente sem ventilação de extração e o segundo exemplo, semelhante ao primeiro, porém com ventilação de extração.

5.4.1. Exemplo sem Ventilação de Extração

Neste exemplo, sacos são frequentemente esvaziados manualmente em um funil, a partir do qual o conteúdo é distribuído pneumaticamente para alguma outra parte da planta. Parte do funil é normalmente preenchido com produto.

Assim:

- Zona 20: Dentro do funil, devido à presença frequente, ou até mesmo contínua, de atmosfera de poeira combustível.
- Zona 21: A abertura de entrada é uma fonte com um grau primário de liberação. Consequentemente, uma Zona 21 é definida na região ao redor desta abertura, estendida desde a extremidade da abertura de entrada até o piso.

As zonas de classificação deste exemplo estão representadas nas Figura 27 e Figura 28.

A norma ressalta ainda que se houver acúmulo de camadas de poeira, então uma classificação adicional pode ser requerida, levando em conta a extensão da camada e qualquer distúrbio desta que produza uma nuvem de poeira, em conjunto com o nível de limpeza. Se existir movimento de ar durante a descarga dos sacos que possa ocasionalmente carregar a nuvem de poeira para fora da Zona 21, então uma Zona 22 pode ser requerida.

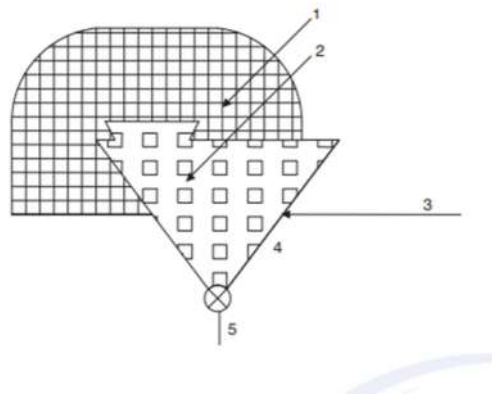


Figura 27: Vista Lateral das Zonas do Exemplo 1 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)

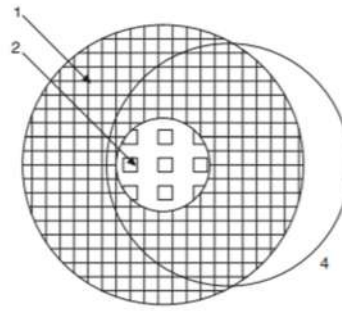


Figura 28: Vista Superior das Zonas do Exemplo 1 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)

Legenda:

- 1- Zona 21
- 2- Zona 20
- 3- Piso
- 4- Funil de Descarga de Sacos
- 5- Para Processo

5.4.2. Exemplo com Ventilação de Extração

A norma também trás exemplo similar anterior, mas neste caso o sistema possui ventilação de extração. Deste modo, a poeira pode ser mantida no sistema, tanto quanto possível.

- Zona 20: Dentro do funil, devido à presença frequente, ou até mesmo contínua, de atmosfera de poeira combustível.
- Zona 22: A abertura de entrada é uma fonte com um grau secundário de liberação. Não existe escape de poeira em circunstâncias normais devido ao sistema de extração de poeira. Em um sistema de extração bem projetado, qualquer liberação de poeira será succionada para o interior.

Consequentemente, somente uma Zona 22 é definida ao redor da abertura de entrada, estendendo alguma distância entre a extremidade da abertura de inspeção até o piso. A extensão exata da área Zona 22 necessita ser determinada com base nas características da poeira e do processo. As zonas

de classificação deste exemplo estão representadas nas Figura 29 e Figura 30.

É possível observar, pelos dois exemplos da norma, que pelo fato de haver ventilação de exaustão no funil de descarregamento a zona no entorno do mesmo passou a ser classificada como 22, quando sem ventilação era 21.

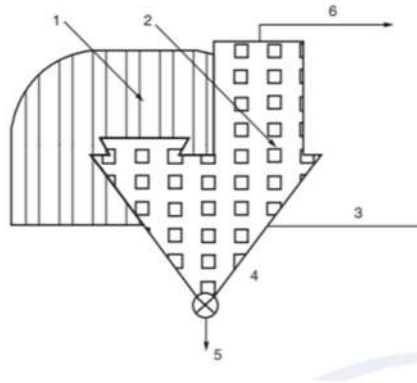


Figura 29: Vista Lateral das Zonas do Exemplo 2 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)

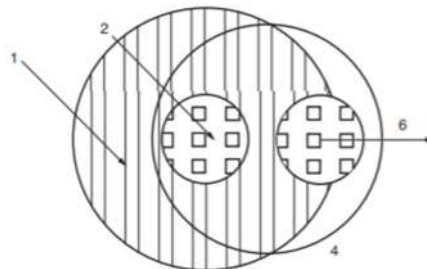


Figura 30: Vista Superior das Zonas do Exemplo 2 (ABNT NBR IEC 60079-10-2)

Legenda:

- 1- Zona 22
- 2- Zona 20
- 3- Piso
- 4- Funil de Descarga de Sacos
- 5- Para Processo
- 6- Para Extração Dentro da Contenção

Em ambos os exemplos a norma ressalta que as dimensões relativas são apenas ilustrativas e que na prática, outras distâncias podem ser requeridas.

5.5. Extensão das Zonas

De acordo com a norma, para cada zona, há uma recomendação de raio em relação à fonte de liberação, dentro do qual deverá ser respeitada a restrição que é inerente a aquela zona.

5.5.1. Zona 20

Inclui o interior de dutos e equipamentos de produção onde a atmosfera explosiva de poeira está presente continuamente, por longos períodos ou frequentemente.

5.5.2. Zona 21

Recomenda-se a inclusão nesta zona da área relativa a uma distancia de um metro em torno da fonte de liberação.

5.5.3. Zona 22

Recomenda-se a inclusão nesta zona da área relativa a uma distancia de três metros adjacente externamente à Zona 21, em torno da fonte de liberação.

A norma ressalta que apesar de haver estas recomendações de extensão, cada cenário deve ser avaliado para cada caso, de acordo com a poeira e o processo.

A norma americana NFPA 499 trata também de classificação de área para poeiras explosivas. Esta norma é mais taxativa em relação à extensão de

cada zona. Nesta norma americana usa-se o conceito de “Divisão”: Divisão 1 (que é referente a zona 20 e 21 da norma ABNT) e Divisão 2 (que é referente a zona 22 na ABNT).

Nos exemplos dados na NFPA 499, para a Divisão 1, a norma pede 20ft (6,1m) e para Divisão 2 mais 10ft (3,05m) adicionais a Divisão 1. Um exemplo da aplicação desta norma pode ser visto na Figura 31.

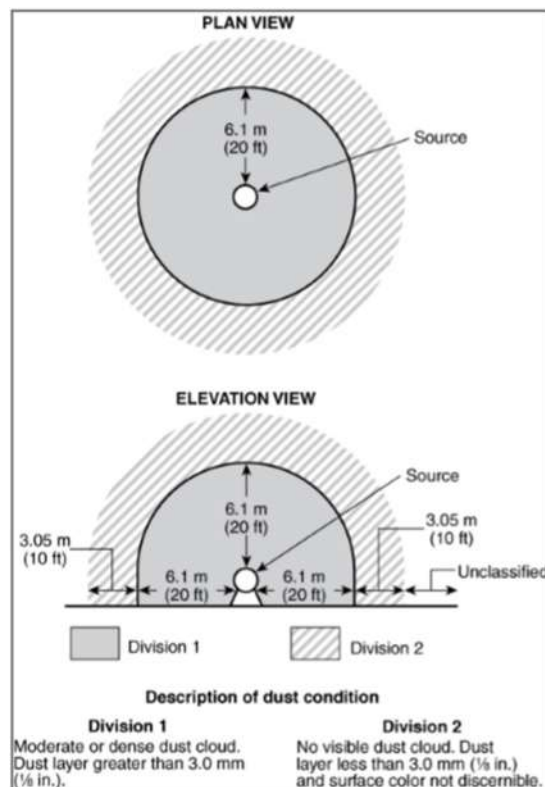


Figura 31: Classificação de Área na norma NFPA 499.

5.6. Ventilação

Como visto nos exemplos da norma ABNT, o grau de ventilação do equipamento gera impacto na classificação de área do ambiente. A ventilação de operações, processos e equipamentos tem se tornado, mais modernamente, uma importante ferramenta no campo de controle da poluição do ar e da segurança. O controle adequado da poluição do ar tem início com

uma adequada ventilação das operações e dos processos poluidores da atmosfera, que também concorrem com os riscos de explosividade, no caso das poeiras. (SÁ, 1998)

Em processos de controle de poeiras explosivas, o processo de ventilação é de fundamental importância, pois estas poeiras por serem de granulometria muito pequena entram em suspensão facilmente ao longo do processo produtivo. Esta poeira acaba por decantar em superfícies diversas, onde, com pequenas agitações, podem entrar em suspensão, caírem em direção do piso, e neste caminho, caso haja uma fonte de ignição, entra em combustão. (SÁ, 1998)

O processo de ventilação bem equacionado captura as poeiras na sua geração e as conduz para fora da edificação. As poeiras são separadas do fluxo do ar carreador em filtros ou outros separadores. Desta forma, evita-se que o combustível na forma de pó exista, e sem ele, não haverá incêndios ou explosões. (SÁ, 1998)

De acordo com NFPA 61, para diminuir ao extremo o risco de explosões é necessário que ocorra ventilação mecânica ou natural. Como dito, a disponibilidade da ventilação tem influência sobre a presença ou formação de uma atmosfera explosiva. Desta forma, a disponibilidade (bem como o grau) da ventilação necessita ser levada em consideração quando a determinação do tipo de zona. (ABNT NBR 60079-10-1)

Segundo a ABNT NBR 60079-10-2, a ventilação pode ser obtida pelo movimento de ar devido ao vento e/ou pelos gradientes de temperatura ou por meios artificiais, tais como ventilação de extração. Assim sendo, duas principais formas de ventilação são reconhecidas:

5.6.1. Ventilação Natural

Este é um tipo de ventilação que é obtido pelo movimento do ar causado pelo vento e/ou por gradientes de temperatura. Em ambientes externos, a ventilação natural é suficiente para assegurar a dispersão de uma eventual atmosfera explosiva. A ventilação natural também pode ser efetiva em alguns casos para ambientes internos (por exemplo, no caso em que a edificação tenha grandes aberturas em suas paredes e/ou teto).

A norma brasileira assume a velocidade mínima do vento de 0,5m/s, a qual estará presente praticamente de modo contínuo. Neste caso, a disponibilidade da ventilação pode ser considerada boa.

5.6.2. Ventilação de Extração

Neste caso, o movimento do ar necessário para a ventilação é gerado por meios artificiais através de exaustores. Embora a ventilação artificial seja principalmente aplicável a ambientes internos, esta pode ser também aplicada para ambientes externos, de modo a compensar a ventilação natural restrita ou impedida, provocada pela presença de obstáculos.

Segundo a norma ABNT NBR 60079-10-2, áreas que geralmente são classificadas como Zona 21 podem se tornar Zona 22 quando medidas de proteção, incluindo ventilação por exaustão, são adotadas para prevenir a formação de atmosfera explosiva de poeira. Estas medidas necessitam ser adotadas no entorno dos pontos de enchimentos ou esvaziamento, correias de alimentação, pontos de amostragem, estações de transbordo de caminhões, pontos de transbordo por correias, etc.

5.7. Níveis de Limpeza

Somente a frequência da limpeza descrita na norma ABNT NBR não é suficiente para controlar os riscos. A taxa de deposição da poeira possui diferentes efeitos, por exemplo, um grau secundário de liberação com alta taxa de deposição pode criar uma camada de poeira que apresente risco muito mais rapidamente que um grau primário com uma baixa taxa de deposição. Ambos, a frequência de limpeza e a efetividade da limpeza, são importantes.

Desta forma, a presença e a duração da camada de poeira dependem de:

- Grau do liberação da fonte de poeira;
- Taxa na qual a poeira é depositada;
- Efetividade da limpeza.

Três níveis de limpeza podem ser descritos a partir da norma ABNT NBR IEC 60079-10-2.

5.7.1. Bom

As camadas de poeira são mantidas em camadas desprezíveis ou não existentes, independentemente do grau de liberação. Neste caso, o risco de ocorrência de explosão das nuvens de poeira a partir das camadas de poeiras e o risco de incêndio devido às camadas de poeira devem ter sido eliminados.

5.7.2. Regular

As camadas de poeira não são desprezíveis, mas são de curta duração (menos que uma troca de turno). A poeira é removida antes que qualquer incêndio possa iniciar.

5.7.3. Pobre

As camadas de poeira não são desprezíveis e persistem por mais de uma troca de turno.

Uma limpeza pobre e condições que possam criar nuvens de poeira de camadas necessitam ser evitadas. Quaisquer condições que possam criar uma nuvem de poeira devem ser consideradas na classificação de área. Quando um nível de limpeza planejado não é mantido, riscos adicionais de incêndio e explosão são criados. Alguns equipamentos podem não estar mais adequados.

6. Estudo de caso

Este capítulo tratará do estudo de caso realizado, a partir do projeto de uma planta industrial real e que serviu de base para este estudo. A partir da avaliação dos ambientes de atmosfera explosiva e dos conceitos de grau de risco, será realizada a classificação, assim como definidas as especificações das instalações.

6.1. Descrição da Área

O estudo será feito em uma planta em Judiaí-SP, esta planta, localizada dentro de um galpão aberto, produz vedantes para latas de produtos alimentícios. Este revestimento previne corrosão do material e protege o conteúdo da embalagem da influência do metal.

A planta possui dois vasos misturadores com capacidade de 2m² e 3m². O misturador de 2m² é chamado de Misturador de Produto Semi-Acabado, e o misturador de 3m² é chamado de Misturador de Produto Acabado. Em nenhum dos vasos está previsto inertização.

No Misturador de Produto Semi-Acabado há adição de pó, com as propriedades descritas na Tabela 7. A adição ocorre por meio de uma mesa de carga com portinhola que para ser aberta é apenas necessário que esta seja levantada. Junto ao pó também são adicionadas quantidades especificadas de água, amônia e biocida.

Os misturadores operam com pressão de 1atm (manométrica) e temperatura de até 40°C devido à agitação das pás no misturador. O processo ocorre em batelada, e a adição do pó através de sacos é necessária a cada batelada, o que ocorre no máximo uma vez ao dia.

No processo, está previsto sistema de exaustão no ambiente e na mesa de carga.

Poeira Combustível	Temperatura de Operação	Temperatura de Autoignição	Grupo (IEC)
PC1	40	>200°C	IIIB

Tabela 7: Propriedades do pó utilizado no processo de Vedantes

O P&ID (Process and Instrumentation Diagram) do processo está representado no ANEXO A.

Neste P&ID é possível observar que no misturador em que há adição de pó, água, amônia e biocida, também há conexão com um sistema de exaustão por um vent e um sistema de exaustão na mesa de carga.

Neste processo primeiro há reação no misturador com adição de pó e em seguida, o produto líquido proveniente deste vai para um segundo misturador, onde fica em vácuo por aproximadamente uma hora.

6.2. Layout da Planta

Na fábrica os dois misturadores se encontram suspensos em um mezanino apoiado em células de carga a 3200mm do solo. Acima dos dois misturadores estão os motores elétricos responsáveis pela rotação das pás de agitação dos misturadores.

É importante ressaltar que neste estudo não havia a possibilidade de alteração do layout existente, apenas a classificação de área foi realizada.

Na Figura 32, está representado o layout da planta em vista superior e na Figura 33, em vista frontal.

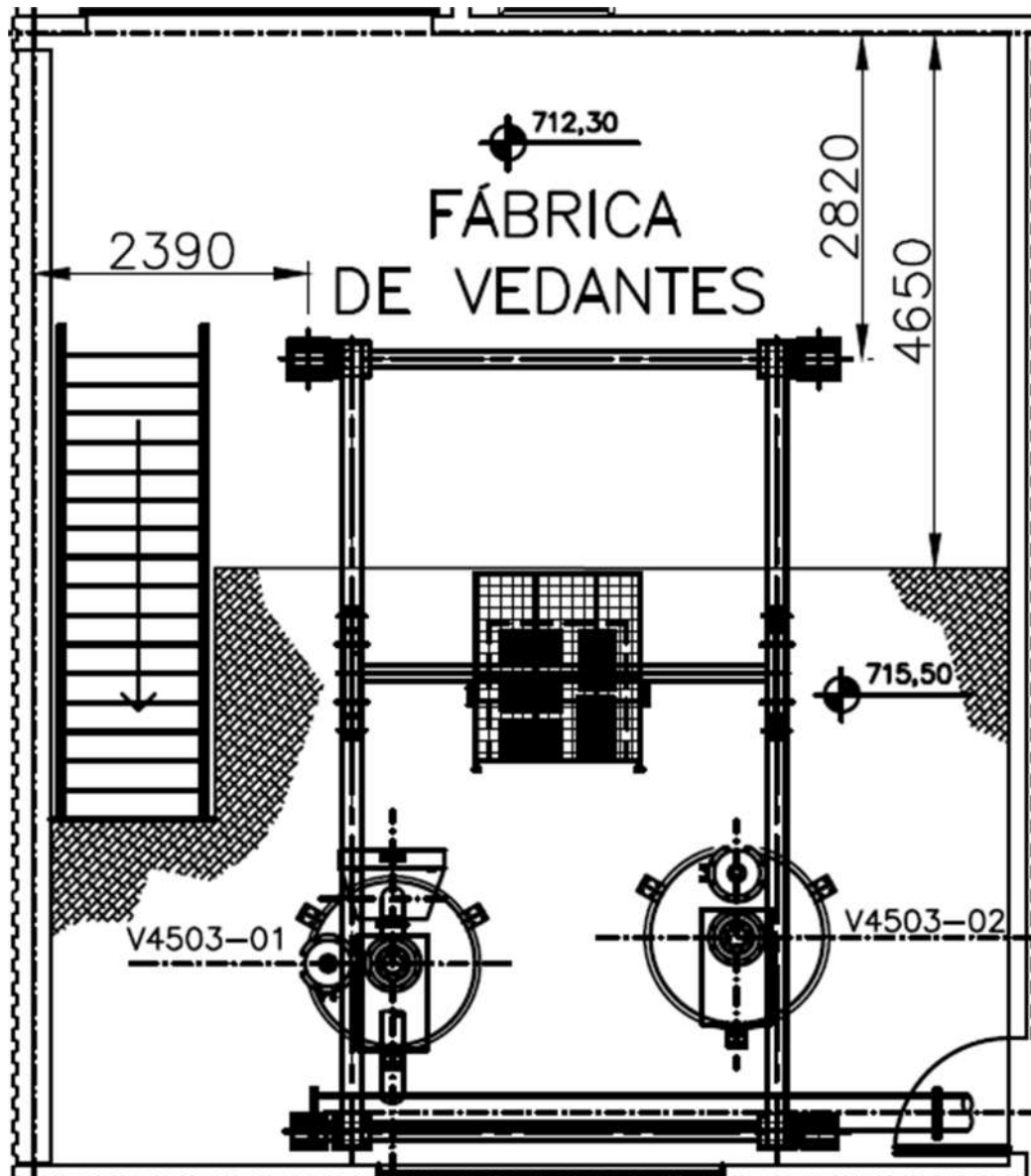


Figura 32: Layout- Vista superior do processo de Vedantes

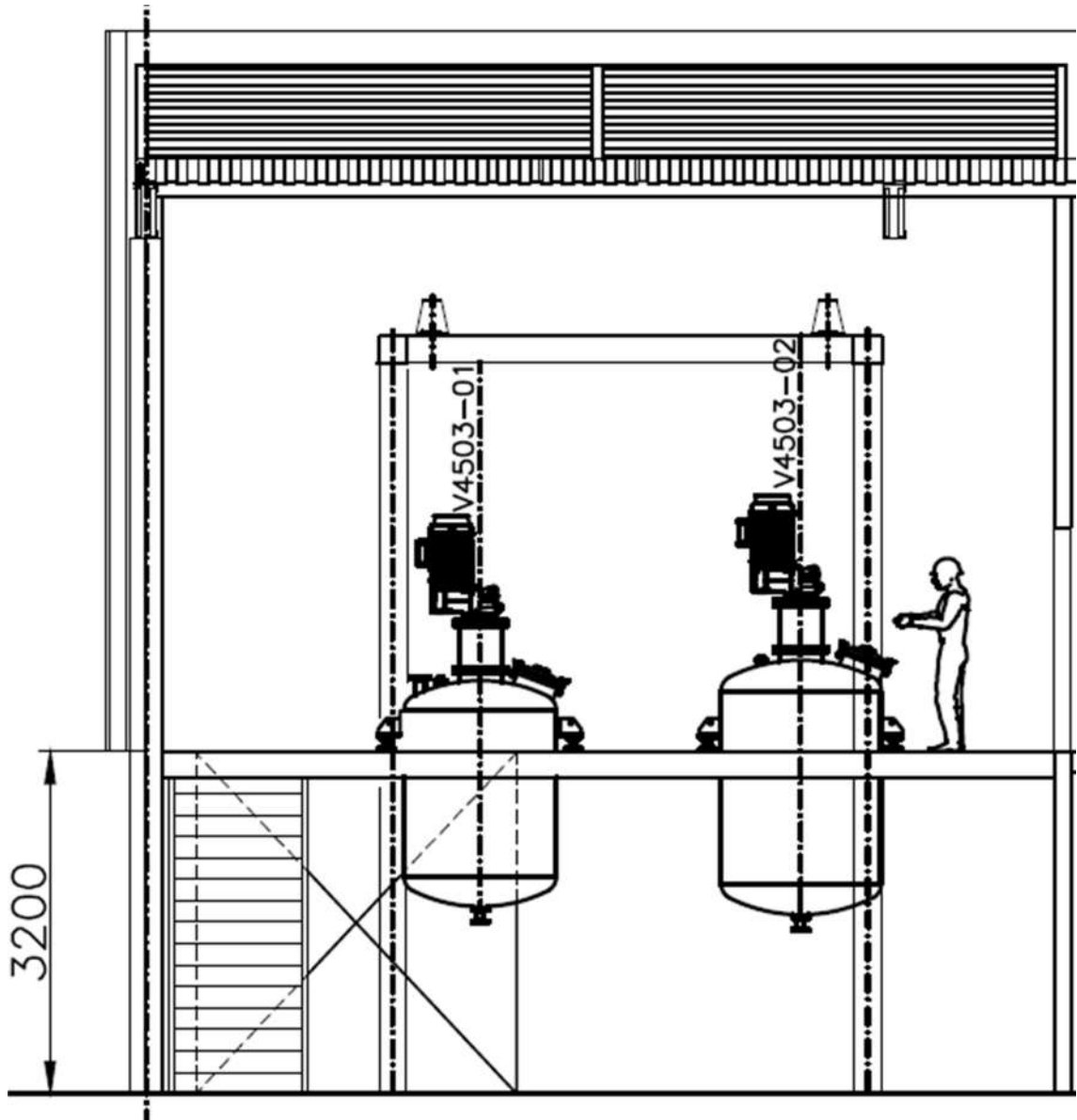


Figura 33: Layout- Vista frontal do processo de Vedantes

Na Figura 33, o misturador de produto semi-acabado é o vaso da esquerda (V4503-01), e o misturador de produto acabado é o do direita (V4503-02). Como só no misturador V4503-01 há adição de pó, apenas neste haverá estudo de classificação por poeira explosiva. Apesar de só haver classificação de área neste misturador os demais equipamentos da planta poderão estar ou não em área classificada, dependendo do layout existente. O produto que sai do misturador de produto semi-acabado é líquido e não inflamável.

6.3. Ventilação

Como a planta se encontra em um galpão com as laterais abertas para o ambiente, a ventilação foi considerada como natural. Além disso, devido ao ponto de exaustão, foi considerada a ventilação de extração na mesa de carga do Misturador de Produto Semi-Acabado.

6.4. Limpeza

O nível de limpeza da planta foi considerado como bom, com a empresa que opera a planta se comprometendo, com base em documentos formais, a manter as camadas de poeira desprezíveis ou não existentes. Com isso o nível de limpeza sendo mantido em grau bom não foi prevista a formação de camadas de poeira na instalação.

6.5. Classificação da Área

Na planta representada só haverá classificação por poeira, já que os demais produtos não são inflamáveis.

Como descrito no capítulo 5, as zonas serão classificadas em 20, 21 e 22 de acordo com a frequência de liberação de poeira na área.

6.5.1. Interior do Misturador

Dentro do equipamento em que há adição de pó a área foi classificada como zona 20, pois se espera que dentro deste misturador haja sempre a presença de poeira em suspensão devido à adição da sacaria.

6.5.2. Mesa de Carga do Misturador

A Mesa de adição de pó, conforme representado na Figura 34, será classificada como zona 22. A zona 21 não será considerada uma vez que há ventilação de extração (exaustão) em cima desta mesa (Figura 35), garantindo a extração de pó em suspensão. Já a zona 22 terá três metros de raio a partir da mesa de carga, já que a partir deste ponto não é provável ocorrer atmosfera explosiva em condições normais de operação. A extensão desta zona é baseada nos critérios da norma ABNT NBR 60079-10-2, que indica, conforme item 5.5.3, que a zona 22 deve ter três metros em adição a zona 21. Como neste caso não há zona 21, foi utilizado o critério de três metros a partir do bocal de adição.



Figura 34: Bocal de adição de sólidos

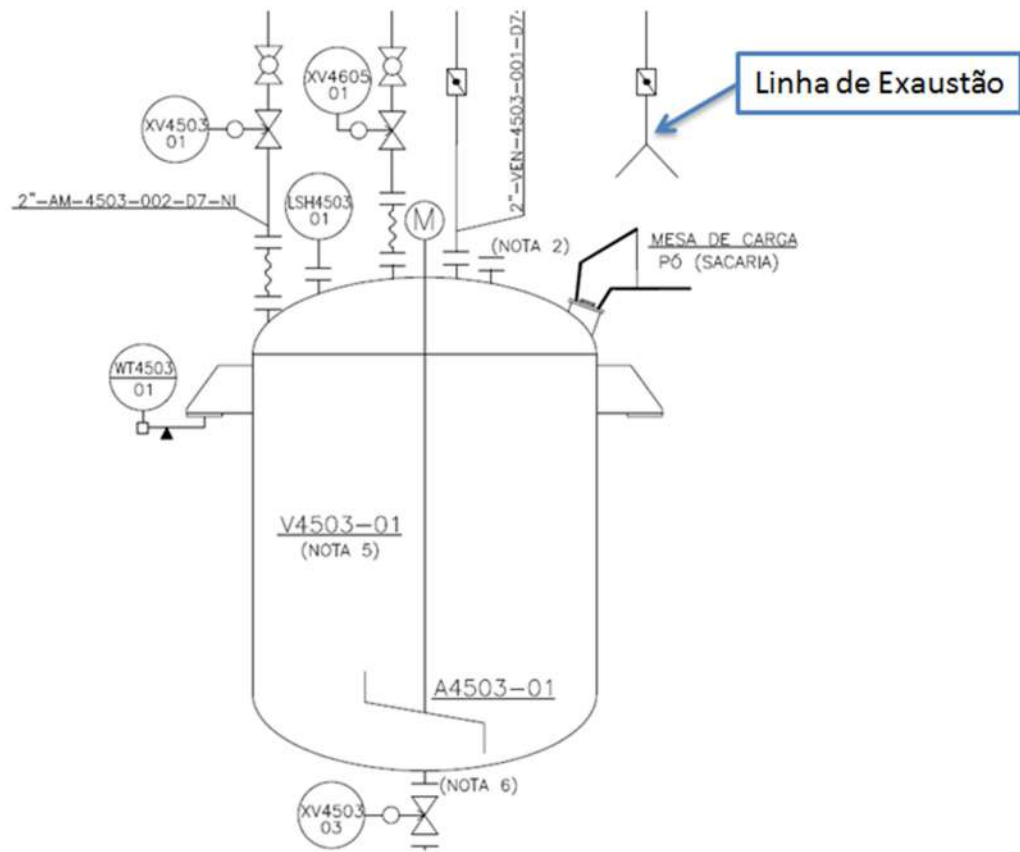


Figura 35: Extração na Mesa de Carga

Os demais bocais do misturador são vedados, então não há risco de vazamento para o ambiente.

Os equipamentos do processo e suas respectivas classificações de área foram analisados conforme Tabela 8.

Como já dito, a planta de vedantes está localizada em um galpão aberto, e a ventilação externa foi considerada natural como um todo, porém na mesa de carga a ventilação de extração foi considerada devido a linha de exaustão em cima destes equipamentos.

Equipamento	Poeira Combustível	Condições de Processo			Ventilação Extração ou Natural	Limpeza Nível	Fonte de Vazamento		Dimensão (m)			Grupo	Observação
		Temp. (°C)	Pressão (kgf/cm ² _g)	Volume (m ³)			Descrição	Grau	Zona 20	Zona 21	Zona 22		
Misturador de produto Semi-acabado	Poeira Combustível PC1	40	1	2	Extração	Bom	Mesa de Carga	Primário	Interior do equipamento + Mesa de Carga	-	R= 3 m da mesa de carga	IIIB	Classificado conforme Figura 37e Figura 38
Motor do Misturador de Produto Semi-Acabado	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Misturador Produto Acabado	-	40	1	3	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Motor do Misturador de Produto Acabado	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Bomba de Biocida	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Bomba de Amônia	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Bomba de Transferência	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Envasadora	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Filtro de Envase	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado
Bomba de Envase	-	40	1	-	Natural	Bom	-	-	-	-	-	-	Não Classificado

Tabela 8: Classificação dos equipamentos do processo de Vedantes

6.5.3. Planta de Classificação de área

Uma planta de classificação de áreas contendo poeiras inflamáveis indica as extensões ao redor dos equipamentos de processo que são consideradas áreas classificadas.

Como podemos tirar da Tabela 8, a mesa de carga do Misturador de Produto Semi-Acabado será classificada como zona 22, uma vez que há uma tubulação de exaustão em cima desta mesa.

Para a planta de classificação de área foi utilizada simbologia conforme Tabela 9.

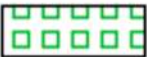
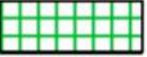
Simbologia	
	Área Não Classificada
	Zona 20
	Zona 21
	Zona 22

Tabela 9: Simbologia para Planta de Classificação de Área

A planta de classificação de área está representada na Figura 36 e Figura 37.

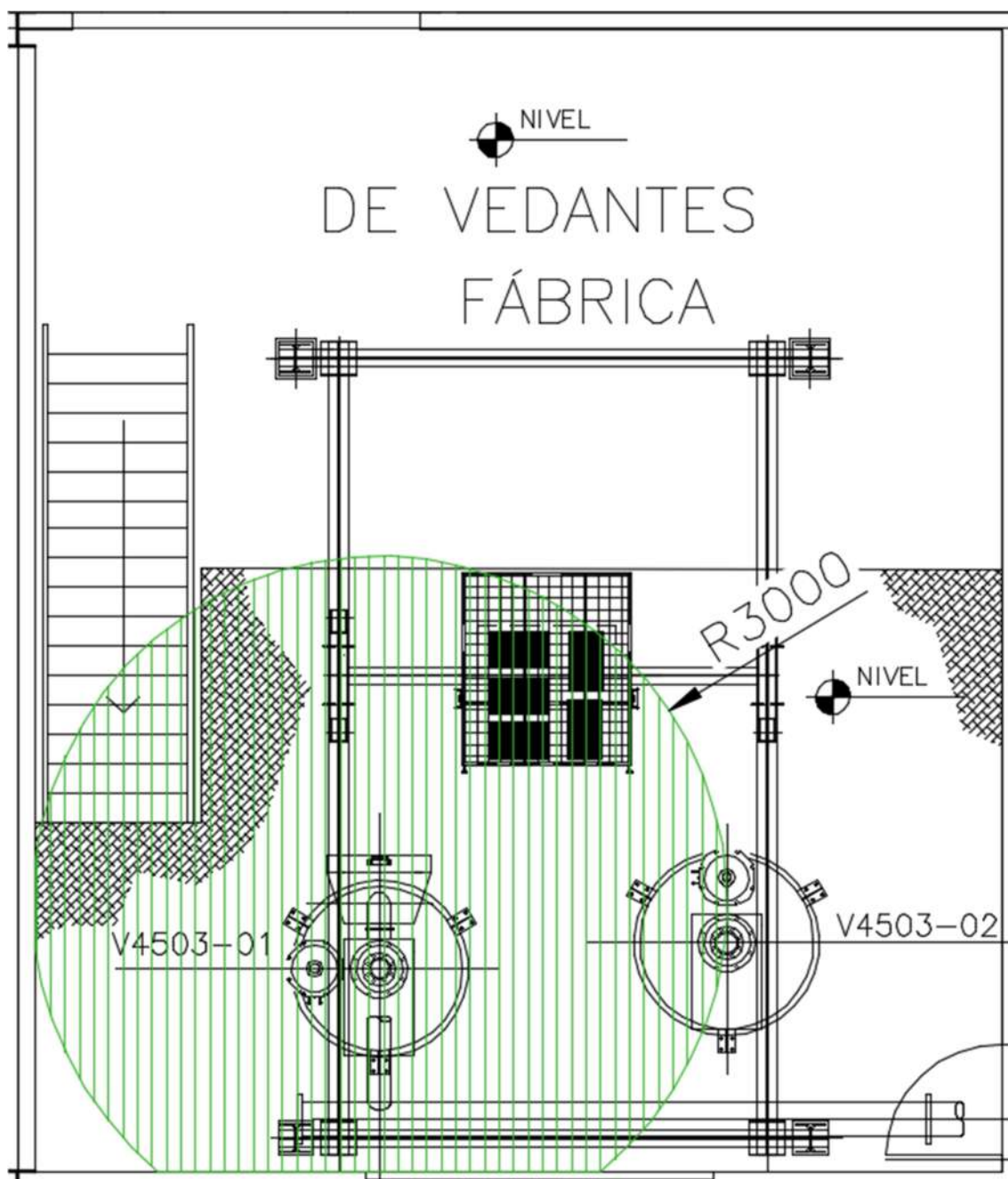


Figura 36: Planta de Classificação de Área- Vista superior da planta de Vedantes

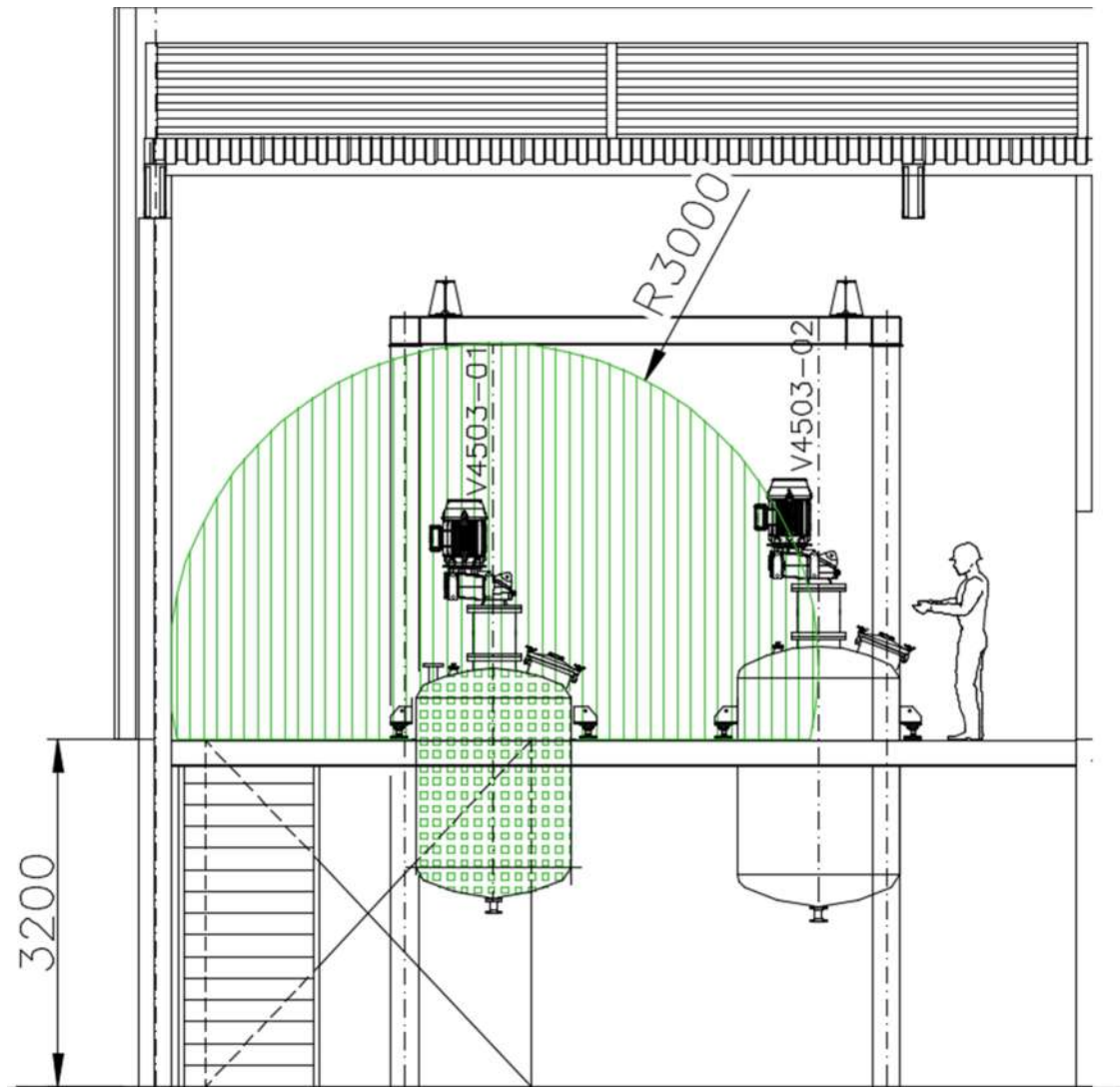


Figura 37: Planta de Classificação de Área- Vista frontal da planta de Vedantes

6.5.4. Análise da Classificação de área de Vedantes

Analisando a planta de classificação de área é possível concluir que apesar do misturador de produto acabado não ter adição de pó, os seus equipamentos elétricos, tais como motores e instrumentação, deverão ser apropriados para operação em área classificada.

Toda a instrumentação relacionada aos dois misturadores e seus respectivos motores deverão ser protegidos para zona 22.

Caso houvesse a opção de modificação do layout, o Misturador de Produto Acabado poderia ter sido movido alguns metros (suficiente para sair da área classificada) para a direita. Desta forma, sua instrumentação e motor da pá do misturador poderiam apresentar menor custo, uma vez que não seria necessário que eles fossem especificados para área classificada.

7. Conclusão

A partir do estudo de caso apresentado no capítulo 4 deste trabalho foi possível verificar a importância que as normas relativas ao tema no Brasil sejam seguidas. A partir da avaliação do relatório gerado pela CSB foi possível constatar que o acidente da Imperial Sugar poderia ter sido evitado caso as recomendações da norma ABNT NBR 16385 tivessem sido aplicadas.

Além disto, no capítulo 6 foi possível aplicar a metodologia de aplicação do conceito de classificação de área através da utilização da norma ABNT IEC NBR 60079-10-2.

Neste estudo foi possível avaliar que seria necessário modificar os equipamentos existentes da planta para que esta se adeque as recomendações da norma referida.

Como visto neste trabalho, a classificação de áreas de uma indústria diminui o risco de explosões, uma vez que limita a ocorrência de fontes de ignição em áreas com maior risco de ocorrência de poeira explosiva.

8. Revisão Bibliográfica

ABBASI, T.; ABBASI, S. A. Dust explosions - Cases, causes, consequences, and control. *Journal of Hazardous Materials*, v. 140, p. 7-44, Fevereiro 2007.

AMYOTTE, P. R.; ECKHOFF, R. K. Dust explosion causation, prevention and mitigation: An overview. *Journal of Chemical Health and Safety*, v. 17, n. 1^a, p. 15-28, Janeiro 2010.

ANDERSEN, J. et al. Global Combustion Mechanisms For Use In CFD Modeling Under Oxy-Fuel Conditions. *Energy & Fuels*, Washington. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15662: Sistemas De Prevenção E Proteção Contra Explosão - Gerenciamento De Riscos De Explosões. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16385: Sistemas de Prevenção e Proteção Contra Explosão. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 60079-10-1: Classificação De Áreas - Atmosferas Explosivas De Gás. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 60079-10-2: Classificação De Áreas – Atmosferas De Poeiras Explosivas. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 60079-14: Projeto, Seleção e Montagem De Instalações Elétricas. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8370: Equipamento Elétrico Para Atmosfera Explosiva - Terminologia. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6184: Determinação Dos Índices Explosão Dos Pós Combustíveis No Ar. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR 10: Segurança Em Instalações e Serviços Em Eletricidade. Rio de Janeiro. 2016.

ASTM E1491-06. Standard Test Method for Minimum Autoignition Temperature of Dust Clouds. 2012.

BENEDETTO, A. D.; SARLI, V. D.; RUSSO, P. On the determination of the minimum ignition temperature for dust/air mixtures. Chemical Engineering Transactions, v. 19, p. 189-194, 2010.

BRENTANO, T. Instalações hidráulicas de combate a incêndios nas edificações. 3.ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. p.450.

BULGARELLI, Roberval – Novos requisitos para classificação de áreas contendo poeiras combustíveis – Parte II– 2016 – Recuperado em 01 de maio de 2018, de <https://www.oseletrico.com.br/novos-requisitos-para-classificacao-de-areas-contendo-poeiras-combustiveis-parte-ii/>.

COLLECUTT, G.; HUMPHREY, D.; PROUD, D. CFD Simulation Of Underground Coal Dust Explosions and Active Explosion Barriers. In: International Conference On Cfd In The Minerals And Process Industries. Melbourne., 2009. Recuperado em 27 de junho de 2018, de http://www.cfd.com.au/cfd_conf09/PDFs/230COL.pdf.

COUTO, Berenice R. C. O Direito Social e a Assistência Social na Sociedade Brasileira: Uma Equação Possível?, 2ª ed., Cortez, São Paulo, p 139-182, 2004.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

CSB. Sugar Dust Explosion and Fire - Imperial Sugar Company, Port Wentworth. Investigation Report, 2009.

DANIELS, L. et al. Bacterial Methanogenesis And Growth From CO₂ With Elemental Iron As The Sole Source Of Electrons, Science Magazine, Washington. 1987.

DEI. (2012). Imperial sugar dust explosion. Washington. Recuperado em 06 de maio de 2018, de <http://www.dustexplosion.info>

ECKHOFF, R. K. Dust Explosions in the Process Industries. 3. ed. Burlington: Gulf Professional Publishing, 2003.

EMBRAPA. Projeções Do Agronegócio Brasil 2016/17 a 2026/27. Recuperado em 01 de maio de 2018, de <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf>. 2017.

GARSDALE, Robin. Electrical apparatus and hazardous areas. Aylesbury, Buckinghamshire, UK: Hexagon Technology Limited, 2.ed.rev., 1995.

HASSAN, J. et al. A model to assess dust explosion occurrence probability. Journal of Hazardous Materials, n. 268, p. 140-149, Janeiro 2014.

JORDÃO, D. Manual De Instalações Elétricas Em Indústrias Químicas, Petroquímicas E De Petróleo: Atmosferas Explosivas. Rio de Janeiro. 2002.

KARAKURT, I; AYDIN, G; AYDINER, K. Sources And Mitigation Of Methane Emissions By Sectors: A Critical Review. Renewable Energy, Oxford, 2012.

LEES, F. P. Loss Prevention in the Process Industries. 2^a. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996.

MACINTYRE, Archibald Joseph; Ventilação Industrial e Controle de Poluição, LTC, 1990.

METJE, M.; FRENZEL, P. Methanogenesis And Methanogenic Pathways In A Peat From Subartic Permafrost. Environmental Microbiology. Wageningen. 2007

MORAES, D.S.L.; JORDÃO, B.Q. Degradação de recursos de recursos e seus efeitos sobre a saúde humana. Rev. Saúde Pública. No33, vol. 3, 370-374p. 2002.

MORAES, G. Sistema de Gestão de Riscos - Princípios e Diretrizes. 1 edição. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde Editora, 2010.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 499: Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. USA. 2017.

NETO, L. R., & Soares, L. F.. Instalações Elétricas em Áreas Classificadas Elaboração da Lista de Verificação para Laboratórios em Áreas Classificadas. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010

NFPA. 654: Standart for the Prevention of Fire and Dust Explosion from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particle Solids. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. USA. 2017.

NFPA. 68: Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. USA. 2018.

OSHA, Combustible Dust: Safety and Injury Prevention, Instruction Manual, 1997.

PAREKH, Manisha, Grain Dust Peril. Industrial Fire World, Volume 13 Issue 4, 1998.

PASCON, E. Sistemas de Proteção contra Explosões. 2011.

RANGEL, Estellito. - Inspeção planejada: minimizando os riscos de explosão nas indústrias e sua aplicação para a otimização dos

investimentos e dos seguros. In: II ENCONTRO NACIONAL SOBRE PREVENÇÃO DE EXPLOSÕES, 2003, São Paulo, 2003.

SÁ, A. Efeito Devastador. Revista Proteção, São Paulo, n. 181, pg.63. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/silo.htm>> acesso em 27 jun. 2018. 2007.

SÁ, A. Explosões: o perigo dos grãos. Revista Proteção, 98. Recuperado em 01 de abril de 2018, de <http://www.safetyguide.com.br/artigos/explograos.htm>. 1998.

SÁ, A. Risco de explosão. Revista Proteção, 61. Recuperado em 01 de abril de 2018, de <http://www.safetyguide.com.br/artigos/perigexpl.htm>. 1997.

SHINKLE, T. (2001). Changing technology requires a new look at enterprise email management. Pleasanton, CA: TrueArc, Inc. (Documentum).

SOBRAL, E. Há um ano a NBR 16385 está em vigor, graças ao comitê CEE 80, da ABNT. Recuperado em 27 de junho de 2018, de <http://segurancaocupacionais.com.br/ha-um-ano-a-nbr-16385-esta-em-vigor-gracas-ao-comite-cee-80-da-abnt/>. 2016.

VIJAYARAGHAVAN, G. Impact assessment, modelling, and control of dust explosions in chemical process industries, MTech Thesis, Department of Chemical Engineering, Coimbatore Institute of Technology, 2004.

ANEXO A – P&ID DO ESTUDO DE CASO

