



Falhas no Sistema de Gestão de Segurança de
Processos: Estudo de Caso de Acidente em
Planta de Produção de Inseticida

Camila da Silva Grangeia

Projeto Final de Curso

Orientador

Prof. Carlos André Vaz, D. Sc.

Fevereiro de 2020

FALHAS NO SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS: ESTUDO DE CASO DE ACIDENTE EM PLANTA DE PRODUÇÃO DE INSETICIDA

Camila da Silva Grangeia

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Armando Lucas Cherem da Cunha, D.Sc.

Yordanka Reyes Cruz, D. Sc.

Orientado por:

Carlos André Vaz, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Fevereiro, 2020

Grangeia, Camila da Silva

FALHAS NO SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE
PROCESSOS: ESTUDO DE CASO DE ACIDENTE EM PLANTA DE
PRODUÇÃO DE INSETICIDA: / Camila da Silva Grangeia - Rio de
Janeiro: UFRJ/EQ, 2020.

xii 60 p .: il

Orientador: Carlos André Vaz Junior

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Escola de Química, 2020

1. Segurança de Processo.
2. Gerenciamento de Segurança de
Processo Baseado em Riscos.
3. Inseticida.
4. Vazamento tóxico.
5. Junior, Carlos André Vaz. I. Título.

Dedicatória

“Às mulheres inspiradores que não estão mais presentes, mas que certamente desfrutariam desse momento comigo: minha avó Maria da Anunciação e minha tia Célia Costa.”

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Carmen, exemplo de ética, força e determinação. Agradeço por sempre me mostrar o certo e o errado e pelo incentivo em todas as etapas da minha vida. Se eu chegar a um terço do que você representa pra mim a vida já terá valido a pena.

Ao meu pai, Mario, minha referência de dedicação e amor pela profissão da engenharia. Obrigada pelas gambiarras, que me ensinaram que problemas – apesar de complicados – podem ser resolvidos, pelas conversas após as incansáveis voltas do Fundão às 22h e pelo incentivo ao longo desse curso. Orgulho em sermos companheiros de profissão!

Aos meus irmãos, amigos e grandes parceiros, Carol e Gabriel, pelo apoio incondicional na faculdade e na vida. Obrigada por acompanharem minha evolução, tornarem meus dias mais leves, descontraídos e pelas conversas construtivas.

Ao meu companheiro, Ícaro, por todo amor, carinho e paz transmitidos nesta reta final.

Ao meu orientador, Carlos André Vaz, pela oportunidade, dedicação, apoio e orientação exemplar neste trabalho.

Às incríveis meninas do CEFETEQ, Gabrielle Melo, Juliana Bosco, Natasha Fernandes e Nathalia Oliveira, pela amizade que perdura tantos anos e já passou por inúmeras fases, transformações e etapas: aqui está mais uma.

À todas amizades construídas ao longo dos anos na UFRJ, dentro e fora das salas, pelos momentos de descontração, diversão, aprendizado, estudo e por tornarem o Fundão um lugar menos estressante e mais acolhedor, em especial ao Bruno Abreu, Bruna Conrado, Breno Rubim, Camila Martins, Gabriel Marinho, Guilherme Tavares, Jorge Bezerra, Juliana Pereira, Letícia Ribeiro, Luiz Aires, Nelson Bernardo, Raíssa Rocha, Victor Araujo, sobreviventes da turma EQN 13.2 e à equipe de natação da Engenharia UFRJ.

Ao ensino público, gratuito e de qualidade, que desde os tempos de Escola Técnica até a graduação me apresentou tantas pessoas, oportunidades, histórias e realidades que possibilitaram eu me tornar a pessoa que sou hoje.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento pessoal, profissional e acadêmico até aqui.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

**FALHAS NO SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS:
ESTUDO DE CASO DE ACIDENTE EM PLANTA DE PRODUÇÃO DE
INSETICIDA**

Camila da Silva Grangeia

Fevereiro, 2020

Orientador: Carlos André Vaz, D.Sc.

A ocorrência de grandes acidentes na indústria fez com que o tema de segurança de processos, que se diferencia da segurança ocupacional, venha se desenvolvendo entre as entidades e organizações até a criação de diversos modelos para seu gerenciamento. A implementação eficaz destes sistemas de gerenciamento pode ajudar a prevenir acidentes através da aplicação de alguns princípios. O presente trabalho visa avaliar as falhas que culminaram no acidente de vazamento tóxico em uma planta de produção de inseticida sob a perspectiva do Sistema de Gestão de Segurança de processos Baseado em Riscos. Concluiu-se que a implementação deste modelo apresentou graves falhas em elementos importantes de gerenciamento de risco como gestão de mudança de processos, procedimentos operacionais, na forma como a organização conduzia suas políticas de cultura em segurança de processo e no aprendizado com a experiência de outros acidentes, – da DuPont e de outras empresas - que apresentaram falhas similares àquelas vistas em La Porte.

Palavras-chave: Segurança de Processo, Gerenciamento de Segurança Baseado em Risco, Inseticida, Vazamento tóxico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo.....	4
1.2. Metodologia.....	4
1.3. Estrutura do trabalho.....	4
2. GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADA EM RISCOS	6
2.1. Comprometimento com a Segurança do Processo.....	8
2.1.1. <i>Cultura de Segurança de Processo</i>	8
2.1.2. <i>Conformidade com Padrões e Normas</i>	8
2.1.3. <i>Competência em Segurança de Processo</i>	9
2.1.4. <i>Participação da Força de Trabalho</i>	9
2.1.5. <i>Abrangência às Partes Interessadas</i>	10
2.2. Compreensão dos Riscos e Perigos.....	10
2.2.1. <i>Gestão do Conhecimento de Processo</i>	10
2.2.2. <i>Identificação de Perigos e Análise de Risco</i>	11
2.3. Gestão de Risco.....	11
2.3.1. <i>Procedimentos Operacionais</i>	11
2.3.2. <i>Práticas de Trabalho Seguro</i>	12
2.3.3. <i>Integridade de Ativos e Confiabilidade</i>	12
2.3.4. <i>Gestão de Contratadas</i>	13
2.3.5. <i>Garantia de Treinamento e Performance</i>	13
2.3.6. <i>Gestão de Mudanças (MOC)</i>	14
2.3.7. <i>Prontidão Operacional</i>	15
2.3.8. <i>Realização das Operações</i>	15
2.3.9. <i>Gestão de Emergências</i>	16
2.4. Aprendizados com a experiência.....	16
2.4.1. <i>Investigação de Acidentes</i>	17

2.4.2.	<i>Medidas e Métricas</i>	17
2.4.3.	<i>Auditoria</i>	17
2.4.4.	<i>Análise da Gestão e Melhoria Contínua</i>	18
2.5.	Relação entre os elementos	18
2.5.1.	Cultura de Segurança de Processos	19
2.5.2.	Integridade de Ativos e Confiabilidade	20
2.5.3.	Gestão do Conhecimento de Processo.....	21
2.5.4.	Procedimentos Operacionais.....	21
2.5.5.	Realização das Operações.....	21
2.5.6.	Gestão de Mudanças.....	22
2.5.7.	Gestão de emergência.....	23
2.5.8.	Auditoria.....	23
3.	ESTUDO DE CASO	24
3.1.	Breve Resumo do Acidente	24
3.2.	Histórico de Acidentes da Dupont	24
3.2.1.	<i>Belle, Virgínia Ocidental</i>	24
3.2.1.1.	Vazamento de Cloro Metano	25
3.2.1.2.	Vazamento de Ácido Sulfúrico Fumegante	25
3.2.1.3.	Vazamento de Gás Fosgênio.....	26
3.2.2.	<i>Buffalo, Nova Iorque</i>	28
3.3.	Visão Geral do Processo de La Porte, Texas	30
3.4.	Descrição do Acidente de La Porte, Texas	37
3.5.	Recomendações da Investigação do acidente de La Porte, Texas	44
4.	FALHAS NO SISTEMA RBPS NO ACIDENTE DE LA PORTE	47
4.1	Fornecimento de Matéria Prima	47
4.2	Reinício da Unidade.....	48
4.3	Abertura da Válvula.....	48

4.4	Entupimento da linha de alimentação	49
4.5	Novo Alinhamento de Tubulação	50
4.6	Lavador de Gases - NRS	51
4.7	Sistema de Ventilação	52
4.8	Prédio de Produção	52
4.9	Análise Geral dos Elementos	53
5.	CONCLUSÃO	56
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Roda PSM da DuPont. Fonte: DuPont	3
Figura 2 - Diagrama de algumas relações entre os 20 elementos da abordagem RBPS. 19	
Figura 3 – Mangueiras de transferência nos cilindros ativos de fosgênio. Modificado de CSB, 2011	27
Figura 4 – Imagem pós-acidente envolvendo explosão do tanque com gases inflamáveis. Modificado de CSB, 2012.....	28
Figura 5 – Reservatórios de produto PVF (“slurry tanks”) após a reação de conversão. Fonte: CSB, 2012.....	29
Figura 6 – Unidade de produção do inseticida Lannate®. Fonte: CSB, 2019	31
Figura 7 – Tanque de armazenamento de metil mercaptano na fábrica de LaPorte, Texas destacado em amarelo. Fonte: CSB, 2015.....	32
Figura 8 – Esquema do sistema de exaustão do prédio de produção de Lannate®. Modificado de CSB, 2015.....	33
Figura 9 – Lavador de Gases (NRS) instalado na planta de LaPorte em 2011 para redução das emissões. Fonte: CSB, 2015.....	34
Figura 10 – Alinhamentos da tubulação de alimentação de metil mercaptano, de gases residuais e as válvulas de alívio. Modificado de CSB, 2016.	35
Figura 11 - Linha de ventilação de gases residuais conectada à tubulação com destino ao incinerador NRS no terceiro andar do prédio de produção. Válvulas de drenagem da linha de ventilação de gases residuais e do Incinerador destacadas em vermelho. Modificado de CSB, 2019.....	35
Figura 12 – Parte da animação da CSB descrevendo a obstrução na linha do sistema de reação. Fonte: CSB, 2016.....	38
Figura 13 – Mangueira de água quente na linha de alimentação de metil mercaptano ao sistema de reação como estratégia de dissociar o hidrato formado. Fonte: CSB, 2015. 39	
Figura 14 – Representação visual do alinhamento da tubulação que permitia o fluxo de metil mercaptano líquido da linha de alimentação (azul) para a tubulação coletora de gases residuais (laranja) devido a abertura da válvula 1 (vermelho). Modificado de CSB, 2016	40
Figura 15 – Foto dos respiradores usados pelo operador 6 para resgate dos operadores dentro do prédio de produção. Fonte: CSB, 2019	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Pilares da Segurança de Processo Baseada em Risco (Adaptado de CCPS/AIChE, 2007).....	7
Tabela 2 – Principais elementos de falha do acidente de La Porte.....	54

NOMENCLATURA

AIChE - *American Institute of Chemical Engineers*

APR – *Análise Preliminar de Risco*

PHA – *Process Hazard Analysis*

CCPS - *Center for Chemical Process Safety*

CSB – *Chemical Safety Board*

ERT – *Emergency response team*

HAZOP - *Hazard and Operability Analysis*

ISD – *Inherently Safety Design*

MOC - *Management Of Change*

NO_x – *Óxidos de nitrogênio*

NRS – *NO_x reducing scrubbed*

OAA – *Acetaldehyde Oxime*

OSHA – *Occupational Safety and Health Act*

PSM – *Process Safety Management*

RBPS - *Risk-Based Process Safety*

1. INTRODUÇÃO

A indústria química possui processos cujos sistemas e tecnologias associados podem falhar, representando perigos com potencial impacto aos empregados, à comunidade vizinha e ao meio ambiente. Os acidentes industriais surgem com o próprio processo de industrialização e desenvolvimento de novas tecnologias de produção a partir da revolução industrial (SOUZA, 2013). Dessa maneira, após a ocorrência de inúmeros acidentes que causaram impactos devastadores a algumas empresas, a indústria começou a gerar relatórios e guias que ressaltavam a importância de um eficaz sistema de gerenciamento de segurança de processo através de importantes associações como HSE (*Health and Safety Executive*), CCPS (*Center for Chemical Process Safety*) e OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) (MUNIZ, 2016).

Segundo SOUZA (2013) a ênfase das empresas, na maior parte das vezes está voltada para a continuidade operacional da planta, ou seja, a preocupação na confiabilidade da planta para que a produção ocorra dentro de uma carga de referência programada para o período e também para que os tempos de parada de manutenção sejam obedecidos. Neste contexto, a segurança de processo passa ser vista como um meio para atingir a produção. Isoladamente, isto não está equivocado, uma vez que a atividade fim da empresa é sua produção. Entretanto, o que ocorre é que por vezes os riscos podem ser negligenciados em nome da produção ou por falta de conhecimento de Segurança de Processo de quem está tomando a decisão.

Ressalva-se aqui a importância de distinguir que nem todos os riscos ou perigos são iguais ou causam as mesmas consequências. Perigos ou riscos pessoais/ocupacionais geralmente produzem efeitos sobre um único trabalhador, como por exemplo quedas, cortes, acidentes com veículos. Já os perigos ou riscos de processo ocasionam acidentes maiores, podendo contar com a liberação de materiais potencialmente perigosos, incêndios e explosões (BEACON, 2008). Segundo KERIN (2017) três principais fatores ajudam a diferenciar a segurança de processos da segurança ocupacional. Primeiramente o mecanismo da causa, pois a segurança de processos geralmente se trata sobre gerenciar níveis mais altos de energia. A escala das potenciais consequências é o segundo fator à medida que os acidentes envolvendo segurança de processos são menos comuns que os acidentes ocupacionais, logo suas consequências são propensas a serem mais graves. E o último é o foco na engenharia e projeto, uma vez que a segurança de processos foca na

segurança do sistema como um todo e a ocupacional é apenas direcionada àqueles que interagem com o sistema.

De acordo com a definição da CCPS (*Center for Chemical Process Safety*) segurança de processos “é sobre gerenciar a integridade de sistemas operacionais através da aplicação de princípios de design inerentemente seguros, engenharia e práticas de disciplina operacional. Isso lida com prevenção e mitigação de acidentes que tem potencial de perda de controle de um material perigoso ou energia. Essa perda de controle pode levar a consequências severas com incêndios, explosões e/ou efeitos tóxicos, podendo resultar em perda de vidas, ferimentos graves, danos materiais extensos, impactos ambientais e perda de produção associada a impactos financeiros e de reputação”.

Dessa maneira, torna-se importante um gerenciamento de segurança de processo eficaz e focado na prevenção e mitigação de acidentes na indústria. Alguns dos principais guias para gerenciamento de segurança de processo com significativa relevância e abrangência internacional são o PSM (*Process Safety Management*), desenvolvido pela OSHA em 1992, e o RBPS (*Risk Based Process Safety*) publicado em 2007 pela CCPS, cujos princípios e elementos são objeto de estudo do presente trabalho.

Além dos sistemas de entidades e órgãos regulatórios comumente tomados como referência na indústria, as organizações também podem desenvolver seus próprios sistemas de gerenciamento de segurança de processos. Como é o caso da DuPont, que na década de 90 desenvolveu um sistema corporativo de gerenciamento de segurança de processos baseado na integração de alguns requisitos regulatórios e elementos voluntários, como os da abordagem RBPS por exemplo (KLEIN, 2009). Este sistema, que foi sendo atualizado até o que é visto hoje, é usualmente representado pelo que se chama de Roda PSM, na qual seus 14 elementos estão dispostos ao redor dos raios da roda conforme apresentado na Figura 1. Sua representação demonstra a importância de uma liderança e compromisso com o gerenciamento, necessários para implementar e manter o programa PSM de forma bem-sucedida. A disciplina operacional é representada como o elo da roda, conectando todos os elementos ao valor central, que é a liderança e o comprometimento do gerenciamento.

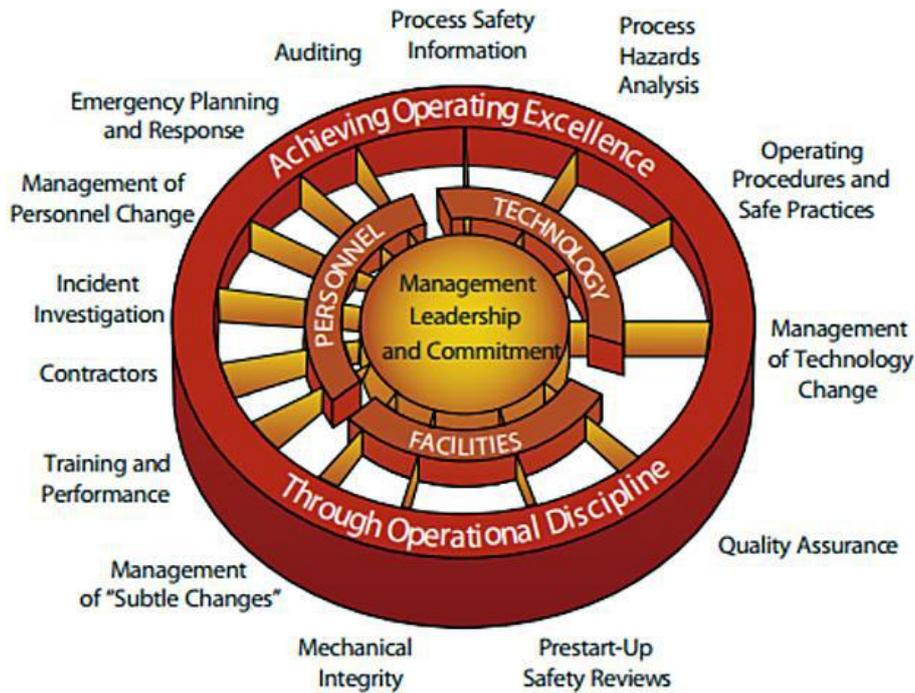


Figura 1 – Roda PSM da DuPont. Fonte: DuPont

De acordo com KLEIN (2009) um dos fatores motivadores que levaram a DuPont, que já tinha segurança de processos como valor central desde os primórdios de sua criação, a criar um sistema de gerenciamento de segurança de processos interno foi o vazamento tóxico de metil isocianato (MIC) em Bhopal, Índia, em 1984 (UNION CARBIDE, 2020). As devastadoras consequências do acidente mais grave da história da indústria química provocaram uma resposta imediata na empresa, que formou comitês responsáveis pela revisão das suas operações mundialmente. Na época, a DuPont também utilizava MIC como matéria prima para produção de alguns de seus inseticidas. Então, além de rever a segurança de processos de suas unidades, investiu em pesquisas para o desenvolvimento de novos processos capazes de usar substâncias menos nocivas como matéria prima, eliminando os riscos inerentes ao armazenamento de MIC em suas instalações.

Neste contexto, entende-se a importância de um gerenciamento de segurança de processos eficaz na indústria química, mais especificamente em unidades industriais responsáveis pela produção de defensivos agrícolas devido aos perigos e riscos associados aos seus processos produtivos.

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar as falhas de um acidente de vazamento de metil mercaptano em uma unidade de produção de inseticida sob a perspectiva dos elementos do sistema de Gerenciamento de Segurança de Processos Baseado em Riscos.

1.2. Metodologia

A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho foi a realização de um estudo de caso do vazamento tóxico ocorrido na unidade de produção de inseticida da DuPont, em La Porte (Texas, Estados Unidos) focado na análise da gestão de segurança de processos. O relatório de investigação do acidente forneceu as informações necessárias para a apresentação e análise dos eventos, possibilitando então a associação das causas com os elementos da abordagem RBPS que falharam.

1.3. Estrutura do trabalho

A introdução do trabalho apresenta um panorama geral acerca do assunto de segurança de processos, enfatizando nos sistemas de gerenciamento e exemplificando alguns modelos, como a abordagem RBPS e o sistema existente na DuPont. É abordado, ainda, como a importância de um gerenciamento eficaz pode assegurar operações seguras na indústria de produção de inseticidas. O capítulo também contém os objetivos e metodologias que tornaram possíveis a realização deste trabalho.

No capítulo 2 realizou-se uma apresentação dos fundamentos do Gerenciamento de Segurança de Processos Baseado em Risco, onde são apresentados os conceitos teóricos e princípios de cada pilar e elemento desta abordagem. É feita ainda uma análise de como os elementos se relacionam entre si a fim de mostrar a importância de uma gestão completa e eficaz.

O capítulo 3 apresenta a descrição dos eventos que culminaram no acidente foco deste trabalho bem como informações relevantes acerca do processo e recomendações da investigação. Além disso, retoma-se um breve histórico de dois acidentes anteriores ocorridos em unidades industriais da DuPont, que são sucintamente apresentados através de seus eventos e causas.

No capítulo 4 é realizado uma análise dos principais elementos do gerenciamento RBPS que falharam em cada evento ocorrido no dia do acidente e também nos sistemas

existentes na unidade de produção de inseticida. Discute-se também algumas falhas ocorridas em acidentes conhecidos na indústria que se repetiram em La Porte.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais obtidas a partir das discussões dos elementos que falharam e sobre a importância da implantação de um sistema de gestão eficaz e capaz de prevenir acidentes como o de La Porte.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para realização deste trabalho.

2. GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADA EM RISCOS

A gestão de segurança de processos tem desempenhado um papel fundamental na prevenção e mitigação de acidentes na indústria e tem evoluído principalmente devido a demandas de órgãos e entidades ambientais, da sociedade e das próprias empresas em evitar acidentes (MUNIZ, 2016). Por muitos anos diversas práticas de segurança de processos e sistemas de gerenciamento de segurança vem sendo implantadas na indústria química. Porém, muitas companhias continuam sendo desafiadas por uma performance ineficaz. Segundo o histórico de investigações de acidentes, o desempenho inadequado do sistema de gerenciamento é um dos principais fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes (AIChE/CCPS, 2007).

De acordo com AIChE/CCPS (2007), a gestão de Segurança de Processos é amplamente reconhecida como responsável pela redução do risco de acidentes de grandes proporções e pelo processo de melhoria da performance da indústria, sendo então totalmente relacionada com operar seguro.

Devido a essa e outras razões o Centro de Segurança de Processos Químicos (CCPS) criou uma estrutura de gerenciamento de segurança de processos baseada em riscos, denominada RBPS (*“Risk Safety Based Process Safety”*). A abordagem RBPS reconhece que não há perigos e riscos iguais em uma operação, dessa forma recomenda direcionar os recursos de maneira a focar os esforços para os de maior magnitude (CCPS/AIChE, 2007). De acordo com FRANK (2007), as diretrizes da RBPS apresentam ideias que podem ajudar as organizações a obter melhores resultados, apesar dos poucos recursos disponíveis para o gerenciamento de segurança de processos. Dessa maneira, o sistema se concentra na melhoria da eficácia, que é definida como uma função da performance e da eficiência.

A abordagem RBPS é estruturada em 20 elementos que estão distribuídos em quatro pilares fundamentais, a Tabela 1 apresenta detalhadamente cada um deles.

Tabela 1 – Pilares da Segurança de Processo Baseada em Risco (Adaptado de CCPS/AIChE, 2007)

Comprometimento com a Segurança do Processo
<ul style="list-style-type: none"> • Cultura de Segurança de Processo • Conformidade com Padrões e Normas • Competência em Segurança de Processo • Participação da Força de Trabalho • Abrangência às Partes Interessadas
Compreensão dos Riscos e Perigos
<ul style="list-style-type: none"> • Gestão do Conhecimento de Processo • Identificação de perigos e Análise de Risco
Gestão do Risco
<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos Operacionais • Práticas de Trabalho Seguro • Integridade de Ativos e Confiabilidade • Gerenciamento de Contratadas • Garantia de Treinamento e Performance • Gestão de Mudanças (MOC) • Prontidão Operacional • Realização da Operações • Gestão de Emergências
Aprendizados com a experiência
<ul style="list-style-type: none"> • Investigação de Acidentes • Medidas e Métricas • Auditoria • Análise da Gestão e Melhoria Contínua

Os elementos do RBPS devem ser aplicados durante todo o ciclo de vida do processo e são usados para projetar, corrigir ou melhorar o sistema de gerenciamento de segurança de processos. Esses elementos são baseados na compreensão: (1) dos riscos associados às instalações e operações, (2) da demanda por atividades de segurança de processos e dos recursos necessários para as mesmas e (3) de como estas atividades são influenciadas pela cultura de segurança de processo dentro da organização (CCPS/AIChE, 2007).

Para cada elemento do RBPS existem princípios chaves associados à sua implementação e ainda atividades necessárias para apoiar estes princípios (FRANK, 2007). Os itens posteriores irão abordar mais detalhadamente cada um dos pilares, seus respectivos elementos e as atividades que suportam o desenvolvimento de seus princípios.

2.1. Comprometimento com a Segurança do Processo

De acordo com CCPS/AIChE (2007) o compromisso com a segurança do processo é a chave para uma gestão de excelência. Não existe melhoria em uma organização sem uma liderança forte e compromisso sólido, então toda a organização deve estar igualmente comprometida. Desta maneira, a força de trabalho se certificará que a organização apoia totalmente a segurança como um valor essencial e, conseqüentemente, tenderá a seguir os procedimentos da maneira correta mesmo quando não está sob supervisão. Uma vez incorporado à cultura da empresa, esse compromisso com a segurança pode ajudar a manter o foco na excelência dos aspectos mais técnicos da segurança do processo.

2.1.1. Cultura de Segurança de Processo

O primeiro elemento do primeiro pilar é definido por CCPS/AIChE (2007) como a combinação do grupo de valores e comportamentos que determinam a maneira pela qual a segurança de processos é gerenciada. Em linhas gerais trata-se de “como as coisas são realmente feitas e como os funcionários se comportam quando não estão sendo observados”. Entende-se que a organização deve fornecer um ambiente positivo no qual funcionários de todos os níveis estejam comprometidos com a segurança de processos, começando pelos cargos mais altos (AIChE/CCPS, 2007).

Decisões de gerenciamento que aparentam colocar a produção ou custo antes da segurança, e violações sistemáticas e generalizadas de procedimentos são alguns sintomas de fatores culturais de segurança mal desenvolvidos (HSE, 2005). Fraquezas na cultura de processos podem atribuir pouca credibilidade à importância da segurança de processo, ao passo que uma cultura forte pode atribuir um imperativo moral às responsabilidades da organização por operações seguras (FRANK, 2007).

Atividades que podem ser desenvolvidas pelas organizações a fim de suportar os valores deste elemento são: desenvolvimento ou implantação de programas corporativos de cultura de segurança de processos (palestras, workshops), identificar os problemas da cultura de segurança do processo e estimular mudanças corporativas, realização de ações formais para identificação de lacunas e, então, a recomendação de melhorias (CROWL; LOUVAR, 2019).

2.1.2. Conformidade com Padrões e Normas

É necessário que a operação esteja de acordo com todas as regulamentações, leis, padrões e normas aplicáveis para que a operação seja considerada segura. A organização que

deseja que seu o processo seja correto e consistente ao longo do seu ciclo de vida deve ir em busca das normas específicas que afetam a segurança do processo. Isso ajuda a companhia a operar e manter uma instalação segura e ainda minimizar sua responsabilidade legal (AIChE/CCPS, 2007).

A interpretação ou aplicação de normas para uso interno e o desenvolvimento de um sistema capaz de identificar as normas e, uniformemente, administrá-las e manter a informação, são alguns exemplos de medidas que podem ser tomadas pelas organizações para atender a este elemento (CROWL; LOUVAR, 2019).

2.1.3. Competência em Segurança de Processo

Trata-se de habilidades e recursos que a organização necessita ter para gerenciar seus riscos de processos. A organização deve aprimorar continuamente o conhecimento e a competência em segurança de processo assegurando que as informações apropriadas estejam disponíveis para os que precisam e aplicando efetivamente as lições aprendidas (AIChE/CCPS, 2007).

Algumas medidas que se relacionam com este valor, de acordo com CROWL; LOUVAR (2019), são:

- Desenvolvimento de programas de treinamento para aumento do nível de competência dos funcionários;
- Desenvolver perfis competentes para posições cruciais de segurança de processos;
- Avaliar a unidade a fim de determinar falhas na competência de segurança de processos;
- Aplicar continuamente o que foi aprendido.

2.1.4. Participação da Força de Trabalho

Este elemento trata de promover o envolvimento ativo dos funcionários das áreas de operação e manutenção nas atividades ligadas à segurança do processo, garantindo que as lições aprendidas pelos mais próximos do processo sejam consideradas e abordadas na operação.

Atividades que alertem os funcionários das oportunidades que podem contribuir para a segurança do processo como, por exemplo, o fornecimento de *feedbacks* por parte dos operadores e o acompanhamento até sua resolução são algumas das medidas que envolvem a força de trabalho. Além disso, supervisores podem regularmente liderar

discussões em torno do tema com suas equipes de trabalho a fim de estimular essa participação (CROWL; LOUVAR, 2019).

2.1.5. Abrangência às Partes Interessadas

O quinto, e último elemento, do pilar de comprometimento com a segurança do trabalho refere-se ao gerenciamento das partes interessadas. É necessário identificar e envolver estes grupos no que se refere a segurança do processo, assegurando que a instalação possui um bom relacionamento com os acionistas, grupos industriais, governamentais, comunidade do entorno, fornecedores de matérias-primas e público relevante. Dessa maneira, medidas como transparência de informações sobre a companhia e suas instalações, processos, perigos e riscos se fazem necessárias para que estes grupos interessados estejam cientes dos riscos associados ao processo e dos planos de emergência que a organização possui para enfrentamento dos mesmos (CROWL; LOUVAR, 2019).

2.2. Compreensão dos Riscos e Perigos

Organizações que entendem os perigos e riscos são mais capazes de alocar os recursos de segurança de processos, que geralmente tendem a ser limitados, de maneira mais eficiente. Dados da indústria indicam que negócios que usam informações de perigos e riscos para planejar, desenvolver e manter operações com riscos reduzidos são muito mais propensas a obter sucesso durante muito tempo (AIChE/CCPS, 2007).

2.2.1. Gestão do Conhecimento de Processo

Este primeiro elemento do pilar consiste na definição de procedimentos de elaboração, divulgação, atualização, controle e acesso a todas as documentações e informações necessárias para execução das atividades de segurança do processo. Um gerenciamento de processos não pode ser realizado sem o conhecimento aprofundado e acurado dos perigos e riscos que envolvem o processo (AIChE/CCPS, 2007).

Segundo AIChE/CCPS (2007) o operador deve ser responsável por desenvolver, documentar e resguardar o conhecimento do processo de maneira organizada durante todo o ciclo de vida da unidade. Trata-se de registrar todo o processo de maneira que o acesso às informações não seja de exclusividade de um seleto grupo de funcionários. Tais informações, devidamente atualizadas e corretas, devem estar prontamente disponíveis para aqueles que precisarem delas para executar seus trabalhos de segurança.

As atividades associadas a este pilar podem ser destacadas como: validação dos P&IDs existentes com a configuração atual da planta, armazenamento de memórias de cálculo, informações do projeto, elaboração de normas internas para a companhia, atualização do após o gerenciamento de mudanças (MOC) e desenvolvimento de um banco de dados acessível (CROWL; LOUVAR, 2019).

2.2.2. *Identificação de Perigos e Análise de Risco*

O segundo elemento do pilar pode ser um dos mais importantes da abordagem RPBS (AIChE/CCPS, 2007). Consiste na identificação dos cenários acidentais, suas causas e potenciais consequências. Baseado nisso, tem-se recomendações que visam reduzir ou eliminar os perigos, reduzir as consequências e a frequência de ocorrência.

A prática de identificação e análise de riscos deve ser conduzida em todas as fases do ciclo de vida da instalação. De acordo com AIChE/CCPS (2007) há três perguntas essenciais que devem ser levadas em consideração nesses estudos: “Perigo: O que pode dar errado?”; “Consequências: Quão ruim isso pode ser?”; “Probabilidade: Quantas vezes isso pode acontecer?”. Basicamente análises de risco qualitativas podem ser conduzidas através de metodologias como HAZOP, *Check-list*, *What-if*, mapa de risco e APR.

CROWL e LOUVAR (2019) destacam algumas ações que a organização pode tomar para atender aos princípios deste elemento:

- Desenvolver e/ou implementar métodos e procedimentos corporativos para análise e avaliação de riscos;
- Desenvolvimento de simulações de avaliação das consequências;
- Análise preliminar dos riscos e perigos do processo;

Além disso, é necessário comunicar os resultados das análises de risco internamente e externamente, bem como manter estas avaliações registradas e acessíveis.

2.3. Gestão de Risco

O terceiro pilar da abordagem RBPS consiste em auxiliar as organizações e instalações a implantar sistemas de gerenciamento que ajudem a sustentar operações lucrativas e de longo prazo.

2.3.1. *Procedimentos Operacionais*

O primeiro elemento do pilar gestão de risco baseia-se nas instruções escritas (incluindo procedimentos armazenados eletronicamente e impressos sob demanda) que tem por

objetivo listar os passos para uma determinada tarefa e descrever a maneira na qual esses passos devem ser executados. Esses procedimentos devem fornecer ainda instruções sobre resolução de problemas para casos que o sistema não responde conforme o esperado. De maneira geral, os procedimentos devem descrever tarefas que seguramente iniciam, operam e param os processos, incluindo a parada de emergência.

Sendo assim, de acordo com CROWL e LOUVAR (2019), a fim de atender este elemento da abordagem RBPS cabe à organização:

- Escrever ou revisar os procedimentos de operação tornando-os claros e mais utilizáveis;
- Atualizar os procedimentos operacionais para a unidade em casos de mudanças;
- Identificar os limites seguros de operação para a unidade.

2.3.2. Práticas de Trabalho Seguro

A abordagem RBPS necessita de procedimentos que sejam seguros ao longo de todo o ciclo de vida do processo. Dessa maneira, este elemento consiste em estabelecer um sistema de controle para gerenciar atividades em ambientes de perigo. As atividades que forem identificadas em áreas de risco devem contemplar medidas extras de precaução para que o trabalho seja realizado com segurança como, por exemplo, autorizações, permissões para trabalho e permissões para trabalho à quente.

Segundo CROWL e LOUVAR (2019), medidas como desenvolvimento de uma política corporativa de permissão de trabalho, auditar e melhorar as práticas de trabalho seguro, treinar os operadores e contratados, controle de acesso a áreas particularmente perigosas, revisão de permissões, reforço do uso de procedimentos de trabalho seguro e outras normas são alguns exemplos para uma organização atender a este elemento.

2.3.3. Integridade de Ativos e Confiabilidade

É a implementação sistemática de atividades como inspeções, manutenções e testes necessários para garantir que equipamentos importantes estarão disponíveis quando necessário. A intenção do elemento integridade de ativos é a de determinar com um grau de certeza razoável que o equipamento esteja apto para o serviço e continue até, no mínimo, a data da próxima inspeção ou teste (AIChE/CCPS, 2007).

A organização ou unidade, a fim de atender os princípios deste elemento, pode adotar as seguintes medidas (CROWL; LOUVAR, 2019):

- Planejamento de manutenções e atividades de reparo;
- Revisão dos relatórios de testes e inspeções e realização de recomendações;
- Identificação de falhas crônicas através de metodologias estruturadas;
- Desenvolvimento de práticas, procedimentos e estratégias para gerenciamento da integridade da unidade;
- Condução de inspeções ou testes adicionais, caso necessário;
- Encaminhar prontamente as condições que podem levar às falhas;

2.3.4. Gestão de Contratadas

O quarto elemento do pilar de gestão de riscos é o gerenciamento de contratadas ou terceirizadas. São práticas que garantem que trabalhadores contratados possam executar seus trabalhos de forma segura e que seus serviços não oferecem riscos operacionais adicionais à unidade. Garante ainda que o processo não coloque em risco os terceirizados.

Para isso, além de auditar os contratados para segurança, a organização pode desenvolver recomendações e ações a fim de melhorar a performance do contratado ou ainda desenvolver requisitos de segurança de processos que devem ser atendidos para contratação de novo pessoal terceirizado (CROWL; LOUVAR, 2019).

2.3.5. Garantia de Treinamento e Performance

Treinar trabalhadores e assegurar performances confiáveis para tarefas críticas é um dos nove elementos do pilar gerenciamento do risco. De acordo com CROWL e LOUVAR (2019), trata-se de instruções práticas no trabalho, tarefas, requisitos e métodos para operação e manutenção de trabalhadores, supervisores, engenheiros, líderes e outros profissionais. Este elemento também abrange a verificação de que as habilidades treinadas estão sendo praticadas com proficiência, ou seja, a garantia da performance.

A avaliação desta performance pode, caso necessário, servir de termômetro para aplicação de possíveis treinamentos adicionais. Os treinamentos podem ser aplicados em salas de aula ou no local de trabalho e tem como objetivo permitir que trabalhadores alcancem a performance mínima para manter a eficiência ou qualificá-los para posições mais altas. A organização pode promover o desenvolvimento de programas de treinamento em segurança de processos, determinar quais os treinamentos específicos para seu pessoal e

ainda os requisitos essenciais para os candidatos a determinada posição de trabalho (AIChE/CCPS, 2007).

2.3.6. *Gestão de Mudanças (MOC)*

Segundo AIChE/CCPS (2007) um dos principais elementos do pilar de gestão de riscos, e de toda a abordagem de Gestão da Segurança de Processos Baseada em Riscos (RBPS), é o de Gestão de Mudanças, ou MOC (“*Management of Change*”).

Toda instalação que realiza mudanças a fim de otimizar processos e melhorar operações (ex.: mudanças nas instalações, troca de fornecedores, equipamentos novos) está, naturalmente, sujeita a uma série de reparos, modificações estruturais, novos procedimentos e formas de operar. Tais mudanças podem ser peças chaves na introdução de novos riscos ao processo já estabelecido ou mesmo comprometer os sistemas de segurança já existentes. O sistema de gestão de mudanças estabelece procedimentos que identificam e controlam os perigos associados a estas mudanças (AIChE/CCPS, 2007).

Uma vez que as mudanças foram identificadas, revisadas e seus riscos avaliados, a gestão poderá então decidir reprovar o pedido de mudança, aprovar a mudança para implementação conforme requisitado ou requerer ajustes na solicitação.

Segundo CROWL e LOUVAR (2019), MOC é o processo de revisão e autorização das propostas de mudanças para projetos de instalação, operações ou atividades anteriormente às suas implementações, bem como a garantia de que a informação de segurança de processos foi atualizada de acordo. Algumas das características essenciais para um bom gerenciamento de mudanças pelas organizações estão listadas abaixo:

- Desenvolvimento de procedimentos corporativos para gestão de mudanças;
- Identificação do coordenador de MOC da unidade;
- Autorização das mudanças pelos superiores;
- Avaliação dos possíveis impactos da mudança;
- Aplicação de rigor técnico no processo de revisão da MOC;
- Atualização das documentações relacionadas;
- Comunicação das mudanças à Força de Trabalho;
- Manutenção dos registros da MOC;
- Participação do pessoal envolvido nas revisões de gestão de mudanças;
- Seguir um protocolo de aprovações de mudanças;

Segundo AIChE/CCPS (2011) os procedimentos de gestão de mudanças são exigidos em alguns dos seguintes casos:

- Alterações nos equipamentos, instalações, parâmetros operacionais fora dos limites definidos pelos estudos e documentos de segurança de processo da instalação;
- Modificações no controle de processos;
- Introdução de novos compostos químicos e/ou tecnologias
- Alterações nas especificações químicas ou fornecedores;

Uma gestão de mudanças apropriada pode reduzir efetivamente potenciais acidentes, à medida que uma gestão ineficiente, mesmo atendendo a requisitos regulatórios, pode deixar a unidade industrial ser operada com riscos substanciais (AIChE/CCPS, 2007).

2.3.7. *Prontidão Operacional*

O princípio deste elemento aponta que o sistema de gestão deve garantir que os processos que forem desligados sejam reinicializados de forma segura. A organização deve assegurar que o processo de *shutdown* da planta seja bem avaliado a fim de saber se as condições estão seguras para reinicialização da planta (AIChE/CCPS, 2007).

Desenvolvimento de planos de comissionamento e *startup*, identificação de informações críticas de segurança do processos necessárias para uma operação segura, realização de análises de segurança pré-inicialização e apenas iniciar um processo que estiver realmente pronto para operar são medidas que, segundo CROWL; LOUVAR (2019), devem ser seguidas para atendimento desse elemento do pilar gestão do risco da abordagem RBPS.

2.3.8. *Realização das Operações*

Conduzir as operações de forma altamente confiável é um dos nove elementos do pilar gestão de riscos. Segundo AIChE/CCPS (2007), esse elemento baseia-se na execução de tarefas operacionais e de gerenciamento de maneira estruturada, institucionalizando assim a busca pela excelência no desempenho de todas as tarefas.

Os líderes devem garantir que os funcionários executem as tarefas necessárias, evitando assim possíveis desvios do desempenho que são esperados através da prevenção do erro humano (SOUZA, 2013). Além disso, a organização deve ser capaz de implementar práticas destinadas a manter a disciplina operacional na instalação e conduzir imediatamente, caso necessário, planos de ação corretivos relacionados ao desempenho

das tarefas operacionais de segurança do processo. Uma comunicação confiável entre operadores, supervisores e grupos de trabalho também auxilia a garantir que todas as atividades de operação são seguramente controladas e planejadas.

2.3.9. *Gestão de Emergências*

Mesmo com o melhor planejamento e sistema preventivo possíveis dentro da unidade, a possibilidade de ocorrência de um acidente ainda existe e é de extrema importância que a organização seja estruturada de forma que a força de trabalho esteja apta a executar as ações de emergência. Uma gestão de emergência inclui o planejamento para possíveis emergências, fornecimento de recursos capazes de atender ao plano, praticar e melhorar continuamente o plano e, finalmente treinar os funcionários, contratados e pessoal envolvido no processo tange a responsabilidade de cada um, como serão notificados e como devem responder (AIChE, CCPS, 2007). Abaixo estão listadas algumas medidas específicas que podem auxiliar as organizações a atender os princípios deste elemento de acordo com as diretrizes da abordagem RBPS:

- Identificar os cenários de acidente baseados nos perigos;
- Planejar ações defensivas de resposta e desenvolver um plano de resposta à emergência;
- Testar periodicamente os planos e o nível de preparação dos envolvidos;
- Treinar os Times de Resposta a Emergência (ERT - *Emergency Response Team*);
- Designar responsabilidades e definir papéis dos funcionários em um cenário de emergência;
- Desenvolver um plano de resposta a emergência escrito e acessível a todos os funcionários.

2.4. *Aprendizados com a experiência*

O quarto e último pilar da abordagem RBPS envolve o aprendizado através de fontes internas ou externas. Sabe-se que, mesmo com os esforços das companhias, as operações nem sempre se comportam conforme o planejado, dessa forma a unidade deve estar preparada para transformar seus erros em oportunidades de melhoria da segurança de processos. Ações como aplicar as melhores práticas para tornar o uso dos recursos disponíveis o mais efetivo possível, corrigir deficiências expostas por acidentes internos e aplicar as lições aprendidas de outras organizações são algumas das maneiras mais efetivas de se aplicar este pilar de RBPS segundo as diretrizes da AIChE/CCPS (2007).

2.4.1. Investigação de Acidentes

Segundo AICHE/CCPS (2007) é de suma importância que a companhia, além de participar ativamente do processo investigativo, auxilie no desenvolvimento e na implementação de procedimentos corporativos para investigações de acidentes.

Dessa maneira, o processo de reportar, investigar, mapear os acidentes, identificar as causas raízes, tomar as ações corretivas, avaliar as tendências dos acidentes e comunicar as lições aprendidas suportam os princípios deste elemento (CROWL; LOUVAR, 2019).

2.4.2. Medidas e Métricas

O segundo elemento tem o objetivo de promover a melhoria contínua das condições de segurança das instalações a partir de um processo de estabelecimento e monitoramento de métricas, indicadores de desempenho e metas capazes de avaliar a eficácia do sistema de gerenciamento.

A organização deve atuar como personagem principal na coleta e geração dos relatórios de indicadores, bem como na definição do número apropriado, escopo, atualização, implementação e divulgação das métricas. As métricas devem ser tangíveis e utilizadas a fim de melhorar os elementos da abordagem RBPS. Se não direcionarem para correções ou melhorias, as métricas se tornam desperdício de recursos. Dessa forma, as instalações devem ganhar experiência a partir do monitoramento de certas métricas, para aprender o que suas variações significam e quando é indicado o uso de uma ação (AICHE/CCPS, 2007).

2.4.3. Auditoria

O penúltimo elemento da abordagem RBPS trata de ações para implementação de uma avaliação crítica do sistema de gerenciamento a fim de verificar se a organização executa o mesmo conforme pretendido.

Segundo as diretrizes da abordagem RBPS (AICHE/CCPS, 2007), fazem parte do escopo deste elemento: identificar quando uma auditoria é necessária, garantir uma implementação consistente, determinar o escopo e o cronograma da auditoria e gerenciar as ações corretivas geradas pelas auditorias.

O uso correto deste elemento aumenta a eficácia do sistema de gerenciamento de segurança de processos pois monitora os elementos do RBPS ao longo do tempo e divulga as melhores práticas (AICHE/CCPS, 2007).

2.4.4. *Análise da Gestão e Melhoria Contínua*

A revisão contínua do sistema de gerenciamento de segurança de processo da organização é o último elemento deste pilar. Além de avaliar se o sistema está sendo executado conforme planejado, há um esforço para produzir os resultados desejados o mais eficientemente possível.

O sistema deve ser projetado para detectar falhas nos elementos RBPS e, assim, corrigi-las antes que eventos mais graves ocorram. Dessa maneira é necessário um sistema para implementação de quaisquer planos resultantes de melhoria ou ação corretiva. Este sistema de revisão de gerenciamento, uma vez implementado, deve ser executado confiavelmente e suas revisões devem ser baseadas na percepção do risco de possíveis falhas em cada elemento e nas suas consequências. Isso porque, de acordo com as diretrizes RBPS (AIChE/CCPS, 2007), um sistema de gerenciamento de segurança pode ser seriamente deficiente, mas parecer satisfatório por medidas superficiais, ou seja, a documentação pode estar em dia e nenhum acidente grave foi registrado, fazendo com que a execução das tarefas do programa se tornem superficiais.

A AIChE/CCPS (2007) alerta que essa revisão é de propriedade do gerente da linha, entretanto pode ser facilitada pelo líder de segurança do processo. Abaixo ações que podem ser executadas para atendimento deste elemento:

- Validar a eficácia do programa definindo padrões para performance;
- Avaliar os resultados das análises e direcionar as recomendações e ações corretivas;
- Preparar, agendar, conduzir e documentar as revisões;
- Determinar o escopo das revisões e coletar as informações;
- Monitorar o desempenho da revisão a fim de fornecer indicador de sua eficácia para identificação de pontos fracos do sistema RBPS.

2.5. *Relação entre os elementos*

Uma organização que preze por um bom gerenciamento segurança de processos baseado em riscos deve contemplar os princípios e ações dos 20 elementos do RPBS descritos nos itens anteriores. Os elementos, por sua vez, apesar de estarem subdivididos em pilares relacionam-se fortemente entre si. A realização de uma análise macro acerca da

importância de cada pilar e os princípios de seus elementos dentro do gerenciamento de segurança de processos baseada em riscos leva a um melhor entendimento desta relação.

Segundo SOUZA (2013), boas respostas em elementos pontuais iludem a organização, fazendo-os acreditarem que estão com processos de gerenciamento de riscos excelentes. Entretanto, o sistema de gerenciamento só funcionará de forma adequada se todos os elementos estiverem funcionando. Todos os elementos da abordagem RBPS são importantes e devem ser abordados com a devida atenção (AIChE/CCPS, 2007).

Esta seção aborda algumas das relações existentes entre os 20 elementos. A Figura 2 apresenta um diagrama com todos os elementos e as relações discutidas aqui. Ressalta-se que a visão exposta nesta seção é apenas uma das possíveis visões acerca do tema. Em uma análise mais minuciosa e detalhada é possível estabelecer relações de todos os elementos entre si.

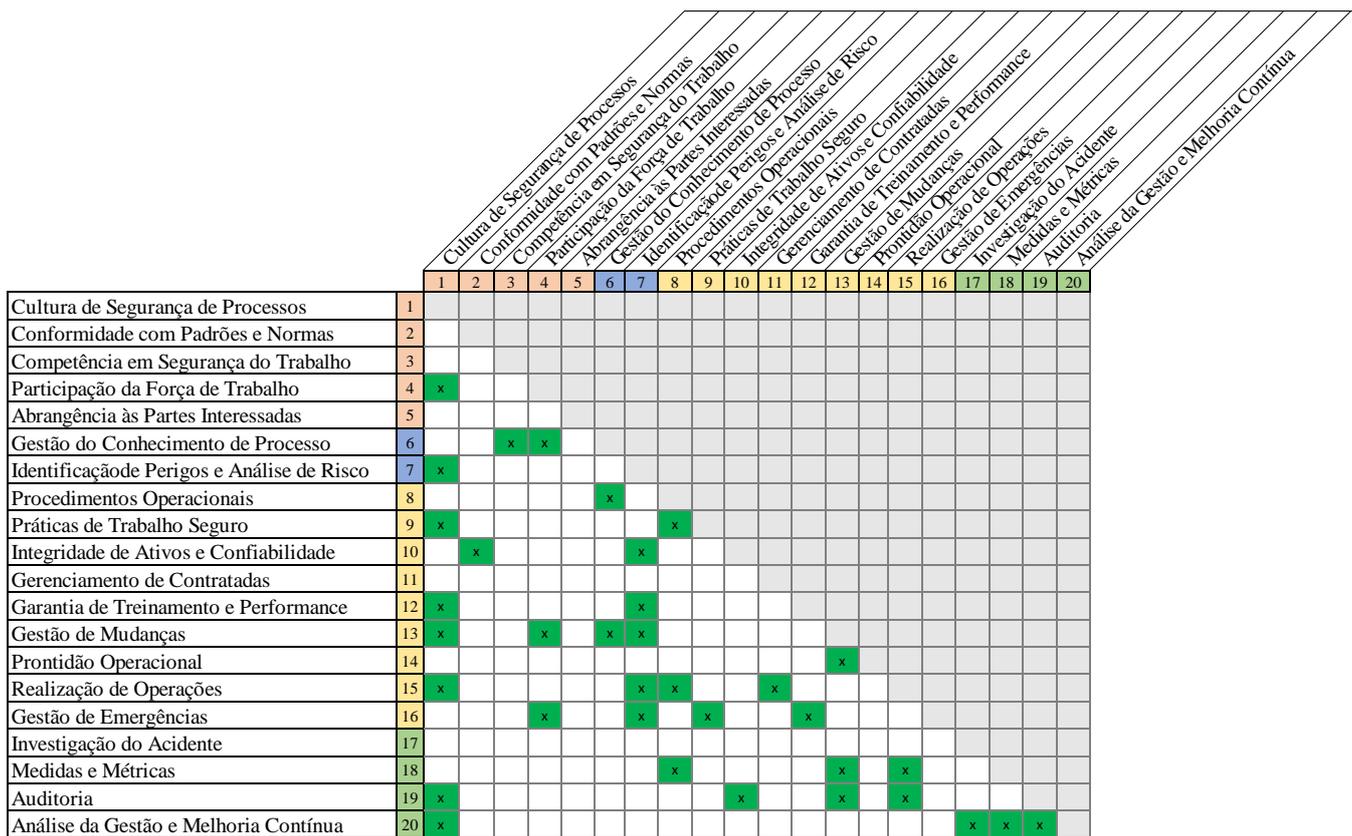


Figura 2 - Diagrama de algumas relações entre os 20 elementos da abordagem RBPS.

2.5.1. Cultura de Segurança de Processos

Uma cultura ineficiente pode levar a um fraco desenvolvimento da segurança de processos. Entretanto, se levada com a preocupação apropriada, pode identificar falhas

potenciais que direcionem a uma busca mais profunda acerca do entendimento dos riscos e os meios de controle dos mesmos.

Um ponto que pode fazer com que a cultura de segurança de processos de uma organização seja frágil é a não divulgação dos resultados das análises de riscos, fazendo com que os trabalhadores não tomem conhecimento dos riscos aos quais estão expostos. O elemento de Identificação dos Perigos e Análises de Riscos pode fornecer um parâmetro do quanto a compreensão da importância da segurança de processos é levada em consideração dentro da organização. Além disso, a partir dos cenários de acidentes identificados e seus respectivos resultados (ações corretivas e/ou recomendações) definem-se características do sistema de capacitação dos funcionários (Gestão de Treinamento e Performance) como periodicidade, tipo e participantes dos treinamentos. Uma força de trabalho motivada, treinada, capacitada e ciente dos riscos inerentes à instalação pode ser um indicador da eficiência da cultura de segurança. Ainda nesse sentido, a condução das operações de forma estruturada e segura (Realização de Operações e Práticas de Trabalho Seguro) tem muito a ver com a forma que a organização demonstra e vive a cultura de segurança de processos dentro da unidade. Isso porque a execução de tarefas operacionais de maneira confiável e segura por todos os funcionários diariamente é um reflexo de que essa cultura é, de fato, vivenciada na rotina da unidade.

Avaliações periódicas acerca da cultura de segurança de uma organização podem ser feitas, segundo AICHE/CCPS (2010), através de pesquisas de cultura de segurança de processos a serem respondidas anonimamente pelos participantes. Os resultados destas pesquisas poderão ser úteis na determinação de mudanças dentro da organização ao longo do tempo, bem como auxiliar na identificação de oportunidades de melhoria no sistema de gestão de segurança (Análise da Gestão e Melhoria Contínua).

2.5.2. Integridade de Ativos e Confiabilidade

A partir da identificação de elementos críticos, riscos e perigos (Identificação de Perigos e Análise de Riscos), é possível prever melhor as inspeções e períodos de manutenções preventivas/preditivas a fim de evitar falhas nos equipamentos e aumentar a segurança dos processos da unidade. Além disso, o elemento de Integridade de Ativos e Confiabilidade relaciona-se com Conformidade com Padrões e Normas. O primeiro aborda a necessidade do cumprimento de normas e padrões aplicáveis ao processo. O segundo é o responsável pelas inspeções para as verificações dos cumprimentos destas

normas e se o equipamento está próprio para uso de acordo com os padrões e especificações técnicas. Em linhas gerais, a relação entre os dois elementos é o trabalho que, de fato, mantém os equipamentos dentro das conformidades de normas, códigos, leis e regulamentos para uso seguro.

2.5.3. Gestão do Conhecimento de Processo

O elemento de gestão do conhecimento de processo conversa com a Competência em Segurança de Processo à medida que a atualização das informações e a disponibilização das mesmas de forma acessível aumenta a eficácia da segurança de processo através do bom gerenciamento das informações referentes a este processo e garantindo que todos os interessados terão acesso. O elemento de Procedimentos Operacionais entra em cena no que tange a documentar corretamente e efetivamente todos os procedimentos que serão registrados, armazenados e que poderão ser rastreados sem dificuldades no momento desejado por qualquer funcionário da área. Dessa maneira, a Gestão do Conhecimento de Processo deve estar alinhada com a Participação da Força de Trabalho, uma vez que a organização deve garantir aos funcionários o acesso amplo e fácil às informações dos processos conforme os mesmos vão sendo atualizados e desenvolvidos

2.5.4. Procedimentos Operacionais

Os Procedimentos Operacionais e o elemento Práticas de Trabalho Seguro se complementam à medida que os procedimentos fornecem todos os detalhes acerca da execução de um trabalho seguro e as permissões de trabalho descrevem os perigos específicos e as salvaguardas necessárias para as atividades deste trabalho. Ambos os elementos ajudam a garantir que a força de trabalho entenda os perigos e tomem as medidas necessárias para gerenciar os riscos durante as atividades. Além disso, os resultados dos indicadores de performance do elemento Medidas e Métricas podem ser utilizados para promover melhorias na segurança de processos, garantindo procedimentos operacionais cada vez mais seguros e melhorando continuamente o gerenciamento RBPS.

2.5.5. Realização das Operações

Conforme descrito anteriormente, o elemento Realização das Operações está totalmente ligado à cultura de uma organização (Cultura de Segurança de Processos), pois ela reforça o comportamento desejado. É esperado que os trabalhadores de todos os níveis hierárquicos cumpram suas funções com atenção, devida preocupação, pleno

conhecimento, bom senso e responsabilidade. O elemento também se relaciona com Gestão de Treinamento e Performance à medida que a manutenção das atividades operacionais confiáveis pode ser obtida através do desenvolvimento da força de trabalho com o conhecimento e habilidades necessárias. Além disso, a eficácia de execução das atividades operacionais deve ser monitorada (Medidas e Métricas/Auditoria) para, caso sejam detectadas falhas que comprometam um trabalho seguro (Práticas de Trabalho Seguro), as mesmas sejam resolvidas com treinamentos. Procedimentos escritos também auxiliam a garantir uma boa condução das operações (Procedimentos Operacionais).

2.5.6. Gestão de Mudanças

O elemento de gestão de mudanças conversa fortemente com a Identificação de Perigos e Análise de Riscos à medida que uma proposta de mudança da instalação pode ser fruto de uma recomendação ou ação corretiva de um estudo. Há ainda o caso em que, decidida a mudança, torna-se necessária a avaliação dos novos riscos e perigos.

Além disso, a cultura de segurança de processos da organização é essencial no processo de MOC uma vez que toda a Força de Trabalho deve estar ciente das mudanças e dos possíveis riscos inerentes às mesmas. Dessa maneira os cargos que normalmente autorizam o prosseguimento da mudança devem estar alinhados com a importância da segurança de processos para a organização a fim de garantir que a implementação da mudança em questão será devidamente executada.

Uma vez autorizada, a execução de uma mudança deve seguir alguns princípios de elementos do RBPS como: práticas de trabalho seguro, integridade de ativos para garantia do bom funcionamento de novos equipamentos, prontidão operacional no caso de alterações no *start-up* da planta e procedimentos operacionais que descrevam eficientemente os novos procedimentos a serem implementados, entre outros.

Após a implementação da mudança é extremamente importante que os princípios do elemento Gestão de Conhecimento do Processo sejam levados em consideração através dos registros das implicações que nova mudança trará para o processo, bem como a divulgação de relatórios atualizados para que o pessoal envolvido no processo esteja ciente das mudanças e, se for o caso, seus riscos. Além disso, para garantir que a mudança será executada com nível de eficácia desejado se faz necessário manter auditorias específicas na área de processos e estabelecer métricas e indicadores que sejam viáveis para esta nova mudança.

2.5.7. Gestão de emergência

O elemento de gestão de emergência se fortifica quando a organização já tem mapeados os cenários possíveis de acidentes da unidade (Identificação de Perigos e Análise de Riscos), de maneira que possa se organizar através de estudos, planejamento e elaboração de planos de emergência para os diferentes cenários considerando os resultados das identificações e análises. Além disso, a manutenção de equipamentos das linhas (Integridade de Ativos e Confiabilidade) faz parte de uma gestão de emergência à medida que consiste em um planejamento preventivo e preparação dos equipamentos para o risco de ocorrência de alguma emergência, garantindo assim que os mesmos estarão em pleno funcionamento caso algum acidente venha a ocorrer. O elemento de Gestão de Emergência tem relação ainda com a capacidade dos funcionários de atuar em uma situação de emergência. A força de trabalho (Participação da Força de Trabalho) precisa estar alinhada com os planos de resposta à emergência e ser capaz de atender às suas responsabilidades de maneira eficaz conforme foram previamente treinados e capacitados para tal (Garantia de Treinamento e Performance).

2.5.8. Auditoria

O elemento de auditoria, do pilar aprendizado com a experiência, complementa outras atividades de controle e monitoramento como, por exemplo Integridade de Ativos e Confiabilidade e Realização de Operações. Uma parcela da auditoria se assemelha a revisão da gestão à medida que requer uma verificação de sua eficácia (Análise da Gestão e Melhoria Contínua) através da análise da execução, documentação e pessoal de cada elemento do RBPS. Essas análises podem fornecer recomendações e ações corretivas que podem gerar mudanças (MOC) ou melhorias. A documentação das auditorias é um ponto importante que pode auxiliar, por exemplo, na investigação de acidentes na unidade (Investigação de Acidente). Um planejamento eficaz para o agendamento das auditorias pode melhorar os indicadores da Competência em Segurança do Trabalho e reforçar a ideia da Cultura de Segurança de Processos dentro da companhia.

Conforme mencionado inicialmente, um bom gerenciamento de segurança de processos através da abordagem RBPS deve considerar todos os 20 elementos e, ainda, como eles conversam e dependem entre si. O objetivo deste item foi relacionar, de maneira sucinta, as dependências e similaridades entre alguns dos elementos e como isso é importante para fortalecer o gerenciamento de maneira geral.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Breve Resumo do Acidente

No dia 15 de novembro de 2014 aproximadamente 11000 kg de metil mercaptano, produto altamente tóxico e inflamável, foram emitidos no interior de uma unidade de produção do inseticida methomyl (denominado *Lannate*®) na planta da DuPont, em La Porte, Texas. Essa emissão provocou o falecimento de três operadores e um supervisor de turno. Entre as principais causas do acidente destacam-se um projeto de engenharia com falhas e a falta de proteção adequada (CSB, 2019).

Este capítulo será baseado no relatório oficial de investigações emitido pela CSB (2019) no que tange à apresentação e explicação dos eventos ocorridos no acidente, principais causas identificadas e as recomendações feitas pelos investigadores.

3.2. Histórico de Acidentes da Dupont

Desde o início das suas operações, em 1802 com a fabricação de pólvora e explosivos em Delaware – Estados Unidos, a DuPont sempre manteve o foco na prevenção de acidentes. Com o passar dos anos a empresa se empenhou fortemente na redução da taxa de acidentes através de práticas aprimoradas de segurança. Isso levou a empresa ao reconhecimento mundial em gestão de segurança de processos (KLEIN, 2009).

Entretanto, a partir de 2010, essa reputação foi prejudicada em decorrência de graves acidentes industriais em suas unidades. O evento de La Porte marca a terceira investigação da *Chemical Safety Board* (CSB) de um acidente fatal em uma planta da DuPont em um intervalo de cinco anos. Em 2010 um funcionário foi morto quando uma mangueira carregando gás fosgênio estourou na planta de Belle, na Virgínia Ocidental (CSB, 2011). Um ano depois, um soldador faleceu em uma explosão na planta de Buffalo, Nova Iorque (CSB, 2012). Os itens a seguir descrevem sucintamente os eventos anteriores, cujos eventos e causas também ajudam na seção de análise dos elementos de falha em La Porte.

3.2.1. Belle, Virgínia Ocidental

O evento ocorrido na planta de Belle envolveu três acidentes separados dentro de um período de 33 horas, de 22 a 23 de janeiro de 2010, sendo o último deles fatal. Os itens a seguir descrevem os eventos.

3.2.1.1. Vazamento de Cloro Metano

O primeiro acidente da série de três ocorreu na madrugada do dia 22 e envolveu um vazamento contínuo de aproximadamente 900 kg de cloro metano através de um disco de ruptura, o que não foi detectado durante dias. O gás vazou para o interior de um ambiente fechado e não frequentado pelos trabalhadores. Apenas 5 dias depois o vapor de cloro metano no ar interferiu no sensor químico de cloroformato de etila (ECF), alertando a sala de controle. A investigação aponta que quando o disco de ruptura estourou um alarme foi acionado. Entretanto, devido ao histórico de alarmes falsos os operadores identificaram que este alarme poderia ser ignorado (CSB, 2011).

Em resposta ao alarme de ECF os operadores detectaram a fonte do vapor vindo dos equipamentos. Ao chegar ao local, perceberam a gravidade da situação e deixaram a área de processos imediatamente em direção à sala de controle, onde fecharam todas as válvulas que levavam à tubulação de ventilação e resfriaram o reator associado à reação com o cloro metano a fim de parar o processo (CSB, 2011).

3.2.1.2. Vazamento de Ácido Sulfúrico Fumegante

O segundo evento envolveu o vazamento de 10 kg de ácido sulfúrico fumegante 20%, uma solução de ácido sulfúrico e trióxido de enxofre, e ocorreu na manhã seguinte do vazamento de cloro metano na unidade de recuperação de ácido sulfúrico (“*Sulfuric Acid Recover*” – SAR) da planta de Belle. A unidade adjacente à SAR utilizava o ácido sulfúrico fumegante na produção de ácido metacrílico, um componente para polímeros acrílicos, e depois retornava o excesso para a unidade SAR. A unidade, por sua vez, tratava de queimar as impurezas do excesso de ácido sulfúrico fumegante e direcionava os compostos de enxofre restantes desse processo para produção de ácido sulfúrico fumegante puro (CSB, 2011).

Na manhã do dia 23 de janeiro os operadores que trabalhavam próximos à unidade SAR observaram uma nuvem incomum perto da torre de ácido sulfúrico fumegante e reportaram à sala de controle. Ao identificarem a natureza do vazamento proveniente de uma tubulação entre um tanque e uma estação de amostragem, a sala de controle alertou os funcionários para saírem da área do vazamento e irem para um local seguro. Cerca de 5 minutos depois o alarme de fumaça foi acionado para alertar toda a unidade sobre o vazamento (CSB, 2011).

Após o alarme de fumaça, outro alarme notificou os operadores da localização do acidente. Isso desencadeou uma resposta da brigada de incêndio, que, utilizando equipamentos de proteção individual (EPI), parou o vazamento através do fechamento de uma válvula cerca de 1 hora após a identificação da ocorrência.

A investigação da CSB (2011) aponta que o vazamento ocorreu devido à corrosão de uma pequena seção da tubulação, mas que não houve exposição à nenhum funcionário. O problema de corrosão na tubulação, entretanto, já era previsto pela equipe da DuPont. Um vazamento anterior deste mesmo produto resultou em recomendações de manutenção preditiva regular das linhas de ácido sulfúrico fumegante, entretanto, de acordo com documentos internos, as linhas envolvidas neste acidente não foram consideradas nesta programação.

3.2.1.3. Vazamento de Gás Fosgênio

O terceiro evento da sequência correu cerca de 6 horas depois do segundo, na tarde do dia 23 de janeiro de 2010, quando uma mangueira conectada a um cilindro de fosgênio se rompeu. O gás fosgênio é tão tóxico que era utilizado como arma química na Primeira Guerra Mundial (CSB, 2011).

A DuPont comprava fosgênio de uma empresa fornecedora, recebendo em cilindros de 1 tonelada. O material era empregado na fabricação de cinco pesticidas diferentes. Os cilindros eram armazenados no denominado “galpão de fosgênio”, aberto à atmosfera. Quando utilizados, estes cilindros eram conectados a outros equipamentos por duas mangueiras flexíveis, as quais eram internamente constituídas de politetrafluoroetileno (PTFE), material comercialmente conhecido como Teflon®.

Uma mangueira pressurizava o cilindro a 70 psig de nitrogênio, empurrando o fosgênio para a linha do processo de fabricação através da segunda mangueira conforme mostram as setas na Figura 3. Quando, através de um monitoramento eletrônico do peso, a sala de controle detectava um cilindro vazio o operador imediatamente fechava as válvulas das mangueiras de transferência do cilindro ativo e abria as de um segundo cilindro. O fosgênio líquido remanescente na mangueira de transferência previamente ativa era purgado com nitrogênio e o cilindro substituído.

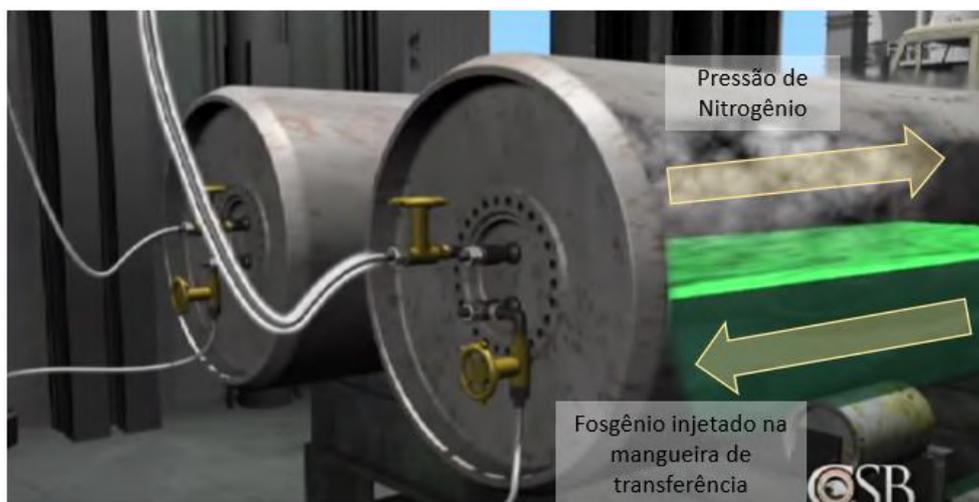


Figura 3 – Mangueiras de transferência nos cilindros ativos de fosgênio. Modificado de CSB, 2011

No dia anterior ao acidente, 22 de janeiro, houve problemas de escoamento em uma das mangueiras de transferência e, para evitar interrupções nos processos, decidiu-se pela troca de cilindros para a operação de transferência. Em uma dessas trocas a válvula de um cilindro parcialmente cheio foi fechada, mas a mangueira correspondente não foi purgada, de modo que a mesma permaneceu cheia de líquido. Isso fez com que a pressão fosse sendo acumulada à medida que o fosgênio líquido aquecia dentro da mangueira.

No momento do acidente um operador estava conferindo os cilindros do galpão quando a mangueira pressurizada se rompeu, atingindo-o com fosgênio líquido no peito e na face. O operador estava usando equipamentos de proteção individual que, embora estivessem de acordo com as normas de segurança na planta, não eram adequados para o nível de risco do local (CSB, 2011). Outros dois operadores também foram expostos, entretanto nenhum ferimento foi relatado. Estima-se que cerca de 1 kg de fosgênio foi emitido para a atmosfera neste vazamento. O operador atingido foi levado ao hospital, mas não resistiu à grave exposição e faleceu um dia após o acidente.

As investigações apontam que a permeabilidade do material da mangueira foi ponto chave na causa do acidente. O fosgênio era capaz de permear facilmente o Teflon® que revestia internamente a mangueira de aço inoxidável e, conseqüentemente, provocar a corrosão da mesma. Devido a isso, o procedimento padrão de manutenção recomendava a substituição das mangueiras a cada 30 dias. Entretanto, a investigação aponta que as mangueiras de fosgênio relacionadas ao acidente não haviam sido trocadas há mais de 7

meses devido a uma mudança no software de gerenciamento de manutenção, que não notificou a necessidade de substituição do material.

A CSB determinou que haveria maneiras mais seguras de operar, como, por exemplo, armazenar os cilindros de fósforo em locais fechados com ventilação e um lavador de gases. Recomendou ainda o uso de equipamentos de proteção completo para os operadores que entrassem no armazém (CSB, 2011).

3.2.2. Buffalo, Nova Iorque

Na manhã do dia 9 de novembro de 2010 ocorreu uma explosão na planta de Buffalo, onde um soldador terceirizado e seu superior estavam reparando o suporte de um agitador acima de um tanque de armazenamento quando faíscas da soldagem deram início à queima de vapores inflamáveis de fluoreto de vinil¹ (VF) dentro do tanque. O soldador faleceu instantaneamente devido à intensidade da explosão, já o superior ficou com queimaduras de primeiro grau e alguns ferimentos. A explosão destruiu a maior parte do topo do tanque conforme mostra o detalhe da Figura 4.

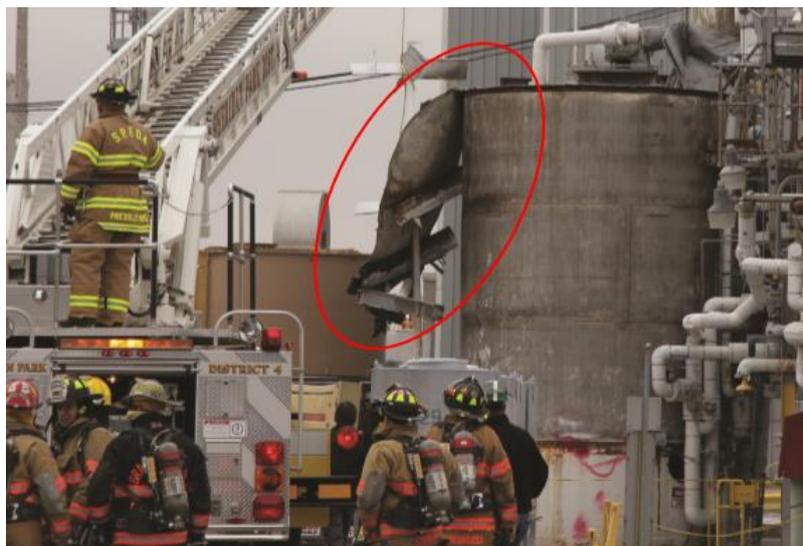


Figura 4 – Imagem pós-acidente envolvendo explosão do tanque com gases inflamáveis. Modificado de CSB, 2012.

Em fevereiro de 2010 a CSB emitiu o “*Hot Work Safety Bulletin*” (CSB, 2010), documento que resume 11 acidentes fatais similares e destaca algumas lições principais

¹ Um gás incolor e altamente inflamável em condições ambientes cujo vapor é mais pesado que o ar e pode acumular em áreas mais baixas. A substância é classificada como carcinogênica. Seu TWA é de 1 ppm (OSHA) e a temperatura de ignição de 385°C.

aplicáveis à maioria dos casos. O acidente de Buffalo foi mais um exemplo de um monitoramento inapropriado de atividades de trabalho à quente² (“*hot work*”) envolvendo condições inflamáveis.

A unidade da DuPont em Buffalo, em funcionamento desde 1921, fabricava dentre outros produtos o Tedlar®, um polímero usado como filme em painéis fotovoltaicos. O processo de produção consistia na conversão de gás VF em um “*slurry*”³ de fluoreto de polivinil (PVF) em água. O produto de PVF era então transferido para um dos três reservatórios com isolamento (Figura 5) com capacidade para mais de 40 mil litros. Normalmente a transferência era feita para o tanque 3, enquanto os tanques 1 e 2 ficavam reservados para o excesso de produto.



Figura 5 – Reservatórios de produto PVF (“*slurry tanks*”) após a reação de conversão.
Fonte: CSB, 2012

No período de 22 de outubro a 6 de novembro, 3 dias antes do acidente, a área de processos de Tedlar® realizou um “*shutdown*” programado. Durante esta parada o isolamento de amianto dos reservatórios 1 e 2 foram retirados. Essa remoção revelou uma

² Trabalho à quente, ou “*hot work*”, se caracteriza por qualquer trabalho que envolva queima, soldagem, brasagem, moagem, usando qualquer ferramenta de produção de fogo, faísca ou que produza uma fonte de ignição (OSHA, 2020).

³ Uma mistura de água e pequenos pedaços de um sólido, especificamente usada em processos industriais e agrícolas.

grave corrosão no suporte do agitador destes tanques. A DuPont decidiu que o reparo destes suportes envolveria a soldagem no topo dos tanques 1 e 2 e contratou uma empresa terceirizada para realização da atividade. O trabalho à quente no tanque 2 ocorreu durante uma parada das atividades, sem nenhum tipo de acidente. Entretanto, um atraso na programação levou o reparo do tanque 1 a ser adiado para depois do reinício das operações, dia 9 de novembro.

Na manhã do acidente, um técnico da DuPont não detectou concentrações de vapores inflamáveis nas áreas ao redor dos tanques 1 – o qual seria submetido ao reparo, assim como nas proximidades dos demais tanques. Entretanto, mesmo o reparo envolvendo a soldagem diretamente no topo do tanque 1, nem o engenheiro da DuPont responsável ou os funcionários terceirizados pediram ao técnico para realizar o mesmo teste na parte interna do tanque.

Cerca de 2 horas após do início das atividades o transmissor de nível do tanque 1 na sala de controle acusou um aumento repentino, sendo uma consequência do incêndio que tomou conta do interior do tanque. A sobrepressão lançou a tampa de aço do tanque a mais de 30 metros de distância. A explosão matou imediatamente o soldador, e o incêndio queimou os braços, cabeça e lesionou um tímpano do supervisor. O fogo rapidamente consumiu o vapor inflamável e se extinguiu.

A investigação da CSB aponta falhas no gerenciamento de mudanças do processo (CSB, 2012). Isso porque, durante uma inspeção no *shutdown* da planta engenheiros da DuPont descobriram uma espécie de falha na tubulação que interligava os tanques (“*Slurry Tank Overflow Line*” indicado na Figura 3), mas decidiram que o tanque poderia voltar ao funcionamento sem o reparo da pequena ruptura. Concluíram então que a operação seria segura e que a obstrução não apresentaria riscos. Entretanto, não se deram conta de que a falha criaria um caminho preferencial para passagem do gás inflamável VF até os tanques (CSB, 2012).

3.3. Visão Geral do Processo de La Porte, Texas

Analisando as principais falhas nos acidentes descritos no item anterior é possível concluir que alguns dos elementos do sistema RBPS não foram atendidos com o nível de eficiência esperado. A sequência de eventos de vazamentos em Belle demonstrou que elementos do pilar Gestão de Risco foi severamente prejudicado à medida que a manutenções de linhas e equipamentos importantes não estavam sendo consideradas,

procedimentos operacionais não eram realizados de forma confiável e segura, e os EPIs não eram adequados. Além disso, o fato de operadores ignorarem notificações de alarmes de segurança indica deficiências no elemento de cultura de segurança de processos e competência em segurança de processo. Já a explosão em Buffalo aponta para falhas na implementação da gestão de mudanças e análise de riscos devido a forma como a equipe lidou com a falha na tubulação do tanque 1 e os procedimentos de hot work de forma segura. Houve também falhas na gestão de contratadas, que não considerou os riscos aos quais o funcionário terceirizado estava sendo submetido, e integridade de ativos quando testes de inflamabilidade no interior do tanque 1 não foram requisitados pela equipe técnica.

Uma vez apresentados os principais elementos de falha em acidentes anteriores ao de La Porte, este item apresenta sucintamente o processo de produção usado na planta de inseticida, assim como alguns equipamentos e sistemas relacionados. Dessa maneira, possibilita a compreensão dos eventos que resultaram no acidente da unidade de La Porte, o qual é discutido mais detalhadamente no item Descrição do Acidente.

A produção do inseticida methomyl, ou Lannate®, era realizada dentro de um prédio fechado (unidade de produção) de quatro andares, na chamada Inseticide Business Unit (IBU), mostrada Figura 6. O metil mercaptano, uma das matérias primas do produto, era estocado do lado de fora do prédio, em um tanque com capacidade de aproximadamente 68 000 litros (Figura 7). Esta matéria prima era misturada com outros químicos dentro de um reator, para então gerar o produto Lannate® (CSB, 2019).



Figura 6 – Unidade de produção do inseticida Lannate®. Fonte: CSB, 2019



Figura 7 – Tanque de armazenamento de metil mercaptano na fábrica de LaPorte, Texas destacado em amarelo. Fonte: CSB, 2015

O prédio de produção (IBU) fabricava, além de Lannate® (um produto em pó), outro inseticida, líquido, que também continha metil mercaptano como matéria prima, o Vydate® ou *oxamyl*.

O Lannate®, além de ser inflamável e nocivo ao meio ambiente, pode causar irritação na pele, olhos, trato respiratório e gastrointestinal. Os principais sintomas são: náuseas, vômitos, diarreia, dificuldades respiratórias, bronco espasmo, lacrimejamento, dores no peito e possíveis efeitos no sistema nervoso central como sonolência e inconsciência (DUPONT, 2008). O Vydate® apresenta efeitos e sintomas similares (DUPONT, 2017).

- **Sistema de ventilação**

Os controles de processos de ambos os produtos compartilhavam a mesma sala de controle e o prédio era dividido por uma parede interna, equipada com algumas portas de incêndio que permitiam a transição de uma área para outra. O lado leste, conhecido como extremidade úmida (“*wet end*”), era onde se localizavam os equipamentos de processamento de líquidos. No lado oeste era onde os líquidos eram removidos por meio de equipamentos de processamento úmido e seco, sendo este lado denominado de extremidade seca (“*dry end*”). Ambas as áreas eram separadamente equipadas com exaustores no teto dos andares, conforme mostra um exemplo na Figura 8.

Tais sistemas de ventilação eram responsáveis por captar ar fresco para dentro de cada andar, nas duas divisões do prédio, varrendo quaisquer possíveis gases contaminantes até o duto de exaustão no teto. Este, por sua vez, direcionava o ar de exaustão de todo os pisos para o respectivo exaustor de ar de diluição, a ser descarregado diretamente na atmosfera sem tratamento. É importante ressaltar que, no momento do acidente, os sistemas de ventilação estavam inoperantes devido a problemas técnicos (CSB, 2015).

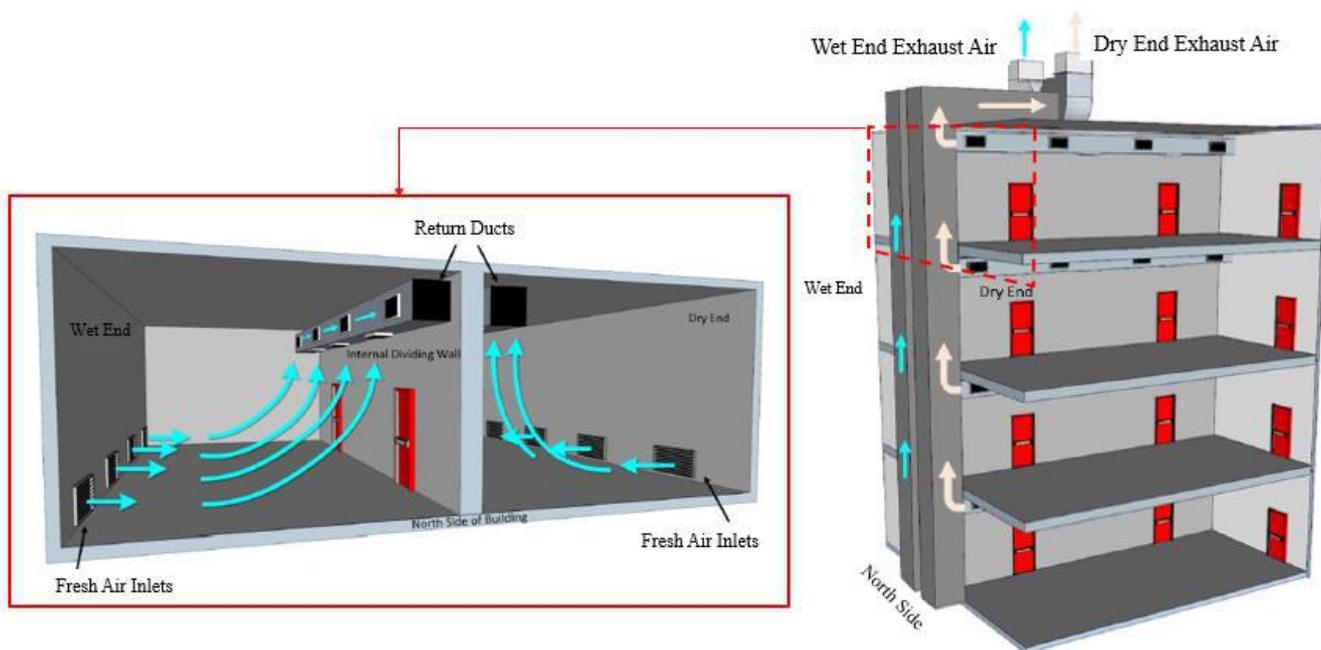


Figura 8 – Esquema do sistema de exaustão do prédio de produção de Lannate®. Modificado de CSB, 2015.

- **Sistema de Diluição**

O sistema de diluição foi instalado em 2006 quando a compra de AOO (*acetaldehyde oxime*), uma das outras matérias primas do inseticida, 100% concentrado, foi considerada mais econômica do que a compra da substância já diluída pelo fornecedor. Dessa forma, o AAO era geralmente adquirido por meio de vagões, sendo armazenado como solução 50% em água após a diluição na unidade (CSB, 2015).

- **Lavador de Gases (NO_x Reduced Scrubbed Incinerator – NRS)**

De acordo com os investigadores (CSB, 2015) o inseticida Lannate® frequentemente se esgotava no mercado, havendo assim a necessidade de aumento de produtividade.

Entretanto este processo produtivo envolvia a geração de muitos gases tóxicos. Desta forma, em 2011 a DuPont adotou uma estratégia para tornar o processo mais sustentável. Reduziu as emissões de gases tóxicos na IBU através da instalação de um sistema de lavador de gases com redução de NOx por incineração (NRS)⁴. O equipamento (Figura 9) era responsável por eliminar os gases residuais da unidade, inclusive das correntes com vapor de metil mercaptano.



Figura 9 – Lavador de Gases (NRS) instalado na planta de LaPorte em 2011 para redução das emissões. Fonte: CSB, 2015

Os gases eram coletados dos processos através do sistema de ventilação denominado “*waste gas vent header piping*”, linha coletora de gases residuais. Essa linha passava por vários pontos da unidade, como instalações de descarregamento de matéria prima e tanque de armazenagem de metil mercaptano. Três válvulas conectavam a linha de alimentação de metil mercaptano a essa tubulação coletora de gases residuais a fim de remover excesso de vapores indesejados da linha (Figura 10).

⁴ Sistema de oxidação vertical para destruição térmica de resíduos de compostos orgânicos, halogenados e nitrogenados.



Figura 10 – Alinhamentos da tubulação de alimentação de metil mercaptano, de gases residuais e as válvulas de alívio. Modificado de CSB, 2016.

A tubulação coletora de gases residuais (em laranja na Figura 10) direcionava os fluxos de gases residuais para a destruição térmica no lavador NRS conforme demonstra a configuração das linhas na Figura 11.

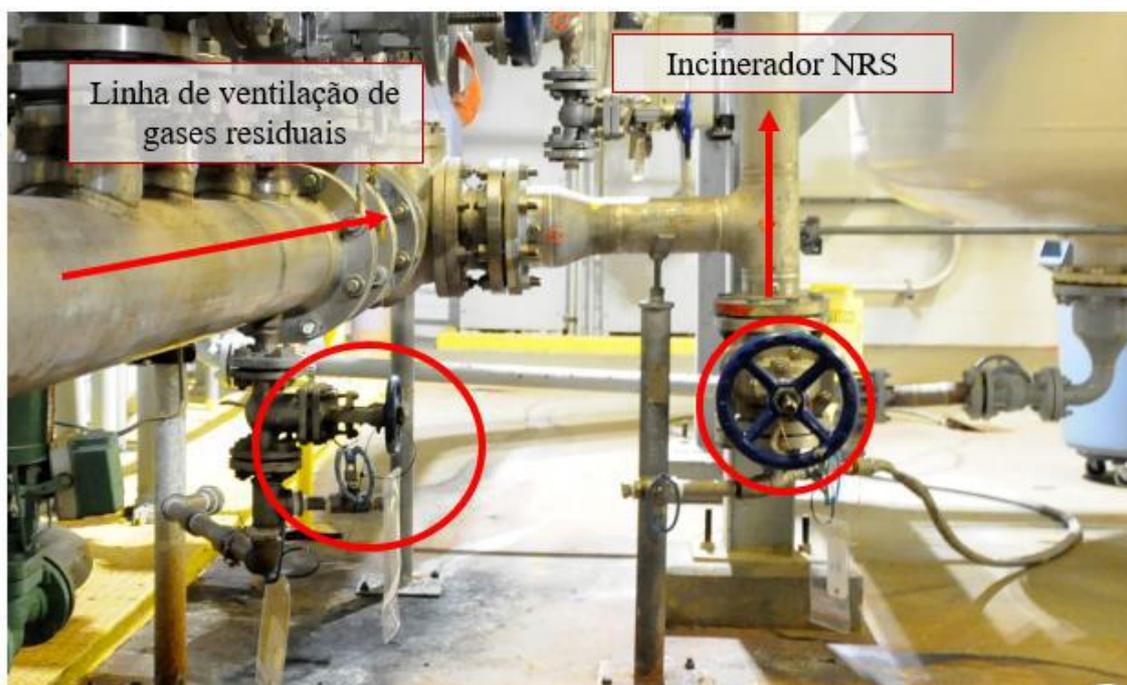


Figura 11 - Linha de ventilação de gases residuais conectada à tubulação com destino ao incinerador NRS no terceiro andar do prédio de produção. Válvulas de drenagem da linha de ventilação de gases residuais e do Incinerador destacadas em vermelho. Modificado de CSB, 2019.

Após a instalação deste equipamento, a DuPont notou frequentes eventos de alta pressão nos equipamentos conectados à tubulação do coletor e determinou que a possível causa seria o acúmulo de líquido na tubulação coletora de gases residuais. Tal líquido seria proveniente da condensação de correntes de vapor saturado provenientes de equipamentos com temperatura de operação maiores que a temperatura ambiente. Ainda de acordo com o relatório de recomendações (CSB, 2015), o projeto da tubulação referente ao incinerador não considerava adequadamente o acúmulo de líquido. Não havia, portanto, um design de engenharia capaz de remover o líquido da tubulação coletora de gases residuais. Acreditava-se que o líquido acumulado seria basicamente condensado de água, devido à utilização de vapor de água em alguns processos, e uma pequena parte de outros compostos, incluindo o metil mercaptano. Dessa forma, a prática rotineira dos operadores para lidar com esses problemas de alta pressão na tubulação era de abrir manualmente as válvulas de drenagem da linha de ventilação (demonstradas em vermelho na Figura 11) para a atmosfera, fazendo com que o líquido escoasse pelos drenos no chão do prédio de produção.

- **Design inerentemente mais seguro (ISD)**

Devido ao acidente de Bhopal, Índia em 1984 (UNION CARBIDE, 2020) – até hoje considerado o mais grave acidente da indústria química -, a DuPont realizou algumas modificações significativas na planta de La Porte, que contava com processos usando metil isocianato (MIC)⁵. Essas modificações eram baseadas na incorporação de um design inerentemente mais seguro (ISD- “*inherently safer design*”)⁶. A abordagem ISD inclui o uso de prédios de estrutura aberta com equipamentos para direcionar emissões de químicos altamente tóxicos ao incinerador. Entretanto, a DuPont não aplicou o ISD corretamente para outros tipos de substâncias igualmente classificadas como altamente tóxicas, como o metil mercaptano por exemplo (CSB, 2015).

Os itens posteriores focam na descrição detalhada do acidente, cronologia dos fatos e na resposta de emergência da unidade aos eventos.

⁵ MIC era utilizado como matéria prima de alguns inseticidas produzidos na unidade, inclusive no processo de produção de Lannate® e esteve presente no acidente de Bhopal.

⁶ De acordo com a CCPS: “soluções de design inerentemente mais seguro eliminam ou mitigam o perigo através do uso de materiais e condições de processos menos perigosas” (CCPS, 2009)

3.4. Descrição do Acidente de La Porte, Texas

De acordo com o relatório emitido em junho de 2019 pela CSB (2019), a cadeia de eventos que levou ao acidente teve início em um problema operacional. Na segunda-feira, 10 de novembro de 2014, cinco dias antes do acidente, um problema logístico fez com que fosse entregue um caminhão-tanque contendo a matéria prima AAO a 50%, ao invés do recebimento usual por vagão, que entregava a matéria-prima 100% concentrada. Durante seu descarregamento, o sistema de diluição foi inadvertidamente ativado e continuou a escoar água depois de terminada a manobra de descarregamento, fazendo com que o tanque transbordasse (CSB, 2019). Acredita-se que dois principais fatores contribuíram para este evento. Primeiramente, a DuPont não possuía um procedimento oficial para o descarregamento de um caminhão-tanque com AAO 50% diluído. Além disso, a válvula de controle de diluição de água, que deveria intertravar com o desligamento da bomba de descarga do caminhão ou com o nível alto de líquido no tanque de AAO, teve sua função desviada para uma descontaminação do tanque no início de 2014 (CSB, 2015). Esta diluição fez com que o AAO saísse da especificação normal de 50% para 24% de concentração na mistura com água dentro do tanque, provocando então o desligamento (“shutdown”) da unidade, além do transbordamento do vaso de AAO (CSB, 2019).

No dia 12 de novembro os operadores fizeram ajustes no sistema de controle de concentração de AAO para iniciar o restabelecimento da unidade, entretanto não obtiveram sucesso. A tubulação pertencente ao sistema de reação estava obstruída conforme mostra parte da animação da CSB (*Figura 12*), evento comum de ocorrer após o “shutdown” da planta. Este bloqueio ocorre devido a formação de um “*slurry*” proveniente da reação do metil mercaptano e outras substâncias químicas. A fim de desobstruir a linha utilizou-se injeção de uma corrente de água quente pela tubulação, mesmo não havendo um procedimento escrito de como limpar o sistema nessas condições (CSB, 2015).

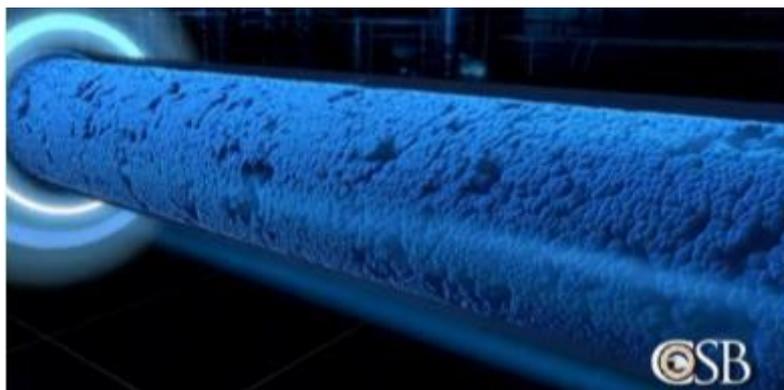


Figura 12 – Parte da animação da CSB descrevendo a obstrução na linha do sistema de reação. Fonte: CSB, 2016

Na tarde do dia 13 de novembro de 2014, dois dias antes do acidente, os operadores determinaram que o entupimento estava resolvido. Entretanto, durante o processo de remoção do bloqueio no dia anterior uma válvula foi indevidamente aberta. Esta válvula deveria evitar que a água quente fluísse para outras tubulações, inclusive para a de alimentação de metil mercaptano, que por sua vez, era conectada ao tanque de estocagem. Estima-se que aproximadamente 910 kg de água escaparam para linha de alimentação e para o tanque de estocagem de metil mercaptano, que teve seu nível elevado em aproximadamente 2% (CSB, 2015). Isto não foi detectado pelo sistema de alarmes. Dessa forma, tanto a linha de alimentação do sistema de reação quanto o tanque de estocagem, continham uma mistura de água e metil mercaptano. Isso provocou a formação de um hidrato sólido na linha de alimentação, interrompendo o reinício da operação.

A formação deste hidrato é favorecida a baixas temperaturas ($\leq 11^{\circ}\text{C}$) na reação de água com metil mercaptano, formando um hidrato de metil mercaptano (CSB, 2019 *apud* MOHAMMADI et al., 2011). Nas 24 horas precedentes ao acidente, a temperatura no Texas aproximava-se de $4,5^{\circ}\text{C}$ e, desde o dia 11 de novembro, as temperaturas estavam abaixo de 13°C . Apesar do potencial de formação de hidrato nestas condições já ter sido identificado pela equipe técnica em análises de riscos anteriores, nenhuma ação mitigadora foi implementada como, por exemplo, a instalação de um trocador de calor ou um procedimento seguro para dissociação do hidrato (CSB, 2015).

Na manhã do dia 14 de novembro, véspera do acidente, o time técnico da unidade – composto por engenheiros e outros funcionários experientes no processo – desenvolveu uma solução para limpar o bloqueio jorrando água quente sob o isolamento da tubulação,

a fim de derreter e solubilizar o hidrato formado (Figura 13). A norma técnica interna da DuPont afirma que “haverá a formação de um hidrato com água, que é sólido abaixo de 40°F (4,5°C), de acordo com a informação do fornecedor” (CSB, 2015).

Já na madrugada do dia 15 de novembro, após uma falha na inicialização da planta, decidiu-se fazer uma pausa nos trabalhos e discutir estratégias de procedimentos. Entretanto, durante esta pausa a bomba ainda circulava metil mercaptano na linha, e a água quente continuava aquecendo a tubulação. Nesse momento, a planta começou a apresentar um problema diferente: alta pressão na tubulação.



Figura 13 – Mangueira de água quente na linha de alimentação de metil mercaptano ao sistema de reação como estratégia de dissociar o hidrato formado. Fonte: CSB, 2015.

Durante a pausa, o time técnico da DuPont percebeu que quando o metil mercaptano fosse aquecido haveria uma expansão térmica e seria necessário um local seguro para o alívio de pressão da linha de alimentação. Dessa forma, a válvula 1 (de acordo com numeração apresentada na Figura 10), entre a linha de alimentação de metil mercaptano e a tubulação coletora de gases residuais foi aberta, (destacado em vermelho na Figura 14). A válvula 2 foi também totalmente aberta. Devido à bomba do tanque estar ligada, houve a criação de um caminho preferencial, destacado pelas setas amarelas na Figura 14 para passagem do metil mercaptano líquido do tanque de armazenagem passando pela linha de alimentação e em direção à tubulação coletora de gases residuais.

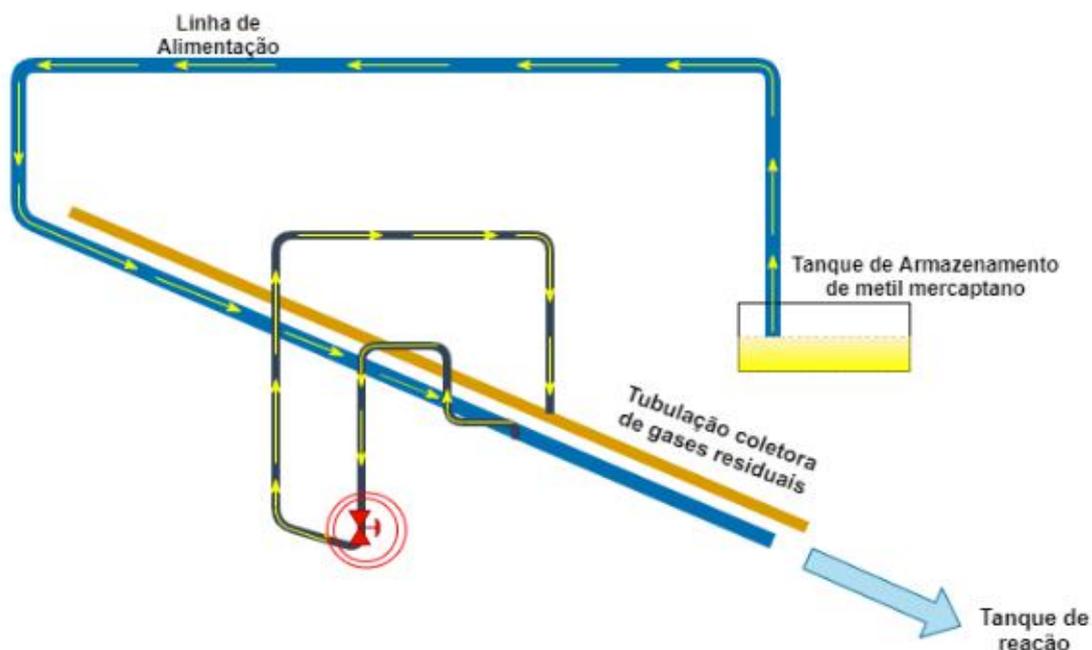


Figura 14 – Representação visual do alinhamento da tubulação que permitia o fluxo de metil mercaptano líquido da linha de alimentação (azul) para a tubulação coletora de gases residuais (laranja) devido a abertura da válvula 1 (vermelho). Modificado de CSB, 2016

Diferentemente do que os operadores imaginavam, a alta pressão não era causada pelo típico acúmulo de condensado de água no processo, mas sim por um problema diferente: metil mercaptano líquido escoando pela tubulação coletora de gases residuais (“*waste gas vent header*”) uma vez que o hidrato já estava sendo dissociado, permitindo assim a passagem da substância. Além disso, a diminuição do nível no tanque de estocagem de metil mercaptano, devido a bomba estar ligada, não foi identificada pelos funcionários na sala de controle uma vez que o mesmo ainda estava dentro dos limites de operação. Desta forma, a presença de metil mercaptano na linha de gases residuais causou o aumento de pressão na mesma.

Na madrugada do dia 15 de novembro a água quente aqueceu o hidrato formado, liberando o bloqueio da tubulação de alimentação. Devida à configuração estabelecida (Figura 14), metil mercaptano líquido escoou pela tubulação coletora de gases residuais, localizada dentro do prédio de produção. Neste momento, alarmes sonoros alertaram o sistema de controle indicando a alta pressão nos equipamentos do prédio.

Os operadores acreditavam que o já conhecido problema de condensado na tubulação seria o causador do evento de alta pressão, dessa maneira o procedimento mitigador foi a

abordagem, comumente utilizada, de abrir manualmente as válvulas de drenagem na tubulação coletora de gases (Figura 11). O supervisor de turno noturno e o operador 1 foram separadamente ao terceiro andar do prédio de produção para tentar reduzir a pressão do equipamento.

Na sequência, os alarmes dispararam no painel de controle alertando para os altos níveis de metil mercaptano dentro e fora do prédio. Os alarmes ficaram ativos nas 17 horas que precederam o acidente. Os operadores estavam cientes dos alarmes, mas não perceberam o vazamento de gás como uma questão de alta gravidade, pois já estavam acostumados a não dar a devida importância aos odores de metil mercaptano e alarmes de detecção. Dessa forma, associaram o vazamento às atividades de solução de problemas que estavam ocorrendo.

O relatório de investigação da CSB (2019) reporta que muito provavelmente foi o supervisor de turno que abriu as válvulas. Feito isso, o mesmo se deparou com a emissão de metil mercaptano líquido vaporizado escapando das válvulas, ao invés de vapor condensado de água, como era esperado. O funcionário não resistiu à exposição. Cerca de 15 minutos após a ida ao prédio, o operador 1 realiza uma chamada de emergência pelo rádio, com o objetivo de pedir ajuda. Sua mensagem claramente transparecia a situação de urgência. Entretanto, a natureza e local da emergência não foram efetivamente comunicados, fazendo com que os colegas acreditassem que a urgência viesse de uma lesão pessoal, como uma perna quebrada (CSB, 2015). Nesse meio tempo, outro operador (operador 5) que já estava trabalhando no primeiro andar do prédio, começou a se sentir tonto e com a visão embaçada. Após desmaiar no chão, operador 5 percebeu que havia algo estranho acontecendo e imediatamente saiu do prédio.

Após uma tentativa malsucedida de comunicação da sala de controle com o operador 1 e o supervisor de turno, outros dois operadores (operador 2 e 3) decidiram ir até o primeiro andar verificar a urgência da mensagem, sem perceber que já estavam sendo expostos a um grave vazamento de metil mercaptano. Um quarto operador (operador 4), que estava do lado de fora do prédio, também não percebeu o perigo e, sem qualquer proteção respiratória, seguiu os operadores 2 e 3, correndo para dentro do prédio. A CSB informa em seu relatório que não havia alarme visual ou sonoro instalado dentro do prédio a fim de avisar externamente o perigo da concentração de metil mercaptano dentro da instalação.

Já dentro do prédio, os operadores 2, 3 e 4 seguiram rotas diferentes. O operador 2 foi para o terceiro andar, onde foi fatalmente afetado pelo vapor de metil mercaptano. O operador 3 ao chegar no quarto andar e não encontrar ninguém anunciou no sistema de som⁷ (“*public address system*”) que não havia ninguém ali. O operador da sala de controle respondeu dizendo que tanto o supervisor de turno quanto o operador 1 poderiam estar no terceiro andar do prédio e pediu-lhe que verificasse lá. Enquanto descia do quarto andar, o operador 3 começou a ficar tonto, perdeu a consciência e caiu na escada, quebrando os óculos ao bater a cabeça no chão. O operador, após ficar cerca de 45 minutos desacordado, conseguiu sair do prédio. Já o operador 4 foi ao segundo andar, se deparou com uma “parede” de metil mercaptano e começou a sentir tonturas e náuseas, mas conseguiu recuar de volta para escada na parte sul do prédio.

A única tentativa de comunicação até então feita com a sala de controle foi a do operador 3, dessa forma a sala de controle não tinha informações claras sobre o que estava acontecendo dentro do prédio de produção. O operador 6, irmão do operador 2, que também estava na sala de controle, percebeu uma certa gravidade na situação e, mesmo sendo alertado pelos companheiros, se preparou para entrar no prédio. O operador 6 então pegou três respiradores de escape de 5 minutos (Figura 15) e seguiu para o prédio de produção.

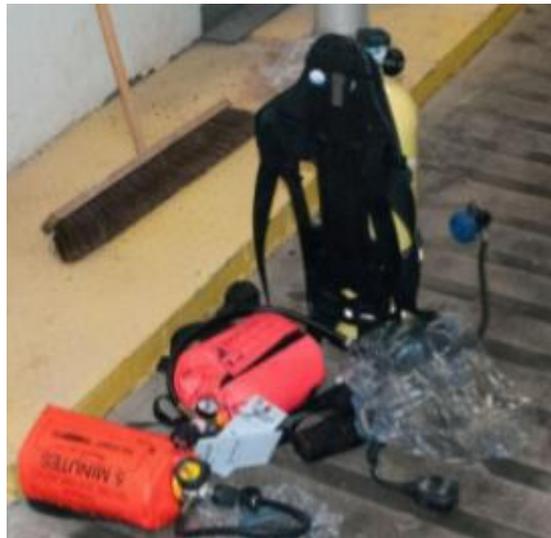


Figura 15 – Foto dos respiradores usados pelo operador 6 para resgate dos operadores dentro do prédio de produção. Fonte: CSB, 2019

⁷ Sistema eletrônico de comunicação compreende microfones, amplificadores, alto-falantes e equipamentos relacionados.

Ao adentrar pela escada sul, o operador 6 encontrou com o operador 4 desorientado devido à exposição ao vapor de metil mercaptano que ocorreu no segundo andar. O operador 6 foi capaz de ajudá-lo colocando uma bolsa de ar de escape nas costas dele e abrindo a válvula de ar do cilindro. Isso fez com que o operador 4 melhorasse e pudesse sair com segurança do prédio. Após isso, o operador 6 colocou em si mesmo o segundo dos três respiradores e acionou manualmente o alarme de liberação de fumaça das instalações do prédio. Tal alarme tinha a função de alertar os trabalhadores da área sobre uma liberação química tóxica no prédio. Feito isso o operador 6 se dirigiu para o terceiro andar para ir ao encontro dos outros companheiros.

Nesse momento a sala de controle acionou o time de resposta de emergência da planta (ERT “*emergency response team*”), que inicialmente acreditava ser um chamado em uma situação de resgate. Dessa forma, chegaram ao local com equipamentos de resgate, precisando de cerca de uma hora e meia até voltarem com os equipamentos de proteção pessoal adequados para entrada no prédio.

Já no terceiro andar, o operador 6 achou um respirador de 30 minutos (SCBA – “*self-contained breathing apparatus*”) e tentou ajudar seu irmão (operador 2) colocando um dos respiradores de 5 minutos em sua face. Entretanto, apesar dos esforços do operador 6 o operador 2 não resistiu. E, devido à exposição prolongada, o operador 6 também faleceu.

A investigação indica que as válvulas de drenagem de gás residual da tubulação coletora estavam completamente abertas, com vazamento contínuo. O supervisor de turno e os operadores 1, 2 e 6 foram localizados pela equipe de resposta de emergência, entretanto após tentativa de reanimação nenhum deles reagiu.

O supervisor de turno foi encontrado no terceiro andar do prédio a cerca de 10 metros de distância das válvulas, enquanto o operador 1 estava na escada do lado norte entre o terceiro e segundo andar. Isso levou os investigadores a crer que o mesmo foi fatalmente atingido pelos efeitos do vazamento tóxico enquanto ainda tentava sair do prédio. Já os operadores 2 e 6 foram encontrados juntos no terceiro andar do lado seco do prédio de produção. O primeiro estava com o último dos três respiradores na cabeça e o outro com a máscara e o SCBA em sua frente, mas não conectados. A investigação aponta que muito provavelmente o operador 6, ao tentar salvar seu irmão, não resistiu à exposição a tempo de conectar sua máscara ao cilindro de respiração.

Segundo o relatório, houve ainda reflexo do vazamento de gás em algumas zonas urbanas que se localizavam na direção a favor do vento. Entretanto não houve nenhum evento grave nestas áreas.

O prédio onde os funcionários faleceram não estava adequadamente equipado com um sistema de detecção de gás tóxico para alertar os trabalhadores da presença de químicos perigosos. Além disso, dois ventiladores de telhado não estavam funcionando, e, mesmo se estivessem, os investigadores indicaram que provavelmente não evitaria a atmosfera letal dentro do prédio devido a grande quantidade de gás tóxico liberado.

3.5. Recomendações da Investigação do acidente de La Porte, Texas

A investigação da CSB (CSB, 2019) revelou falhas nos procedimentos de segurança da empresa e no projeto de engenharia da planta. Tais pontos contribuiriam para a gravidade do acidente, onde foram encontradas várias deficiências no gerenciamento de segurança de processo, respostas de emergência ineficientes ao vazamento tóxico e falhas na cultura de segurança de processo da DuPont. Além do fechamento da unidade a CSB determinou algumas recomendações a serem seguidas pela DuPont:

- **Revisar o Design Inerentemente mais Seguro (ISD)**

A implementação de um ISD que efetivamente previna que tanto os funcionários da fábrica quanto os habitantes da região sejam expostos à vazamentos de substâncias tóxicas. Dessa forma é essencial conduzir um estudo de engenharia aprofundado acerca do prédio de produção e da descarga do sistema de alívio de pressão em cenários envolvendo produtos tóxicos para avaliação de diferentes opções potenciais de ISD. Além disso, faz-se necessário avaliar o uso de uma estrutura de construção aberta para o processo de produção de inseticidas, com equipamentos que direcionem as emissões de substâncias tóxicas para a destruição no incinerador NRS.

- **Garantir um prédio de produção seguro para os funcionários**

Conduzir uma avaliação robusta de engenharia do prédio de produção e do sistema de ventilação de ar para que se possa efetuar a implementação de ações corretivas na maior medida possível, a fim de garantir um ambiente de trabalho seguro para todos os funcionários. Identificar e implementar controles eficazes para riscos de asfixia e inflamabilidade.

- **Análise Preliminar de Risco mais robusta**

Desenvolver e implementar um cronograma para execução de Análises Preliminares de Riscos (APRs) mais robustas e consistentes com as recomendações para todas as unidades da IBU. As APRs devem, no mínimo, identificar e controlar efetivamente os perigos referenciados no relatório de investigação (CSB, 2019). Além disso, as análises devem ser priorizadas baseadas nos riscos ao público e funcionários a fim de garantir que as áreas de maiores riscos recebam a devida prioridade.

- **Transparência Pública**

Tornar publicamente disponível um resumo do relatório de Investigação de Acidentes de La Porte, o plano integrado para retomada da planta e as ações a serem tomadas para a implementação das recomendações. O site deve ser atualizado periodicamente para refletir com acurácia o andamento da implementação das recomendações.

- **Atualização do Programa de Resposta à Emergência (ERT)**

O ERT deve abordar principalmente os seguintes pontos:

- Garantir a realização de exercícios periódicos em novos procedimentos desenvolvidos para o fortalecimento das capacidades do programa.
- Pré-identificação de especialistas nas unidades como suporte técnico e para garantir a capacidade de resolução de problemas no caso de a equipe principal estar indisponível no momento;
- Detalhamento claro nos procedimentos de emergência da planta, os protocolos de alerta e notificação para diferentes tipos de emergências. Além disso, a inclusão de um guia para os atendentes de emergência nos casos de insuficiência nas informações iniciais para avaliação da natureza do problema e o nível de recursos necessários;
- Monitoramento efetivo de gases perigosos ao longo das tubulações nas instalações químicas a fim de auxiliar os funcionários da planta a entender e comunicar claramente a extensão de um vazamento;
- Avaliação das áreas de alto risco, incluindo processos cobertos pelo Gerenciamento de Segurança de Processo para detecção da necessidade de alarmes e detectores na

identificação de vazamentos químicos. Além disso, equipar estas áreas com tecnologia de vigilância para identificação dos funcionários em campo.

4. FALHAS NO SISTEMA RBPS NO ACIDENTE DE LA PORTE

As investigações do acidente da DuPont em La Porte apontam diversas falhas de segurança que poderiam ter sido evitadas através de uma aplicação eficaz de um sistema de gestão de segurança baseado em risco. Nesse sentido, este capítulo tem por objetivo abordar de que maneira os elementos estudados da abordagem RBPS falharam durante o decorrer do acidente na unidade, revisitando os principais sistemas, eventos e comportamentos críticos descritos e analisados no relatório de investigação (CSB, 2019).

4.1 Fornecimento de Matéria Prima

A cadeia de eventos que resultou no acidente começou com o descarregamento da matéria prima AAO de uma forma diferente da convencional. A troca do sistema de fornecimento, causada por questões logísticas, de vagões de AAO concentrados 100% para caminhões tanques com AAO diluídos 50% deveria ter gerado uma *Gestão de Mudanças (MOC)* acompanhada de uma *Identificação de Perigos e Análise de Risco e Procedimentos Operacionais* escritos para o descarregamento da matéria prima nesta composição e formato.

A ativação do sistema de diluição inadvertidamente aponta falhas de controle operacional que prejudicaram a realização da operação de forma confiável, o que reflete no comprometimento com a segurança de processos no momento da operação (*Cultura de Segurança de Processos*). Novamente existe ausência de procedimento escrito para lidar com tal cenário.

Um gerenciamento de mudanças devidamente aplicado poderia gerar uma análise de risco e, possivelmente, procedimentos escritos que auxiliassem a força de trabalho no prosseguimento deste novo descarregamento. Esta falha de gerenciamento é a mesma ocorrida no famoso acidente de Flixborough, Inglaterra, no dia 1 de junho de 1974, quando a explosão de uma nuvem de ciclohexano causou 28 fatalidades, mais de 100 feridos e destruiu completamente a unidade de produção de caprolactama, um monômero precursor de polímeros denominados nylon 6, da Nypro Factory. O acidente envolveu a instalação de uma linha by-pass para suprir a falta de um dos seis reatores dispostos em série em decorrência de uma corrosão no casco deste reator. Entretanto, a decisão não levou em consideração a realização das análises de riscos e a mudança causou o rompimento da tubulação após dois meses de operação, gerando uma grande explosão atingindo um raio de 13km (HSE, 2020).

4.2 Reinício da Unidade

O AAO fora da concentração provocou o shutdown da planta, evento este que sucedeu ajustes no controle da concentração de AAO. Entretanto, a falha na reinicialização da unidade no dia 12 de novembro demonstra deficiências no elemento *Prontidão Operacional*. Isso porque a equipe técnica não foi capaz de avaliar eficientemente as condições para reinicializar as operações. Uma *Identificação de Perigos e Análise de Risco* prévia poderia identificar a formação do “*slurry*” na tubulação pertencente ao sistema de reação antes da reinicialização das operações. Ainda neste contexto, a estratégia para resolução do problema de bloqueio da linha seguiu um procedimento que não estava prescrito oficialmente, colocando em risco a segurança. Improvisos, tentativas informais e não documentadas, revelam falhas nos elementos *Cultura de Segurança de Processos e Procedimentos Operacionais*.

4.3 Abertura da Válvula

A decisão dos operadores de que o bloqueio inicial estava resolvido sem uma garantia confiável da validade do aquecimento demonstra uma *Cultura de Segurança de Processo* fraca. Isso porque fatores culturais mal desenvolvidos não permitiram a criação de procedimentos operacionais escritos para a resolução de problemas (*Procedimentos Operacionais*). Nesse sentido, um direcionamento mais eficaz à força de trabalho poderia prever os riscos associados à estratégia adotada e, possivelmente, prever a válvula aberta. Além disso, procedimentos cautelosos poderiam assegurar uma operação mais segura e evitar o prosseguimento do *restart* com a válvula aberta. Dessa maneira, o elemento de *Prontidão Operacional*, falhou mais uma vez à medida que a unidade ainda não estava pronta para ser reinicializada.

O aumento do nível no tanque de estocagem de metil mercaptano, e suas consequências, devido ao fluxo de água que escapou para tubulações adjacentes poderia ter sido previsto por uma análise de risco da tarefa ou procedimento, que levaria à tomada de ações corretivas adequadas. Ao invés disso, um grande volume de água e adentrou no tanque e o sistema de controle não detectou a anormalidade, demonstrando assim tolerância ao desvio⁸. Logo, a falta de um sistema confiável que fosse capaz de alertar os operadores do evento aponta que princípios do elemento *Integridade de Ativos e Confiabilidade*,

⁸ Uma situação inadequada de um processo que tem potencial de gerar uma condição perigosa ou até um acidente. Uma situação em desacordo com regras, normas, boas práticas ou especificações pré-determinadas.

como identificação das falhas operacionais dos equipamentos, não foram considerados e não permitiram seu serviço em um momento crítico.

4.4 Entupimento da linha de alimentação

Uma das causas do vazamento de metil mercaptano foi a falta de salvaguardas para prevenir que o metil mercaptano se solidificasse dentro da tubulação de alimentação. A equipe técnica de análise de risco não avaliou efetivamente este cenário apesar da reunião na véspera do acidente, após o vazamento inadequado de água para as tubulações de alimentação ter interrompido o reinício das operações.

Apesar de existir documentação interna sobre a formação de hidrato na linha sob baixas temperaturas, as medidas tomadas não asseguraram um processo seguro. Mesmo que a equipe de análise de risco tenha decidido o aquecimento da linha como estratégia para dissociar o hidrato, a DuPont não identificou a necessidade de desenvolver um procedimento formal ou sistema de engenharia para aquecer a linha com segurança (*Procedimentos Operacionais*). Dessa forma, o plano de aquecimento da linha com água quente sob o isolamento foi executado sem uma completa *Identificação de Perigos e Análise de Risco*. O aquecimento era também uma modificação que, embora temporária, precisava ser formalmente avaliada (falha em *MOC*).

Pode-se indicar, ainda, indicar falhas nos elementos *Cultura de Segurança de Processo*, *Práticas de Trabalho Seguro* e *Realização das Operações* à medida que informações de processo necessárias não foram repassadas para o supervisor da noite de maneira eficiente. O mesmo não tinha pleno conhecimento da estratégia adotada pelo turno anterior, que foi realizada por uma comunicação verbal entre os dois supervisores no momento de troca de turno. Essa deficiência na troca de turno demonstra falhas da DuPont na implementação de lições aprendidas de acidentes anteriores na indústria. Isso porque, o maior acidente da indústria *offshore*, ocorrido em 6 de julho de 1988 na plataforma Piper Alpha⁹, teve como uma das principais causas a falta de comunicação eficiente entre supervisores na troca de turno (THOMSON, 2015). Na ocasião, houve a manutenção de uma válvula de alívio no turno anterior que impossibilitaria a utilização de uma linha específica de gás natural. Entretanto, o turno seguinte não foi avisado corretamente e

⁹ Piper Alpha era uma plataforma de petróleo localizada no mar do Norte, nas proximidades da Escócia. O acidente foi resultado de uma série de falhas que levaram à morte de 167 pessoas e destruição total da plataforma após uma série de explosões e incêndios. As lições aprendidas em Piper Alpha podem ser aplicadas à exploração offshore, bem como em outros setores industriais (SINGH *et al*, 2010)

operadores colocaram uma bomba em serviço. O bombeamento desta linha fez com que o condensado de gás natural fosse liberado e produzisse uma nuvem de gás inflamável que, ao encontrar uma fonte de ignição, iniciou o desastre. As primeiras explosões atingiram a sala de controle, que foi completamente destruída. Isso impossibilitou a comunicação com plataforma vizinhas que continuavam enviando hidrocarbonetos por meio de dutos e, conseqüentemente, alimentando o incêndio na plataforma.

Além disso, uma implementação adequada dos elementos *Gestão de Mudanças (MOC)* e *Identificação de Perigos e Análise de Risco* poderiam ter identificado o caminho preferencial que o metil mercaptano líquido levou antes da equipe aplicar água quente no isolamento da tubulação. Além disso, a falta de um plano de ação capaz de gerenciar as operações de resolução de problemas com maior eficácia aponta para falhas em *Procedimentos Operacionais*.

4.5 Novo Alinhamento de Tubulação

O foco em resolver o problema da formação de hidrato na linha de alimentação mobilizou grande parte dos operadores na madrugada do dia 15 de novembro, dia do acidente. Entretanto, a eficácia da resolução foi fraca uma vez que a equipe técnica demorou a perceber que o aquecimento da linha de metil mercaptano causaria sua expansão térmica (*Gestão do Conhecimento de Processo* e *MOC*). Além disso, durante o aquecimento da linha, a bomba ainda circulava metil mercaptano para a tubulação de alimentação levando ao nível baixo do tanque de armazenamento de metil mercaptano, que não foi identificado pelos sistemas de controle, apontando para tolerâncias ao desvio novamente. Dessa maneira, a decisão de abrir as três válvulas para alívio da pressão na linha de alimentação não levou em consideração as conseqüências do novo alinhamento criado (Figura 14) e o fato da bomba estar ligada. Além disso a própria descarga atmosférica e abertura manual das válvulas indica falhas na *Cultura de Segurança do Processo*.

Conclui-se então que a execução de uma *Gestão de Mudanças (MOC)* eficaz antes do aquecimento da tubulação com água quente e antes da criação de um novo alinhamento de tubulação entre a linha de alimentação de metil mercaptano e a tubulação coletora de gases industriais poderia evitar poderia ter identificado os perigos que levaram ao acidente. Um procedimento escrito (*Procedimentos Operacionais*) deveria comunicar a abordagem planejada para todos os operadores e supervisores evitando possíveis confusões. Além disso, alertaria os funcionários do perigo potencial, como o novo

alinhamento que criou o caminho preferencial para o metil mercaptano líquido escoar para dentro do prédio de produção.

4.6 Lavador de Gases - NRS

Conforme mencionado, após a instalação do equipamento as análises de risco já haviam identificado problemas de aumento de pressão nos equipamentos conectados à linha coletora de gases residuais. Na ocasião o acúmulo de líquido foi considerado a causa do evento, entretanto a DuPont nunca estabeleceu um *Procedimentos Operacionais* para drenagem do líquido acumulado presente nas tubulações com destino ao incinerador. Também não avaliou a instalação de um vaso separador na linha.

Pode-se destacar também falhas posteriores à *Identificação de Perigos e Análise de Risco*, uma vez que detectado o cenário de aumento de pressão nenhuma recomendação adequada foi considerada. Além disso, a prática rotineira de abrir as válvulas de drenagem para escoar o líquido acumulado, não prescrita em nenhum procedimento, sendo rotineiramente levada adiante pelos operadores sem quaisquer considerações da composição deste líquido e das consequências da abertura das mesmas, pondo assim em xeque, principalmente, os elementos de *Cultura de Segurança de Processo, Realização das Operações e Práticas de Trabalho Seguro*.

Nesse sentido destaca-se que a tolerância ao desvio, inclusive, e principalmente, por parte de gerentes e supervisores também estava presente, pois foi identificado o desvio e nada foi feito para mitigar os riscos. Isso se relaciona com deficiências na cultura organizacional da empresa à medida que ações como essas ocorrem rotineiramente sem nenhuma ação mitigadora ou corretiva. Tais falhas e deficiências se assemelham a uma das causas de um acidente conhecido e recentemente investigado pela CSB: British Petroleum (BP) em Texas City (CSB, 2007) em 13 de março de 2005, no qual houve 15 mortes e 180 feridos durante uma série de explosões na refinaria devido ao transbordamento da torre de destilação com hidrocarbonetos. Os alarmes e instrumentos de controle não foram capazes de alertar operadores acerca do nível alto na torre¹⁰. Sem conhecimento, operadores continuaram com alimentação de hidrocarbonetos, até que a torre transbordou e houve a criação de uma nuvem inflamável pela unidade e consequente explosão. A investigação apontou para falhas de segurança e organizacionais em todos os

¹⁰ Segundo a investigação da CSB quando o indicador de nível da torre mostrava 10ft (3m) o nível, na realidade, era de 138ft (42m).

níveis da companhia. Isso porque sinalizações dos alarmes para possíveis desastres estavam presentes na unidade há anos e nada era feito, resultado de uma cultura de processos fraca e deficiências no gerenciamento de segurança de processos. Além disso, a refinaria continuava a usar equipamentos obsoletos ao invés de projetos mais modernos e seguros. Esses tipos de problemas continuaram e levaram ao acidente na refinaria.

4.7 Sistema de Ventilação

O fato de nenhum dos exaustores estarem funcionando no dia do acidente indica deficiências na confiabilidade destes equipamentos e, conseqüentemente, falhas no elemento de *Integridade de Ativos e Confiabilidade* no que tange a garantia de sua utilização ao longo do ciclo de vida do processo, indicando que existe tolerância ao desvio. Embora a falta de um sistema de ventilação confiável e operacional no prédio de produção não tenha sido indicada como um dos fatores contribuintes para o acidente, segundo os investigadores da CSB, o sistema poderia ajudar a prevenir uma atmosfera tóxica se salvaguardas adequadas fossem implementadas (sistema para destruição dos contaminantes).

O relatório (CSB, 2019) declara ainda que os sistemas de ventilação do prédio de processo úmido (produção de Lannate®) já haviam sido identificados com problemas técnicos em auditorias periódicas cerca de um mês antes do acidente. Entretanto, ações corretivas resultantes não foram consideradas com a devida importância e não foram efetivamente executadas (falha no elemento *Análise da Gestão e Melhoria Contínua*). Além disso, detectadas as falhas nestes sistemas a organização deveria ter restringido o acesso ao prédio de produção e exigir que os funcionários usassem EPIs adequados em seu interior (*Cultura de Segurança de Processo e Competência em Segurança de Processo*).

4.8 Prédio de Produção

A ida do supervisor e do operador 1 ao prédio de produção na tentativa de reduzir as pressões nos equipamentos, causadas pela presença de metil mercaptano na tubulação, demonstra falhas na *Cultura de Segurança de Processo e Competência em Segurança de Processo*. Isso porque, alarmes já vinham alertando altos níveis de metil mercaptano dentro do prédio, entretanto os operadores da sala de controle não se deram conta da gravidade pois, numa prática rotineira, estavam “acostumados” aos alarmes. Mais um exemplo de tolerância ao desvio no processo.

A chamada de emergência realizada pelo operador 1 apresentou deficiências quanto a informações relevantes do ocorrido, como natureza e local da emergência, prejudicando assim a compreensão do ERT e a consequente resposta de emergência da unidade. Este ponto reflete que a *Gestão de Emergências* não era completamente apropriada. A gravidade desta falha toma proporções ainda maiores quando outros operadores (operadores 2,3 e 4), sem conhecimento prévio do ocorrido e nem a devida proteção (*Práticas de Trabalho Seguro*), resolvem ir ao local.

O ERT só foi acionado formalmente com a entrada do operador 6 no prédio, entretanto a equipe precisou atrasar suas atividades pois levavam equipamentos de resgate e não para socorrer os operadores em uma situação de vazamento de gás tóxico. Os procedimentos da ERT reforçam falhas nas respostas de emergências e na cultura de segurança de processos da organização.

A falta de uma tecnologia capaz de identificar a localização dos operadores dentro do prédio de produção fez com que a sala de controle dependesse apenas das tentativas de comunicação dos operadores. Nesse sentido, um sistema de monitoramento poderia auxiliar nas buscas de respostas de emergências mais eficazes (*Gestão de Emergências*). Além disso, não havia um sistema de detecção que alertasse os operadores da presença de gás tóxico dentro do prédio.

4.9 Análise Geral dos Elementos

Discutidos os elementos da abordagem RBPS que falharam no decorrer do acidente em La Porte pode-se perceber que, além de uma cultura de segurança de processos fraca, existiam grandes deficiências nos procedimentos operacionais executados pelos funcionários, projeto de engenharia da unidade, gestão de mudanças e tolerância aos desvios. A Tabela 2 apresenta um resumo dos elementos que falharam em cada evento ou sistema de acordo com a análise apresentada nos itens anteriores.

Tabela 2 – Principais elementos de falha do acidente de La Porte.

Evento/Sistema Elemento RBPS	Fornecimento da Materia Prima	Reinício da Unidade	Abertura da Válvula	Entupimento da Linha de Alimentação	Novo Alinhamento de Tubulação	Sistema de Ventilação	Lavador de Gases	Prédio de Produção
Cultura de Segurança de Processos	x	x	x	x	x	x	x	x
Conformidade com Padrões e Normas								
Competência em Segurança do Trabalho						x		
Participação da Força de Trabalho								
Abrangência às Partes Interessadas								
Gestão do Conhecimento de Processo					x			
Identificação de Perigos e Análise de Risco	x	x		x			x	
Procedimentos Operacionais	x	x	x	x	x		x	
Práticas de Trabalho Seguro				x			x	x
Integridade de Ativos e Confiabilidade			x			x		
Gerenciamento de Contratadas								
Garantia de Treinamento e Performance								
Gestão de Mudanças (MOC)	x			x	x			
Prontidão Operacional		x	x					
Realização de Operações				x			x	
Gestão de Emergências								x
Investigação do Acidente								
Medidas e Métricas								
Auditoria								
Análise da Gestão e Melhoria Contínua						x		

O hábito comum de ignorar sinais de alarme descrito em alguns eventos do acidente de La Porte, indica graves problemas de tolerância ao desvio. Logo isto se torna um ponto de atenção que prejudica um gerenciamento de segurança de processos eficaz, a exemplo do acidente em Texas City. A força de trabalho deve ser treinada e entender que quando um desvio ocorre, o processo está desprotegido. A compreensão deste princípio está fortemente atrelada a importância que uma companhia dá à segurança de processo, ou seja, na sua cultura de segurança de processos. Alguns eventos de La Porte apresentaram tolerâncias a desvios como foi o comportamento dos operadores ao serem alertados de níveis altos de metil mercaptano dentro do prédio de produção. Outros exemplos foram os desvios representados pela bomba em serviço, que permitiu fluxo de metil mercaptano pela tubulação de alimentação bem como a deficiência operacional nos exaustores do sistema de ventilação dentro do prédio de produção. Além disso, a mesma falha ocorreu em Belle no acidente de vazamento de clorometano quando operadores ignoraram os alarmes por já estarem acostumados a este tipo de desvio. Dessa maneira, torna-se coerente associar que uma cultura de processos fraca somada a falhas nas práticas de trabalho seguro e à garantia à integridade de ativos resultem na tolerância aos desvios no processo. Falhas no elemento de auditoria também podem se encaixar como uma das causas desta tolerância no que tange a implementação de ações corretivas que deveriam ser geradas pela identificação destes desvios em auditorias periódicas.

Numa instalação industrial, o conhecimento das ordens de serviço em andamento é crucial para o andamento e segurança de um processo produtivo. Logo, uma comunicação eficaz entre supervisores e operadores na troca de turnos também é vista como crítica para a segurança, como foi visto nas lições aprendidas do acidente de Piper Alpha. A comunicação é necessária para transmitir o status da operação, mudanças em andamento, anormalidades e condições de operação não usuais. Confiar unicamente em uma forma de comunicação, especialmente na verbal, pode levar a força de trabalho vulnerável à potenciais *gaps* nas informações comunicadas, mal-entendido ou falta de informações críticas que podem estar relacionadas à situação. O evento de *troubleshooting* do entupimento da linha de alimentação em La Porte foi um claro exemplo da importância do elemento de realização das operações e práticas de trabalho seguro, onde a falha comunicação impediu o prosseguimento das atividades de maneira segura.

Uma atenção especial deve ser dada para operações não rotineiras, como foi o caso da drenagem do condensado nas válvulas e os novos alinhamentos criados. Estas operações envolvem questões com sistemas de segurança, equipamentos, procedimentos ou práticas pessoais que podem criar perigos adicionais levando a graves acidentes se a MOC for realizada de maneira ineficiente. As recorrentes falhas na gestão de mudanças no processo em La Porte também podem ser consideradas motivo de uma cultura de segurança fraca, assim como foi visto no acidente de Flixborough. Todas as modificações de projeto e/ou processo, como foi o caso dos novos alinhamentos, devem ser devidamente analisadas quanto aos seus riscos, e os mesmos gerenciados e controlados.

No geral, pode-se destacar falhas no elemento de investigação de acidentes à medida que, como foi discutido, diversos acidentes anteriores a La Porte (inclusive da DuPont) já haviam sido estudados e divulgados os principais elementos que falharam levando à eventos desastrosos. Isso levou a crer que DuPont não aprendeu com o passado, mesmo com a todas as informações sendo disponibilizadas, principalmente dos acidentes mais conhecidos na indústria química. Além disso, percebe-se que a liderança de segurança da unidade faltou em revisar o gerenciamento existente na unidade a fim de evitar ou prevenir alguns dos eventos ocorridos que levaram ao acidente. Dessa forma, uma análise mais profunda acerca dos elementos RBPS visando a melhoria dos mesmos poderia levar à uma maior garantia da segurança de processos na unidade de produção de inseticida de La Porte.

5. CONCLUSÃO

O tema de segurança de processos veio evoluindo ao longo do tempo à medida que grandes acidentes na indústria foram ocorrendo. Dessa maneira foi sendo exigido diretrizes por parte de organizações e entidades a fim de auxiliar as operações de forma mais segura. Diversos modelos de gerenciamento são usados atualmente e a DuPont baseou-se em alguns para criação do seu sistema corporativo de gerenciamento de segurança de processos.

Nesse sentido, apesar de ter desenvolvido e implementado seu próprio sistema de gerenciamento de segurança de processos, a DuPont demonstrou grandes deficiências nas aplicações do mesmo e, conseqüentemente, na condução de um gerenciamento baseado em riscos bem-sucedido.

Dessa maneira, à medida que os mesmos elementos do RBPS apresentaram falhas nos três acidentes da DuPont descritos neste trabalho, pode-se concluir que a organização apresentou deficiências em sua cultura de segurança de processos e dos princípios de aprendizado com a experiência. O acidente de La Porte teve como principal fraqueza os elementos de gestão do risco, com foco nos procedimentos operacionais, realizações de operação, gestão de mudanças, e integridade de ativos. Além disso, falhas na condução das análises de risco foi um grande fator contribuinte para ocorrência dos eventos, principalmente nos casos de *troubleshooting*. Uma estratégia para uma resolução de problemas robusta é essencial pois se os perigos não forem identificados antes do início de uma atividade, os funcionários poderão estar despreparados para lidar com os mesmos. Houve ainda a percepção de que a companhia tolerava desvios do processo, o que pode ser resultado de uma fraca cultura de segurança de processos associada a falhas nas práticas de trabalho seguro e integridade de ativos.

Um aspecto que ficou em evidência nas falhas do gerenciamento de segurança de processos em La Porte foi o aprendizado com experiências, uma vez que acidentes altamente reconhecimentos pela indústria tiveram suas falhas compartilhadas em investigações e muitas se assemelharam às falhas em La Porte como, por exemplo comunicação entre supervisores, MOC, tolerância ao desvio e práticas de trabalho seguro.

Por fim, o sistema RBPS se apresenta como uma oportunidade de correção de deficiências e aprimoramento de recursos da gestão de segurança de processo, além de permitir a priorização da alocação de recursos nos riscos mais significativos. A importância da

aplicação dos princípios de cada elemento nas operações pode garantir a mitigação e prevenção de acidentes como o de La Porte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AICHe/CCPS. **Guidelines for Risk Based Process Safety** | AICHe. [s.l.] Center for Chemical Process Safety, 2007.

AICHe/CCPS, **Process Safety Leading and Lagging Metrics ...You Don't Improve What You Don't Measure**, 2011.

BHOPAL. **Bhopal Gas Tragedy Information**. Union Carbide. Disponível em: <<http://www.bhopal.com/>>. Acesso em 13 jan. 2020.

CCPS. **Inherently Safer Chemical processes – A Life Cycle Approach**. 2ª edição, 2009.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC), **NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards**. Methyl mercaptan, 2016. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0425.html>>

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **Refinery Explosion and Fire**, Investigation Report, 2007. Disponível em< <https://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>>, Acesso em 25 de jan. 2020.

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **Seven Key Lessons to Prevent Worker Deaths During Hot Work In and Around Tanks**. Fevereiro, 2010. Disponível em: <https://www.csb.gov/assets/1/17/csb_hot_work_safety_bulletin_embargoed_until_10_a_m_3_4_101.pdf?14329>. Acesso em 20 de out. 2019.

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **E.I. DuPont De Nemours & CO.,INC. Belle, West Virginia. Methyl Chloride, Oleum, Phosgene Release**, Investigation Report 2011. Disponível em:< <https://www.csb.gov/assets/1/20/csb%20final%20report.pdf?13966https://www.csb.gov/dupont-la-porte-facility-toxic-chemical-release/>>. Acesso em: 30 set. 2019.

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **Fatal Exposure: Tragedy at DuPont** – YouTube, 2011 (13m54s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ISNGimMXL7M>>. Acesso em: 10 set. 2019.

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **E.I. DuPont De Nemours & CO.,INC. Buffalo, New York. Flammable Vapor Explosion**, Investigation Report 2012.

Disponível em: <
<https://www.csb.gov/assets/1/20/csb%20final%20report.pdf?13966https://www.csb.gov/dupont-la-porte-facility-toxic-chemical-release/>>. Acesso em: 30 set. 2019.

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **Interim Recommendations to DuPont La Porte, Texas.** 2015. Disponível em: <
https://www.csb.gov/assets/1/20/dupont_la_porte_interim_recommendations_2015-09-30_final1.pdf?15526>. Acesso em: 15 set. 2019

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **Animation of Chemical Release at DuPont's La Porte Facility** – YouTube, 2016 (8m06s). Disponível em: <
<https://youtu.be/pbFzuS8Bdhw> >. Acesso em: 15 set. 2019.

CHEMICAL SAFETY BOARD (CSB). **DuPont La Porte Facility Toxic Chemical Release**, Investigation Report, 2019. Disponível em: <<https://www.csb.gov/dupont-la-porte-facility-toxic-chemical-release/>>. Acesso em: 02 ago. 2019

CROWL, D. A. LOUVAR, J. F. **An Introduction to Chemical Process Safety.** 3ª edição. Jun. 2019.

DUPONT, **Material Safety Data Sheet: Lannate® SP Insecticide, 2008.** Disponível em: <
http://www.dupont.com.br/content/dam/assets/products-and-services/crop-protection/assets/Lannate_FISPO.pdf>. Acesso em 14 set. 2019.

DUPONT, **Material Safety Data Sheet: Vydate® L Insecticide, 2017.** Disponível em: <
http://www.dupont.com.br/content/dam/assets/products-and-services/crop-protection/assets/Lannate_FISPO.pdf>. Acesso em 02 out. 2019.

FRANK, W. L. **Process safety culture in the CCPS Risk Based Process Safety Model.** Process Safety Progress, Vol. 26, 3ª edição, 2007.

HSE; **A review of safety culture and safety climate literature for the development of the safety culture inspection toolkit,** 2005. Disponível em: <
<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr367.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2019.

KLEIN, J. A. **Two centuries of process safety at DuPont.** Proc. Safety, Wiley InterScience, Process Safety Program, vol. 28, n° 2, 2009. Disponível em: <
<https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/prs.10309>>. Acesso em 09 out. 2019.

MOHAMMADI, A. H., DOMINIQUE, R. D. **Equilibrium Data of Sulfur Dioxide and Methyl Mercaptan Clathrate Hydrates**, Journal of Chemical & Engineering Data, vol. 56, pp. 1666-1668, 2011.

MUNIZ, M.V.P. **Análise crítica da contribuição da técnica LOPA na gestão de segurança de processo na indústria**. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense, Mar. 2016.

Occupational Safety and Health Administration – OSHA, **Oil and Gas Well Drilling and Servicing eTool**, Disponível em: <https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/general_safety/hot_work_welding.html>
Acesso em 11 de jan. 2020.

SOUZA, R. G., LIMA, G.B.A. **Importância dos elementos estruturantes de um programa de gestão de segurança de processo: estudo de caso em uma empresa de energia**. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Jun. 2013.

AICHe/CCPS, Beacon: O que é “Segurança de Processo”?, 2008. Disponível em: <<http://sache.org/beacon/files/2008/07/pt/read/2008-07-Beacon-Portuguese-s.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

KERIN, T. (2017). **Managing Process Safety**. In The Core Body of Knowledge for Generalist OHS Professionals. Tullamarine, VIC. Safety Institute of Australia.

SINGH, B., JUKES, P., POBLETE, B., & WITTKOWER, B. (2010). **20 Years on lessons learned from Piper Alpha. The evolution of concurrent and inherently safe design**. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 23(6), 936–953. doi:10.1016/j.jlp.2010.07.011

THOMSON, J. R (2015) **Offshore Oil and gas: Piper Alpha and Mumbai High**. High Integrity Systems and Safety Management in Hazardous Industries, 201-213.

HSE - Health and Safety Executive, **Flixborough(Nypro UK) Explosion 1st June 1974**, 2020. Disponível em:<<https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/caseflixboroug74.htm>>