



Estudo de Caso do Acidente de Buncefield: Fatores Contribuintes e Oportunidades de Melhoria

Allana Rodrigues Pavão
Daniel Rocco Duarte Pereira

Projeto de Final de Curso

Orientador

Prof. Carlos André Vaz Junior, D. Sc.

Janeiro de 2023

**ESTUDO DE CASO DO ACIDENTE DE BUNCEFIELD:
FATORES CONTRIBUINTES E OPORTUNIDADES DE
MELHORIA**

Allana Rodrigues Pavão

Daniel Rocco Duarte Pereira

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:

Raquel Massad Cavalcante, D. Sc.

Pedro Maciel Rodrigues Dos Santos, M. Sc.

Orientado por:

Carlos André Vaz Junior, D.Sc

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Janeiro de 2023

Pavão, Allana Rodrigues.

Pereira, Daniel Rocco Duarte.

Estudo de caso do acidente de Buncefield: fatores contribuintes e oportunidades de melhoria / Allana Rodrigues Pavão e Daniel Rocco Duarte Pereira. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2023.

x, 49 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2023.

Orientador: Carlos André Vaz.

1. Segurança de processo baseada em risco. 2. Buncefield. 3. Vazamento. 4. Gestão de segurança de processo. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Carlos André Vaz Junior. I. Estudo de caso do acidente de Buncefield: fatores contribuintes e

oportunidades de melhoria.

AGRADECIMENTOS

Daniel Rocco Duarte Pereira

À minha mãe, Maria Luiza, por me apoiar durante minha graduação. Por me ajudar com as matérias de Físico-Química. Pelas caronas e incentivos que me fizeram seguir no curso.

Ao meu pai, Annibal, por me apoiar durante minha graduação. Por me ajudar com as matérias de Química Analítica. Por sempre estar à minha disposição quando eu estivesse precisando.

À minha irmã, Julia, pelos momentos divertidos que eu precisei para me distrair um pouco da graduação e de tudo que acontecia, principalmente durante a pandemia.

Ao meu orientador, Carlos André Vaz, por nos orientar e nos ajudar durante a elaboração deste trabalho.

À minha dupla, Allana, pela ajuda durante a elaboração deste trabalho.

Ao pessoal do NQTR, que me proporcionou minha primeira experiência em uma iniciação científica, na qual pude me desenvolver bastante como aluno. Pelos momentos divertidos dentro e fora do ambiente de trabalho. Por me receberem sempre bem mesmo depois de anos sem ser aluno de IC do laboratório.

Ao pessoal do LaQuiS pelo carinho que tinham comigo e por disponibilizar um cantinho para que eu pudesse estudar.

Ao pessoal do LabTare e do PAM por fazer 2022 um ano mais divertido, apesar dos momentos corridos e cansativos. Por me receberem da melhor forma possível quando cheguei nos laboratórios. Aprendi muito com vocês.

Aos meus amigos do grupo MecFlanche Feliz pelas horas estudando transcal na biblioteca e também as outras matérias e por dividirem comigo um pouco do estresse das disciplinas.

Aos amigos que eu fiz durante minha caminhada na graduação e aos meus amigos da época da escola.

AGRADECIMENTOS

Allana Rodrigues Pavão

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família. Aos meus pais, Anderson e Claudia, por me incentivarem e acreditarem no meu potencial. À minha irmã, Chyuiene, pelos inúmeros momentos e sonhos compartilhados. Ao meu irmão, Cauã, pelo amor e paciência nesses anos. À minha avó, Elenir, por apoiar nossos estudos sempre e os cafés da tarde enquanto eu estudava. Amo vocês!

Agradeço também meus amigos da UFRJ: Bia, Isaque, Luísa, Júlia e Giovanna. Foram muitas fotos de aulas perdidas, exercícios resolvidos juntos, almoços e bons momentos. Obrigada por estarem comigo durante a graduação. À minha dupla, Daniel, obrigada pelos estudos compartilhados e pelo companheirismo na elaboração desse trabalho!

Agradeço a EQ Hands-On por proporcionar minha primeira experiência fora da caixinha na faculdade. Aprendi muito com a professora Valdman, além de ter me divertido muito com todos.

Gostaria de agradecer, por fim, nosso orientador Carlos André Vaz, pela assistência e paciência na elaboração desse trabalho.

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

ESTUDO DE CASO DO ACIDENTE DE BUNCEFIELD: FATORES CONTRIBUTANTES E OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Allana Rodrigues Pavão
Daniel Rocco Duarte Pereira

Janeiro, 2023

Orientador: Carlos André Vaz, D.Sc.

Dada a importância do setor de óleo e gás na economia mundial e a ocorrência de diversos acidentes em indústrias deste ramo, torna-se fundamental estudar esses acontecimentos a fim de aprender com a experiência para evitar futuros desastres. Neste sentido, em uma iniciativa de fomentar na indústria atitudes e análises que vão atuar na mitigação de riscos, a CCPS criou a abordagem de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS). Este sistema de gestão, representado por 20 elementos dividido em 4 pilares, direciona empresas para que otimizem suas gestões de segurança de processo. Assim, o trabalho em questão visa estudar os aspectos que provocaram o acidente de Buncefield, uma explosão provocada pelo vazamento de petróleo de um de seus tanques de armazenamento, além de associar esses fatores com falhas na abordagem do RBPS. Após analisar os dois principais contribuintes que acarretaram no acidente, pôde-se observar que diversos elementos do RBPS estavam mal estruturados na administração das empresas responsáveis pelo depósito. Dessa maneira, sugere-se mudanças para, por exemplo, entender o funcionamento de dispositivos vitais para o controle de nível de tanque e como ocorre sua manutenção. Além disso, aconselha-se instalar câmeras mais próximas dos tanques de armazenamento para melhor visualização do que está acontecendo próximo deles. O estudo possibilita, portanto, aprender com o ocorrido a fim de evitar que outros acidentes aconteçam por erros semelhantes.

Palavras-chave: segurança de processo baseada em risco, Buncefield, explosão, gestão de segurança de processo, tanques de armazenamento, vazamento.

SUMÁRIO

O

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

2. O ACIDENTE DE BUNCEFIELD

2.1. O ACIDENTE

2.1.1. CONSEQUÊNCIAS DO ACIDENTE

3. GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADO EM RISCOS

3.1. CCPS

3.2. RBPS

3.2.1. Comprometimento com Segurança de Processo

3.2.1.1. Cultura de Segurança de Processo

3.2.1.2. Conformidade com Padrões e Normas

3.2.1.3. Competência em Segurança de Processo

3.2.1.4. Envolvimento da Força de Trabalho

3.2.1.5. Atendimento aos Stakeholders

3.2.2. Compreender perigos e riscos

3.2.2.1. Gestão de conhecimento de processo

3.2.2.2. Identificação dos Perigos e Análise de Risco

3.2.3. Gerenciar riscos

3.2.3.1. Procedimentos operacionais

3.2.3.2. Práticas de Trabalho Seguro

3.2.3.3. Integridade de Ativos e Confiabilidade

3.2.3.4. Gerenciamento de Contratos

3.2.3.5. Treinamento e Acompanhamento de Performance

3.2.3.6. Gerenciamento de Mudanças

3.2.3.7. Prontidão Operacional

3.2.3.8. Condução das Operações

3.2.3.9. Gerenciamento de Emergência

3.2.4. Aprender com a Experiência

3.2.4.1. *Investigação de Incidentes*

3.2.4.2. *Métricas e Indicadores*

3.2.4.3. *Auditorias*

3.2.4.4. *Gerenciamento de Revisões e Melhoria Contínua*

3.3. **POR QUE IMPLEMENTAR O SISTEMA DE GESTÃO RBPS**

4. ANÁLISE DO ACIDENTE CONFORME A ABORDAGEM DO RBPS

4.1. **IHLS**

4.1.1. **COMO FUNCIONAVA O IHLS**

4.1.2. **PREVENÇÃO PARA O IHLS**

4.2. **ATG**

4.2.1. **PREVENÇÃO PARA O ATG**

4.3. **OUTRAS CAUSAS**

4.3.1. **CONTROLE DE ENTRADA DE COMBUSTÍVEL**

4.3.2. **AUMENTO NA TAXA DE TRANSFERÊNCIA**

4.4. **RECOMENDAÇÕES**

5. CONCLUSÃO

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Participação percentual de cada fonte nesse consumo de energia por ano. Fonte: BP (2022).....	1
Figura 2: Dados retirados do Learning Lessons from Major Incidentes. Adaptado de IChemE (2022) pág. 8.....	3
Figura 3: Número de acidentes e fatalidades e taxa de fatalidade por acidente no período de 2013-2017 para acidentes do setor de óleo e gás. Modificado de Nwankwo, et al (2021)....	4
Figura 4: Localização de Buncefield em relação à Inglaterra. Fonte: HSE, 2008.....	8
Figura 5: Esquema do sistema de tubulações que fornece Buncefield. Adaptado de BPA. 1- Terminal de Kingsbury; 2- Buncefield; 3- Terminal de Thames; 4- Aeroporto de Heathrow.	9
Figura 6: Localização de Buncefield em relação à Londres. Fonte: Google Maps.....	10
Figura 7: Aeroporto de Heathrow em relação a Londres, Inglaterra. Adaptado de Google Maps.....	10
Figura 8: Buncefield (indicado pelo círculo preto) em relação à Rodovia M1 (indicado à direita) e ao estado industrial/comercial de Maylands (indicado à esquerda). Adaptado de Google Maps.....	11
Figura 9: Vista de cima (norte) de Buncefield Hertfordshire antes do acidente. Adaptado de HSE, 2008.....	12
Figura 10: Névoa branca se dispersando. Fonte: HSE, 2008.....	13
Figura 11: Tanque 912 (indicado em laranja) após o acidente. Adaptado do HSE, 2008...14	14
Figura 12: A fumaça gerada pelo incêndio. A estrada que corta no centro inferior da imagem é a rodovia M1. Fonte: HSE, 2008.....	15
Figura 13: Bombeiros agindo para apagar o incêndio. O tanque da direita pegando fogo é o tanque 912, responsável pelo acidente. Fonte: HSE, 2008.....	15
Figura 14: Site de Buncefield. 1- BPA (norte); 2- HOSL (oeste); 3- BPA (sul); 4- HOSL (leste); 5- Shell (até 04/2003); 6- BP Oil.....	17
Figura 15: Esquema geral de um tanque de teto com flutuação interna que representa o tanque 912. Adaptado de HSE, 2008.....	34
Figura 16: IHLS. Adaptado de COMAH, 2011.....	36

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Estatísticas descritivas dos dados de acidentes da Associação Internacional de Produtores de Petróleo e Gás (IOGP) coletados de 2013 a 2017. Adaptado de Nwankwo, et al (2021).....	5
Tabela 2: Os 4 pilares e seus 20 elementos da RBPS. Adaptado de CCPS/AIChE, 2007...	21

NOMENCLATURA

AIChE - *American Institute of Chemical Engineers*
ATG - *Automatic Tank Gauging System*
BPA - *British Pipeline Agency Limited*
CCPS - *Center for Chemical Process Safety*
CCTV - *Closed-Circuit TeleVision*
COMAH - *Control of Major Accident Hazards Regulations*
EPA - *U.S. Environmental Protection Agency*
FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*
GNL - *Gás Natural Liquefeito*
GPP - *Planta de Processamento de Gás*
HAZOP - *Hazard and operability study*
HOSL - *Hertfordshire Oil Storage Limited*
HSE - *Health & Safety Executive*
IChemE - *Institution of Chemical Engineers*
IHLS - *Independent High-Level Switch*
IOGP - *International Association of Oil & Gas Producers*
MAH - *Major Accident Hazard*
MCS - *Motherwell Control Systems 2003 Limited*
MOC - *Gestão de Mudança*
OSHA - *US Occupational Safety and Health Administration*
PHA - *Process Hazard Analyses*
PSM - *Process Safety Management*
RBPS - *Risk Based Process Safety*

1. INTRODUÇÃO

O setor de óleo e gás é responsável por suprir mais de 50% da demanda de energia do mundo (BP, 2022), além de servir como matéria-prima para outros processos produtivos, mostrando sua relevância no cenário global. É um campo com espaço para crescimento, que contribui para a geração de empregos de alta qualificação e produtividade, movimentando o mercado internacional com as exportações e importações e é fonte de arrecadação de tributos nas esferas municipal, estadual e federal.

De acordo com a revisão estatística da Energia Mundial realizada pela BP em 2022, óleo e gás foram responsáveis por cerca de 31% e 25%, respectivamente, da energia consumida em 2021 (Figura 1), somando sozinhas 56% da energia mundial consumida.

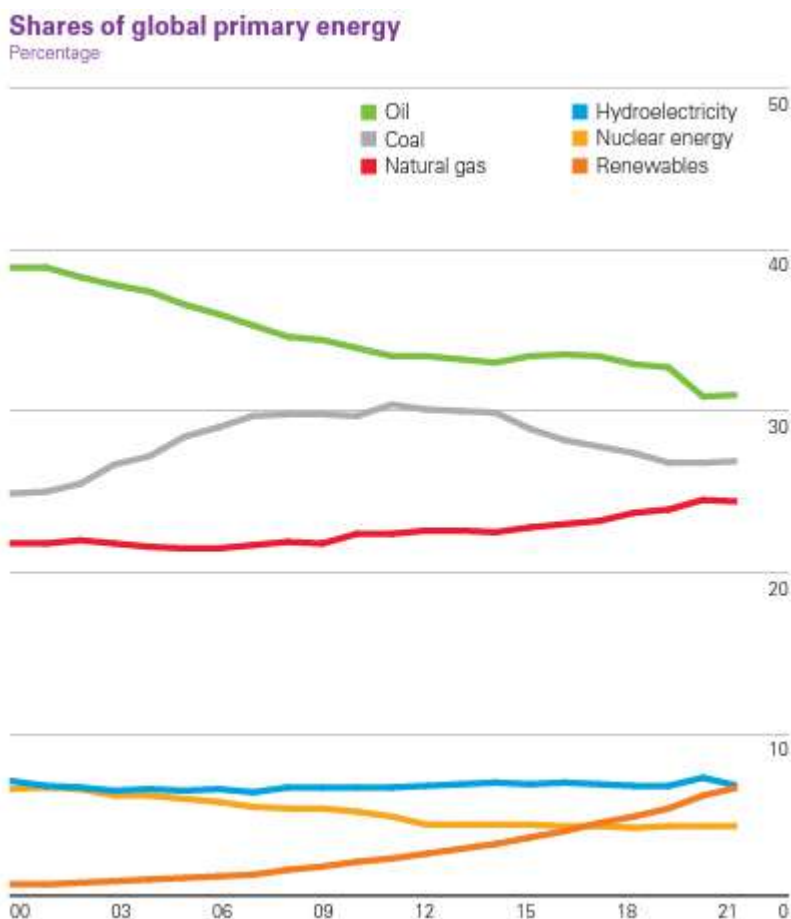


Figura 1: Participação percentual de cada fonte nesse consumo de energia por ano. Fonte: BP (2022).

Dentre as etapas da cadeia produtiva de óleo e gás, um estágio importante é o armazenamento e distribuição dos produtos finais. Em locais de armazenamento, tanto matéria-prima quanto produtos são armazenados. Esses terminais podem ser encontrados perto de refinarias ou portos, assim como próximos a cidades quando o meio de transporte

desses produtos é pelo modal rodoviário (ASPO ENERGY, 2022). As instalações são estruturadas com camadas de proteção preventivas para conter as substâncias estocadas e, caso haja um vazamento, existem medidas para mitigar os impactos do acidente, chamadas de camadas mitigadoras. Os diques, por exemplo, bem comuns em complexos industriais, se enquadram na segunda categoria como contenção secundária. Em forma de uma barreira física, seu papel é impedir que o vazamento saia do espaço projetado e entre em contato com o solo uma vez que a contenção primária já foi violada. Sendo assim, realizar a análise de riscos e implantar modelos de gerenciamento de segurança de processos são ações de extrema importância para garantir a segurança dos trabalhadores, reduzir impactos ambientais e impor bom funcionamento da planta.

Em um estudo publicado pelo IChemE (2022), "*Learning lessons from major incidents*" (Aprendendo lições de grandes incidentes), 52 acidentes no período de 1966 até 2017 foram abordados e revisados com o objetivo de entender as causas e aprender com elas. Um dos parâmetros avaliados foi o setor: óleo e gás, geração de energia, petroquímica, agroquímico, farmacêutico, água e comida. Do total, 25 estão relacionados a óleo e gás, sendo o mais antigo abordado de 1966 na França e o mais recente, o incidente de 2015 ocorrido em Torrance nos Estados Unidos. Conforme apresentado na Figura 2, sobre as áreas no setor de óleo e gás, 14 acidentes tiveram origem de processos de Downstream, 4 em Upstream, 3 para Terminal e 1 acidente para Gás Natural Liquefeito (GNL ou LNG), planta de processamento de gás (GPP), em navio e em trilho (trem). Para os acidentes no setor de óleo e gás, 10 acidentes ocorreram nos Estados Unidos, 5 no Reino Unido e 1 na Índia, na Argélia, no Brasil, na Austrália, no Canadá, na França, na Turquia, no Japão, no México e em Porto Rico. Por fim, desses 25 acidentes, 14 foram causados por explosão, sendo 5 nos Estados Unidos e no Reino Unido e 1 na Índia, na Argélia, no Brasil e em Porto Rico.

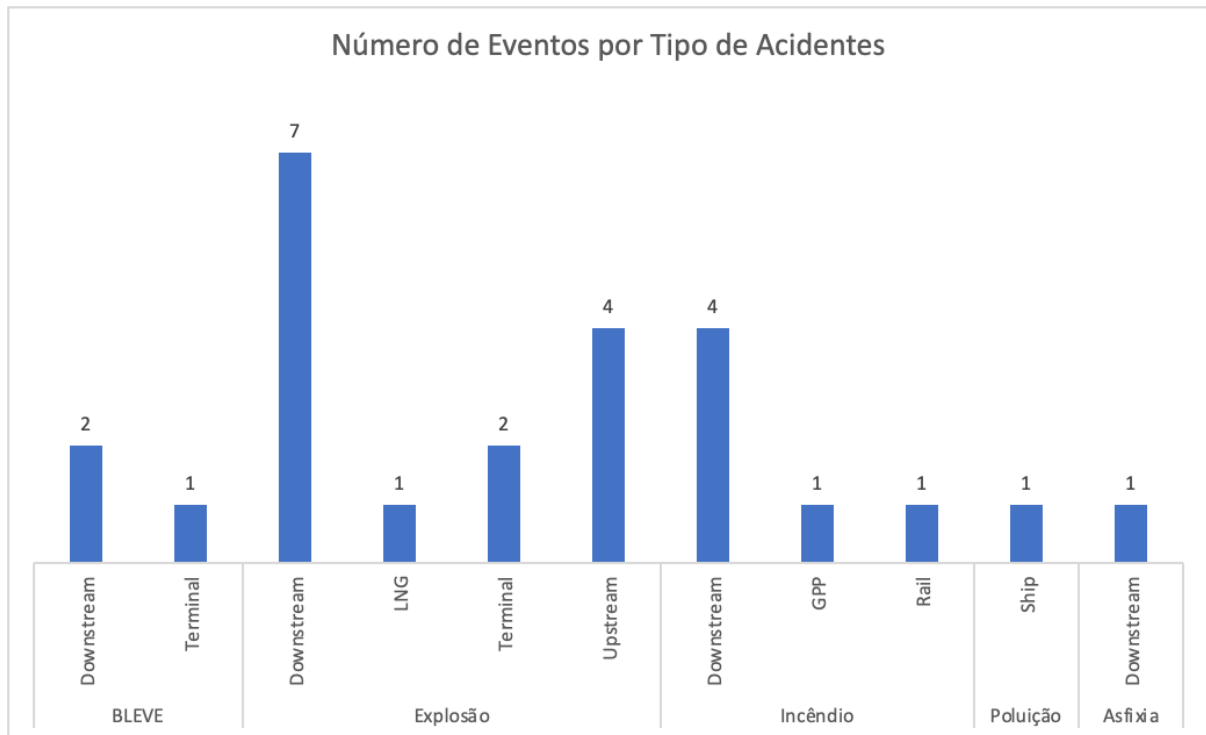


Figura 2: Dados retirados do Learning Lessons from Major Incidents. Adaptado de IChemE (2022) pág. 8.

De acordo com um estudo de acidentes no setor de óleo e gás (NWANKWO et al, 2021), o número de acidentes vem decrescendo no período de 2013 a 2017. Entretanto, o número de fatalidades variou nos acidentes, fazendo com que a média de fatalidades oscilasse durante os anos, conforme pode ser observado na Figura 3. Ela representa o número de acidentes em azul e o número de fatalidades em laranja. A partir desses dados, pode ser calculado o número médio de fatalidades por acidente por ano, representado pela curva cinza.

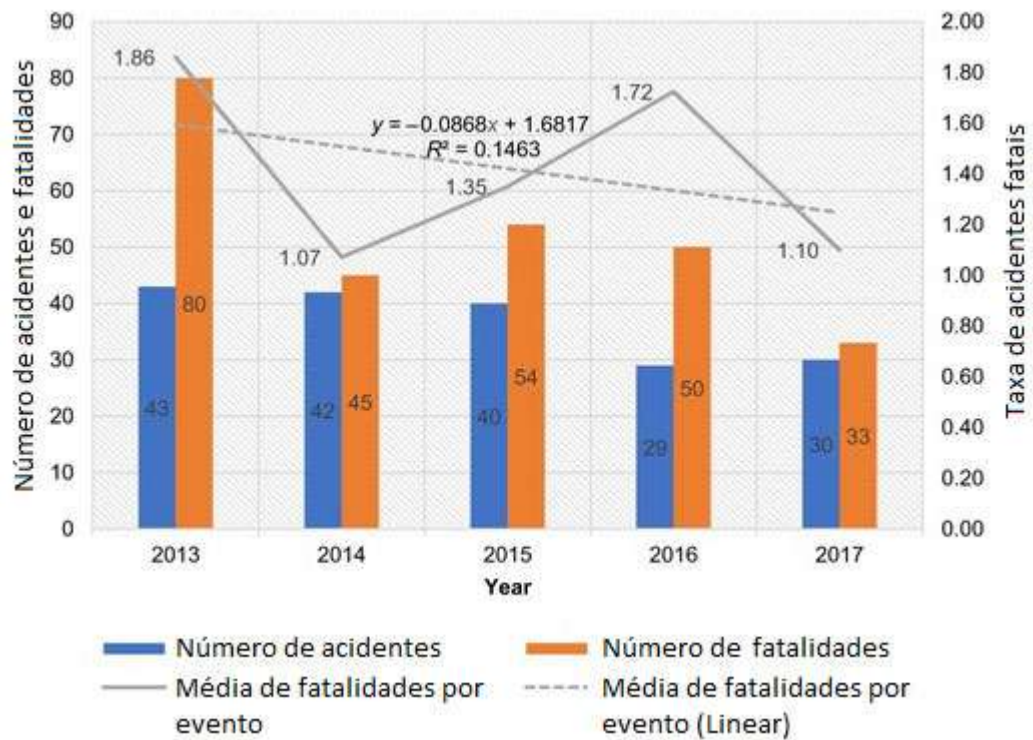


Figura 3: Número de acidentes e fatalidades e taxa de fatalidade por acidente no período de 2013-2017 para acidentes do setor de óleo e gás. Modificado de Nwankwo, et al (2021).

Ainda de acordo com esse estudo, os acidentes foram divididos em relação à origem. É possível destacar que os acidentes causados por explosão e queimaduras representam o terceiro maior causador de acidentes no setor de óleo e gás. Observa-se que 26 dos 184 acidentes estudados (aproximadamente 14,13%) ocorreram por explosão ou queimaduras.

Tabela 1: Estatísticas descritivas dos dados de acidentes da Associação Internacional de Produtores de Petróleo e Gás (IOGP) coletados de 2013 a 2017. Adaptado de NWANKWO et al (2021).

Acidente	África	Ásia	Australásia	Europa	América	Total
Violência	2	0	0	0	0	2
Aviação	1	0	0	1	0	2
Preso (em, sob ou entre)	6	14	2	4	13	39
Espaço confinado	0	0	3	1	1	5
Corte	0	1	0	0	0	1
Choque	0	2	0	3	1	6
Explosão ou queimadura	3	7	0	3	13	26
Exposição (barulho, químico, biológico, vibração)	0	0	0	1	1	2
Queda de altura	1	4	0	2	6	13
Outros	3	1	1	2	3	10
Esforço excessivo	0	1	0	0	0	1
Liberação de pressão	2	1	0	1	4	8
Atingido por	10	24	0	6	17	47
Relacionado com água	2	3	0	1	4	10

Diante dos dados apresentados por Nwankwo et al (2021), nota-se que há uma tendência na queda dos acidentes do setor de óleo e gás. Portanto, é possível notar uma tendência positiva nos índices de segurança das indústrias de processo, com menos acidentes acontecendo nos últimos anos. Entretanto, segundo Américo Diniz (2010), quando se analisa de modo mais amplo os dados encontrados sobre acidentes em indústrias e segurança, pode-se concluir que os desenvolvimentos positivos foram voltados principalmente para o viés da segurança ocupacional e não para a mitigação de riscos

inerentes ao processo. Dessa forma, a gestão de segurança de processos precisa se diferenciar da segurança do trabalho, tendo padrões e regulamentos específicos para esse campo.

Segundo Mattos (2011), a segurança do trabalho tem como objetivo “[...] *identificar os fatores de risco que levam à ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais, avaliar seus efeitos na saúde do trabalhador e propor medidas de intervenção técnica a serem implementadas nos ambientes de trabalho.*” (MATTOS, 2011). Já os riscos à segurança do processo foram definidos pelo relatório do acidente da Refinaria de Texas City como aqueles que “[...] *dão origem a acidentes graves que envolvem a liberação de materiais potencialmente perigosos, a liberação de energia (como incêndios e explosões) ou ambos. Os incidentes de segurança de processo podem ter efeitos catastróficos e resultar em múltiplas lesões e fatalidades, além de danos econômicos, patrimoniais e ambientais substanciais*” (BAKER et al., 2007).

Após o acidente da Refinaria do Texas City em 2005, ficou mais claro como os índices de segurança do trabalho não devem ser levados em consideração ao trabalhar os aspectos de segurança de processo, pois eles não são os causadores de grandes acidentes potenciais, do inglês *Major Accident Hazard (MAH)*. O foco nessas estatísticas é muito perigoso, uma vez que a empresa se torna complacente. Ao fazer dessa forma, leva-se em consideração apenas indicadores mais relevantes, a fim de que sejam melhor elaboradas tratativas que minimizem novos possíveis acidentes.

Por causa de seu impacto para o mundo e por apresentar uma alta quantidade de acidentes, o setor de óleo e gás foi escolhido para elaboração deste trabalho. De acordo com Nwankwo et. al (2021), acidentes causados por explosão ou queimaduras ainda acontecem com relativa frequência, mostrando-se fundamental estudá-los, entendendo suas causas e as formas de prevenção de acordo com gestão de risco, para que seja possível diminuir o número de casos semelhantes. Por esse motivo, o acidente escolhido foi a explosão de um tanque de armazenamento em Buncefield, Inglaterra, em 2005.

A planta de Buncefield, localizada a 5 quilômetros de Hemel Hempstead (Hertfordshire), era a quinta maior dentre 108 depósitos de armazenamento de combustíveis no Reino Unido. Ela abastecia diversas zonas da Inglaterra, incluindo o aeroporto de Heathrow. (HSE, 2008). A explosão, que ocorreu na planta em dezembro de 2005, foi muito marcante porque foram necessários 5 dias para apagar por completo o

incêndio, destruindo a maior parte do local, como também propriedades vizinhas. Segundo o relatório oficial da investigação de 2008, *The final report of the Major Incident Investigation Board*, quase 2000 pessoas precisaram ser evacuadas de suas casas durante a operação e trechos das vias ao redor foram fechados. O custo estimado do acidente ao comércio ao redor foi de 70 milhões de libras (aproximadamente 281 milhões em 30 de dezembro de 2005).

1.1. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é, portanto, estudar o acidente ocorrido em Buncefield, assim como descrever suas causas e consequências. Além disso, analisar as falhas que ocorreram e fornecer um estudo com as lições aprendidas com esse caso.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

No próximo capítulo os eventos que levaram ao acidente de Buncefield são descritos, assim como seu impacto sócio-econômico e as consequências dele decorrentes em relação ao abastecimento da região.

O capítulo 3 detalha a origem do sistema de gerenciamento de segurança de processo, as organizações que contribuíram para a evolução e aprimoramento da metodologia e os pilares que guiam esse modelo.

No capítulo 4 é realizada a análise do acidente conforme o sistema de gerenciamento de segurança de processo. Neste estudo, são examinados os pontos falhos na prevenção e mitigação do acidente e também as lições aprendidas a partir dele.

Por fim, o último capítulo traz a conclusão deste trabalho. Ou seja, reintroduz o acidente em Buncefield como um todo e reforça a importância de cada elemento do sistema gerenciamento de segurança de processo para a prevenção de grandes acidentes.

2. O ACIDENTE DE BUNCEFIELD

De acordo com o *The Buncefield Incident: The final report of the Major Incident Investigation Board* (HSE, 2008), o depósito de Buncefield é um parque de tancagem grande que está localizada a 4,8 km do centro da cidade de Hemel Hempstead, Hertfordshire no sudeste da Inglaterra (figura 4). Tanques de armazenamento são reservatórios que abrigam líquidos orgânicos e não orgânicos e vapores. Normalmente estão situados em um dique para evitar derramamentos em caso de vazamentos ou ainda de rupturas do tanque. Um setor industrial que costuma utilizá-los são as refinarias de petróleo e fabricantes de produtos químicos e petroquímicos, como o depósito de Buncefield.



Figura 4: Localização de Buncefield em relação à Inglaterra. Fonte: HSE, 2008.

O depósito, que foi responsável pelo armazenamento de combustíveis e de outros produtos, começou a operar em 1968 e já foi o quinto maior dos 108 locais de armazenamento no Reino Unido. Até a data do acidente, o depósito continha três sites nos quais os óleos eram depositados e armazenados: Hertfordshire Oil Storage Ltd (HOSL), British Pipeline Agency Ltd (BPA) e BP Oil Ltd. Para o abastecimento desses sites, haviam três diferentes oleodutos: Finaline, M/B (Merseyside/Buncefield) Pipeline e T/K (Thames/Kingsbury) Pipeline. Este último foi o responsável pela entrega da carga que acabou gerando o acidente de Buncefield e o trecho T/K pode ser observado na figura 5 (HSE, 2008).

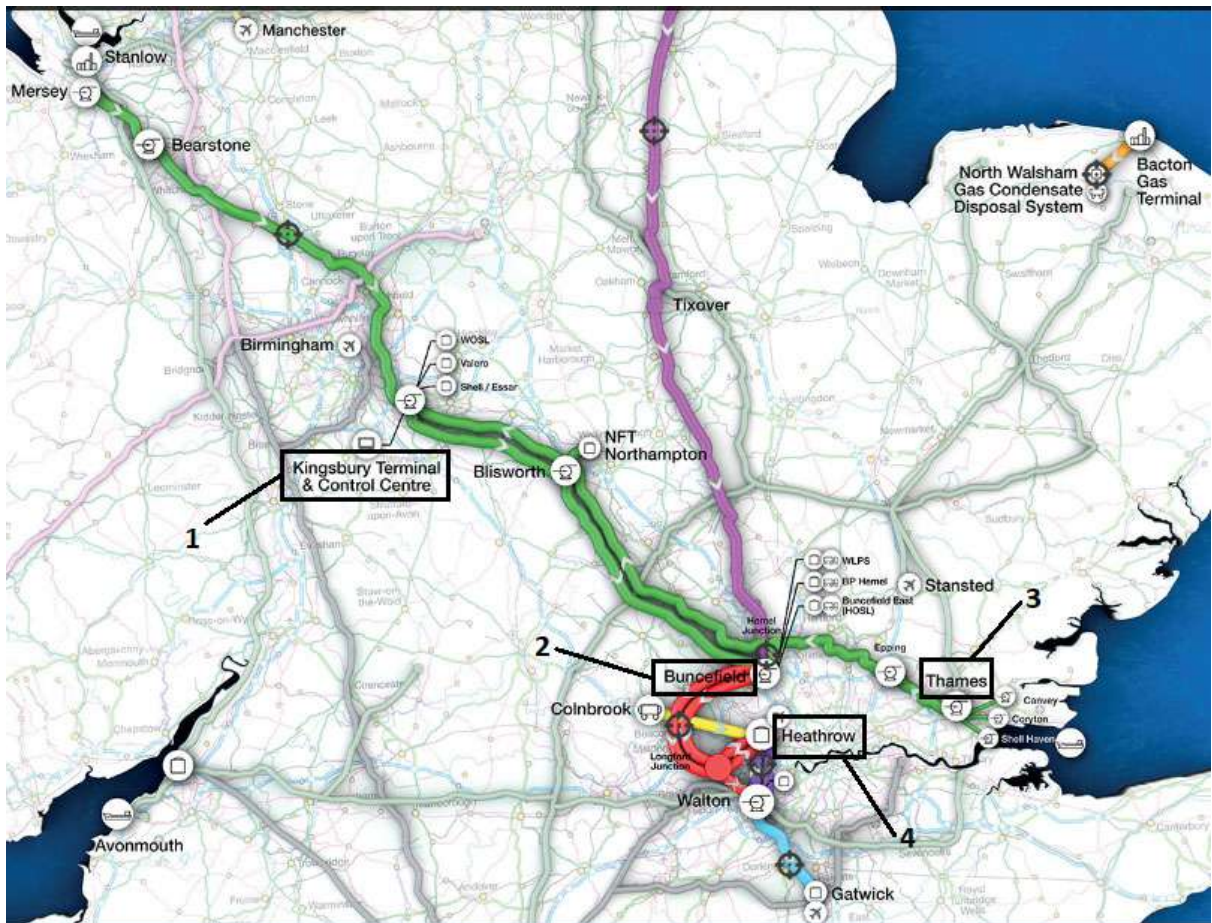


Figura 5: Esquema do sistema de tubulações que fornece Buncefield. Adaptado de BPA. 1- Terminal de Kingsbury; 2- Buncefield; 3- Terminal de Thames; 4- Aeroporto de Heathrow.

Esta região foi muito importante na distribuição de combustíveis para Londres, aproximadamente 40 km de distância, como observado na figura 6 e o sudeste da Inglaterra (figura 4), incluindo o aeroporto de Heathrow (figura 7), localizado ao oeste de Londres (HSE, 2008).



Figura 6: Localização de Buncefield em relação à Londres. Fonte: Google Maps



Figura 7: Aeroporto de Heathrow em relação a Londres, Inglaterra. Adaptado de Google Maps

Próximo a Buncefield, encontra-se o Estado Industrial de Maylands (ou de Hemel Hempstead), localizado ao lado oeste do depósito com áreas residenciais ao redor. Já a leste está situada a rodovia M1, que é um dos trajetos de Londres até Buncefield, conforme observado na figura 8.

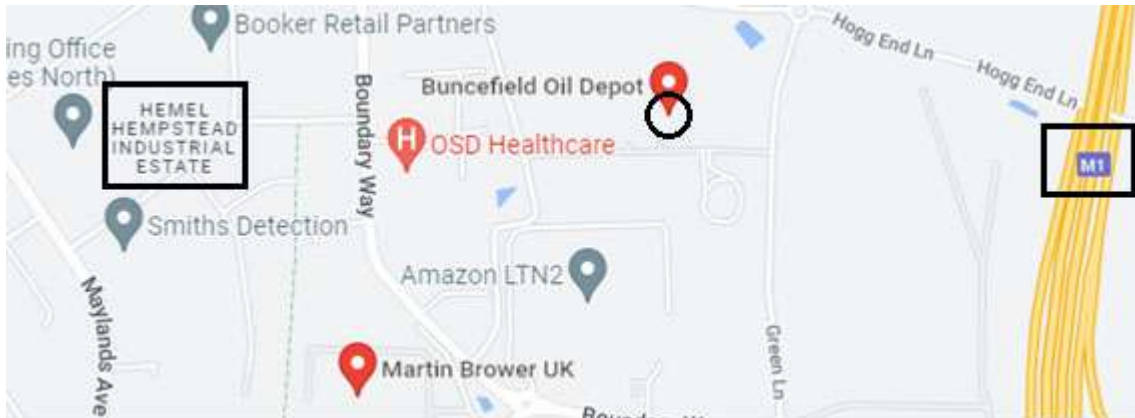


Figura 8: Buncefield (indicado pelo círculo preto) em relação à Rodovia M1 (indicado à direita) e ao estado industrial/comercial de Maylands (indicado à esquerda). Adaptado de Google Maps.

2.1. O Acidente

De acordo com o *The Buncefield Incident: The final report of the Major Incident Investigation Board*, o acidente de Buncefield ocorreu no dia 11 de dezembro (domingo) de 2005, no qual uma série de explosões e, conseqüentemente, fogo destruíram parte do depósito de armazenamento e transferência de petróleo de Buncefield, causando danos às propriedades vizinhas.

Na noite do dia anterior ao acidente, por volta de 18h e 50 minutos, uma entrega de petróleo sem chumbo chegou a Buncefield da (T/K) Thames/Kingsbury Pipeline e começou a encher o tanque 912, com uma vazão de 550 m³/h (CCPS, 2006; HSE, 2008; COMAH, 2011). O tanque 912, no centro do dique A (figura 9), cuja capacidade era de 6 milhões de litros, possuía um *Automatic Tank Gauging System* (ATG), que indicava o volume do tanque na sala de controle. O volume do tanque foi verificado às 1 h e cinco minutos da manhã do dia 11 de dezembro, mostrando que tudo estava normal. Às 3h e cinco minutos, um problema com esse sistema ocorreu e ele parou de indicar que o volume do tanque 912 estava aumentando, ou seja, o nível (volume) indicado era uma linha constante, mesmo com o tanque sendo preenchido (CCPS, 2006; COMAH, 2011).

Por conta disso, o sistema automático nunca detectou que o volume estava acima do máximo estabelecido e, conseqüentemente, o sistema de segurança não cessou o abastecimento para que evitasse o transbordamento. Sendo assim, o supervisor da sala de controle não ficou ciente do fato de que o tanque corria risco de transbordar e o nível no tanque continuou a aumentar sem que alguém notasse. O sistema de segurança consistia em um *independent high-level switch* (IHLS), cuja função era interromper o enchimento do tanque de forma automática ao fechar as válvulas em quaisquer tubulações que levavam o óleo para o tanque caso um determinado nível fosse alcançado. Além disso, o IHLS

possuía um efeito sonoro que era emitido ao atingir um nível alto involuntário. Ambos funcionam de forma independente e assim como o ATG, o IHLS também não registrou o aumento do nível no tanque, o som não foi emitido e o desligamento automático não ocorreu (HSE, 2008; COMAH, 2011).

Às 5:37, o nível excedeu a capacidade máxima do tanque e a gasolina começou a vazar pelas aberturas no teto do tanque, acumulando-se, dessa forma, no dique A. (HSE, 2008; COMAH, 2011).



Figura 9: Vista de cima (norte) de Buncefield Hertfordshire antes do acidente. Adaptado de HSE, 2008.

Conforme o vazamento do tanque 912 acontecia, uma nuvem de vapor, formada pela mistura dos hidrocarbonetos e do ar, foi gerada e dispersou-se para oeste em direção a Maylands. Uma névoa branca, cuja composição era uma mistura da fração volátil do combustível (butano) com fragmentos de gelo, estes formados pelo ar frio e úmido resultante da evaporação do combustível que deixava o tanque. Essa névoa foi se espalhando aos poucos até cobrir uma área com 360 m de diâmetro, incluindo o tanque 12, o qual estava cheio de querosene. Entre 5:37 e 6:00, o circuito fechado de televisão ou closed-circuit television (CCTV) de Buncefield conseguiu gravar imagens do espalhamento dessa névoa branca, conforme figura 10 (HSE, 2008; COMAH, 2011).

Então, finalmente a presença dessa névoa branca foi percebida por membros do público fora do local e por motoristas de caminhões-tanque no local esperando para abastecer seus veículos, que relataram aos funcionários. Às 06:01, o botão de alarme foi

acionado e, conseqüentemente, a bomba de água de incêndio também. Contudo, de forma quase imediata, uma explosão de nuvem de vapor ocorreu, e supôs-se que esse acionamento da bomba possa ter gerado uma faísca que ocasionou a explosão. Quando ocorreu a explosão, mais de 250 mil litros de gasolina já haviam deixado o tanque 912 (COMAH, 2011).

Uma série de explosões ocorreram a partir de 06:01. A principal delas ocorreu próxima ao estacionamento de Maylands (figura 9). O incêndio, gerado pela cadeia de explosões, durou 5 dias, destruindo a maior parte do depósito, como evidente na figura 11 (HSE, 2008).



Figura 10: Névoa branca se dispersando. Fonte: HSE, 2008.



Figura 11: Tanque 912 (indicado em laranja) após o acidente. Adaptado do HSE, 2008

2.1.1. Consequências do acidente

Como resultado das explosões, um incêndio foi gerado. O fogo queimou durante 5 dias, destruindo boa parte do local e emitindo uma grande nuvem de fumaça (figura 12), que pôde ser vista a muitos quilômetros de distância quando se dispersou sobre o sul da Inglaterra (HSE, 2008).

Durante os cinco dias de incêndio, o acidente foi acompanhado pela escala de resposta de emergência. Poucas horas após o acidente, o Gold Command (o Grupo de Coordenação Estratégica) foi estabelecido e comandado pela Polícia de Hertfordshire. Esse grupo consistia da Polícia de Hertfordshire, do Corpo de Bombeiros e Resgate de Hertfordshire, do Hertfordshire County Council, do *Dacorum Borough Council*, da *Environment Agency* e da *Health Protection Agency* com o apoio do *Health and Safety Executive* (HSE) (HSE, 2008).



Figura 12: A fumaça gerada pelo incêndio. A estrada que corta no centro inferior da imagem é a rodovia M1. Fonte: HSE, 2008.

O auge do incêndio foi na segunda, dia 12 de dezembro, mais precisamente ao meio-dia. Neste momento, 25 bombas d'água vindas de Hertfordshire estavam no local com a presença de 20 viaturas de apoio e 180 bombeiros (figura 13). Muitos bombeiros vieram de outras partes do país e trabalho voluntário foi realizado para preservar o bem-estar daqueles que participavam da operação (HSE, 2008; COMAH, 2011).



Figura 13: Bombeiros agindo para apagar o incêndio. O tanque da direita pegando fogo é o tanque 912, responsável pelo acidente. Fonte: HSE, 2008.

No total, a operação demandou 1000 bombeiros, apoiados por forças policiais de todo o Reino Unido, e durou cerca de 32 h para extinguir o fogo principal, apesar de tanques menores ainda pegarem fogo na manhã do dia 13 de dezembro. No dia 14, um

novo incêndio ocorreu em um tanque que até então estava intacto, mas os bombeiros deixaram-no pegando fogo de forma controlada. No dia 15, por fim, todos os incêndios estavam extintos. Ainda nesse dia, os serviços de emergência entregaram a tarefa de identificar a causa do acidente para um especialista da equipe de investigação do HSE e da Agência de Meio Ambiente. O processo de limpeza do local começou em poucos dias, embora, algumas partes ainda fossem perigosas para que alguém acessasse. A quantidade de água utilizada foi de 55 milhões de litros e a espuma utilizada foi um concentrado específico para extinguir incêndios causados por hidrocarbonetos, no qual 750 mil litros foram gastos (HSE, 2008).

Como resultado da operação, uma mistura de combustível, água e espuma (utilizada para combater o incêndio) formou uma poça próxima ao tanque 12 (figura 14). Essa mistura correu pela *Cherry Tree Lane*, passando pela rotatória e a *Hogg End Lane*, chegando na ponte da estrada M1. Essa área próxima a estrada continha diversos ralos e drenos nos quais a mistura passou e penetrou no solo abaixo. Dos poluentes presentes nessa mistura, pode-se citar os sulfonatos de perfluorooctano da espuma e hidrocarbonetos como benzeno e xileno. Por estar localizado acima de um aquífero, *Upper Chalk*, a agência do Meio Ambiente possui um programa de monitoramento para verificar o nível de poluentes no aquífero. Felizmente, a contaminação não afetou o local, mas uma eventual poluição da água potável ainda pode ocorrer (COMAH, 2011).

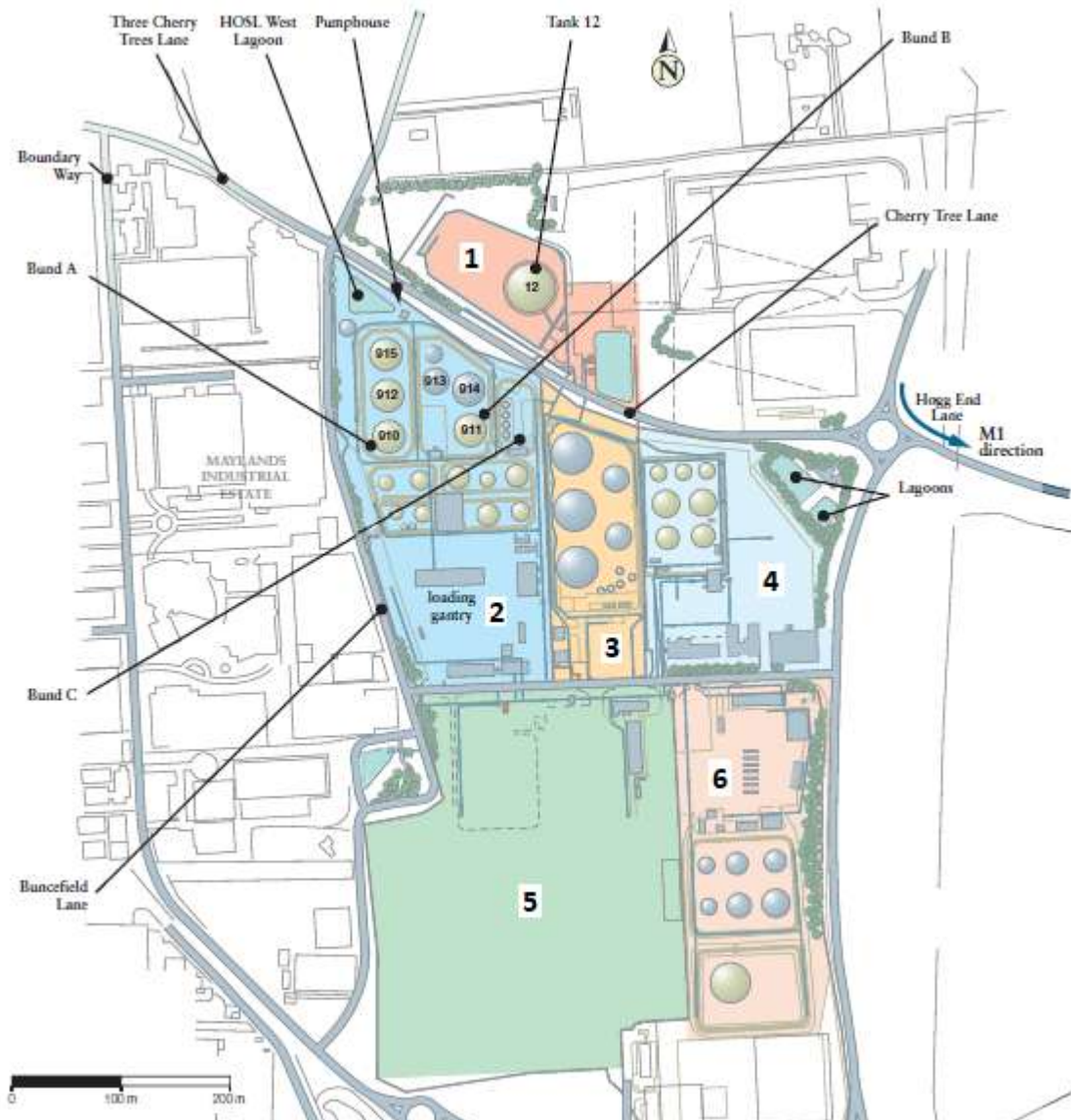


Figura 14: Site de Buncefield. 1- BPA (norte); 2- HOSL (oeste); 3- BPA (sul); 4- HOSL (leste); 5- Shell (até 04/2003); 6- BP Oil.

Como consequência, a explosão somada com o fogo gerado, atingiu e danificou um total de 23 depósitos/tanques de combustível do local, totalizando 43 pessoas feridas. Felizmente, nenhuma vítima foi gravemente ferida e não houve nenhuma fatalidade. Entretanto, houve danos significativos para comerciantes e propriedades residenciais próximas ao incidente, fazendo com que aproximadamente 2000 pessoas fossem evacuadas e parte da rodovia M1 tivesse que ser fechada. Algumas casas mais próximas do local foram totalmente destruídas e outras sofreram danos estruturais. Por conta disso, habitantes locais tiveram que se recomodar em moradias temporárias, enquanto os reparos eram realizados, por longos períodos. Já os edifícios, que estavam a até 8 km de distância do local do acidente, tiveram prejuízos com janelas, paredes e tetos danificados. Algumas

escolas em Hertfordshire, Buckinghamshire e Bedfordshire foram fechadas por dois dias após a explosão (HSE, 2008).

Por conta do incêndio, muitos moradores locais perderam suas moradias e bens pessoais e tiveram dificuldade para reconstruir suas vidas. Alguns foram afetados de forma psicológica e precisaram de ajuda de profissionais da área. Entretanto, não houve danos graves à saúde, resultado da exposição à nuvem de fumaça que se dispersou. Como as condições meteorológicas estavam estáveis, a concentração de fumaça no solo foi muito baixa. Além disso, a falta de chuva impediu que houvesse deposição de produtos do fogo e da combustão. O Department for Environment, Food and Rural Affairs concluiu em um relatório em Maio de 2006, que é pouco provável que tenha havido impactos na qualidade do ar e do solo por causa dos efeitos causados pelo acidente (HSE, 2008).

Além disso, por conta desses danos, o Estado/Centro Industrial de Maylands parou de funcionar. Até a data do incêndio, esse Estado/Centro abrigava 630 empresas e cerca de 16.500 pessoas. Algumas empresas foram liquidadas e muitos dos empregos foram realocados. As estradas próximas ao acidente foram fechadas, pois eram inseguras. A agência de Desenvolvimento do Leste da Inglaterra estimou que o prejuízo para essas empresas ficou próximo a 70 milhões de libras (aproximadamente 281 milhões em 30 de dezembro de 2005). Outras agências em conjunto com diversas câmaras municipais criaram diversas iniciativas a fim de ajudar na recuperação da área e dos negócios (HSE, 2008).

Por fim, o abastecimento de gasolina, em decorrência do incêndio em Buncefield, foi interrompido de forma temporária para o sudeste da Inglaterra, contudo alternativas foram rapidamente arranjadas. O maior impacto foi no aeroporto de Heathrow, em Londres (figuras 6 e 7), que até a explosão, recebia metade de seu abastecimento diário do depósito.

3. GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADO EM RISCOS

A Gestão de Segurança de Processos ou *Process Safety Management* (PSM) ganhou muito crédito por reduzir os riscos de acidentes considerados graves e por melhorar a performance da indústria química. O PSM é um sistema da gestão cujo foco está na prevenção e na resposta de acidentes ocorridos em instalações decorrente de processos envolvendo liberações de produtos químicos ou energia (CCPS/AIChE, 2007). Este sistema teve seu início em 1992, quando a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) implementou o PSM na tentativa de reagir à fraca fiscalização do governo frente às indústrias que utilizam compostos químicos de alta periculosidade (ROSS, 2013).

Seguindo esse sistema, para realizar análise de perigos do processo é necessário: (1) definir ordem de prioridade, (2) metodologia correta para analisar o processo, (3) abordagem de risco de processo, avaliando acidentes anteriores, suas consequências e outros fatores, (4) realizar *Process Hazard Analyses* (PHA) com uma equipe experiente, (5) criar um cronograma para as ações, que será divulgado aos funcionários e elaborar documentar as descobertas e recomendações, (6) atualizar o PHA a cada 5 anos e (7) manter arquivado o PHA e suas atualizações durante todo ciclo de vida do processo (OSHA, 1992).

Entretanto, muitas indústrias ainda são desafiadas pelo desempenho ineficaz no gerenciamento de segurança de processos e atingem resultados inferiores ao desejado. Podem-se citar alguns exemplos recorrentes: (1) de acordo com a OSHA (1992), a frase “se não for uma exigência regulatória, eu não farei isso!” era comumente usada, (2) o foco maior em lidar com questões de segurança ocupacional (e não em Segurança de Processo) pela maior frequência de acidentes envolvendo trabalhadores e (3) a declaração incorreta que, se as taxas de acidentes de trabalho estão diminuindo, então o risco de acidentes de baixa frequência e alta consequência também está diminuindo. Por esses motivos e visando uma melhoria na eficiência para as indústrias de processo, o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) criou o *Risk Based Process Safety* (RBPS) para servir de modelo na gestão de segurança de processo (CCPS/AIChE, 2007). Com 20 elementos, a abordagem RBPS é mais ampla em comparação ao modelo da OSHA e inclui tópicos que vão além das normas impostas e regulamentos.

3.1. CCPS

Fundada pela AIChE (*American Institute of Chemical Engineers*) em 1985, o CCPS surgiu após o grande acidente em Bhopal, Índia, trazer preocupações aos líderes da indústria química. Este ocorrido é considerado o maior acidente na indústria química mundial com 20.000 pessoas mortas e 150.000 pessoas feridas devido ao vazamento de 40 toneladas de vapores, incluindo isocianato de metila e ácido cianídrico (HCN). Sendo assim, o CCPS foi criado para auxiliar a indústria na prevenção de acidentes e gerenciamento de riscos (CCPS, 2019; ROCHA, 2021).

Com o intuito de evitar que novos acidentes dessa magnitude fossem repetidos, a CCPS publicou seu primeiro livro de segurança de processos, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, e hoje é referência na área. Baseada em 4 pilares, sendo um deles *aprender com a experiência*, a organização promove conferências e workshops além de diversas publicações anuais para disseminar o conhecimento nas indústrias químicas, farmacêuticas e de petróleo. A organização tem o suporte de mais de 80 indústrias de processos químicos, o que possibilita orientação profissional para seu comitê técnico, além de apoio financeiro. O destaque das atividades do CCPS são suas diretrizes para contribuir com a indústria no gerenciamento de risco e de segurança de processo (CCPS; AIChE, 2007).

3.2. RBPS

Uma consequência do CCPS foi a criação do RBPS em 2007 lançado na publicação “*Guidelines for Risk Based Process Safety*”. Neste documento, soma-se às ideias citadas no livro “*Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety*” publicado pela AIChE em 1989 com o conteúdo do livro “*Plant Guidelines for Risk Based Process Safety*” de 1992. O RBPS afirma que todos os perigos e riscos são diferentes. Dessa forma, torna-se fundamental focar mais recursos em perigos mais significativos e maiores riscos. A abordagem do RBPS é dividida em 4 pilares de prevenção de acidentes conforme indicado na tabela 2. Esses pilares são divididos em 20 elementos, 8 a mais do que os citados no livro de 1989. Isto reflete os 15 anos de experiência após implementar o gerenciamento de segurança de processo e o estabelecimento de melhores práticas. Por conta das empresas associadas ao CCPS e sua contribuição, o registro de práticas de segurança é algo que vem sendo aprofundado significativamente (CCPS/AIChE, 2007).

O propósito dessas diretrizes é fornecer ferramentas para auxiliar profissionais de segurança de processo na construção e operação de sistemas de gestão de segurança de processos mais eficazes. Dentre as orientações, podem-se destacar: (1) projetar um sistema

de gerenciamento de segurança de processo, (2) corrigir um sistema deficiente e (3) melhorar práticas de gestão de segurança de processo. Aplicam-se ao sistema de gestão: planejar, fazer, checar, agir e organizá-lo de forma a ser útil para todas as organizações dentro do ciclo de um processo ou operação. Dessa forma, torna-se fundamental que as empresas integrem suas práticas com outros tipos de sistema de gestão para tornar o RBPS consistente com, por exemplo, operações de fabricação, segurança, saúde e meio ambiente. A partir disso, cada empresa decide o que será adotado para o seu sistema de gestão de segurança de processo. Portanto, mesmo para empresas de mesma área, medidas diferentes serão adotadas por conta de fatores como necessidades e cultura de segurança, resultando em atividades do RBPS bem distintas (CCPS/AIChE, 2007).

Tabela 2: Os 4 pilares e seus 20 elementos da RBPS. Adaptado de CCPS/AIChE, 2007.

Pilares	Elementos
1 - Comprometimento com Segurança de Processo	1- Cultura de Segurança de Processo; 2- Conformidade com Padrões e Normas; 3- Competência em Segurança de Processo; 4- Envolvimento da Força de Trabalho; 5- Atendimento aos Stakeholders;
2 - Compreender Perigos e Riscos	6- Gestão de Conhecimento de Processo; 7- Identificação dos Perigos e Análise de Risco;
3 - Gerenciar Riscos	8- Procedimentos Operacionais; 9- Práticas de Trabalho Seguro; 10- Integridade de Ativos e Confiabilidade; 11- Gerenciamento de Contratos; 12- Treinamento e Acompanhamento de Performance; 13- Gerenciamento de Mudanças; 14- Prontidão Operacional; 15- Condução das Operações; 16- Gerenciamento de Emergência;
4 - Aprender com a Experiência	17- Investigação de Incidentes; 18- Métricas e Indicadores; 19- Auditorias; 20- Gerenciamento de Revisões e Melhoria Contínua.

Dentre os critérios de Segurança de Processo baseados em risco, os esforços para melhorar a segurança devem se basear em 3 compreensões: (1) dos perigos e riscos de operações e de suas instalações, (2) da demanda e recursos necessários para gestão de

Segurança de Processo e (3) como a cultura de segurança da empresa influencia as atividades de Segurança de Processo. Os pontos mais relevantes para uma PSM mais eficiente são os perigos e o nível de risco do projeto. Entretanto, outros pontos como demanda, recursos e a segurança incorporada à cultura também devem ser considerados (CCPS/AIChE, 2007).

De acordo com CCPS/AIChE (2007), espera-se um aumento na eficácia da Segurança de Processo e uma redução na frequência e na gravidade dos acidentes para as empresas que adotarem os quatro pilares mencionados. Isso porque a implementação dos pilares do RBPS diminui o número de possíveis fragilidades do processo ao fazer o direcionamento dos pontos mais críticos de segurança de processo de forma sistemática, evitando retrabalhos e falhas por omissões. Recomenda-se que organizações integrem o RBPS com seus sistemas de gestão de qualidade, meio ambiente e saúde.

A seguir, cada um dos 4 pilares e seus respectivos elementos serão brevemente abordados.

3.2.1. Comprometimento com Segurança de Processo

O compromisso com a Segurança de Processo é o principal ponto para se obter excelência na mesma. Para que isso aconteça, é necessário que haja uma liderança dedicada e que toda a organização esteja focada nesse empenho. Quando a força de trabalho entende que para a empresa o valor central é a segurança, os operadores começam a agir de modo correto quando "ninguém está vendo", o resultado mais desejado de uma cultura bem consolidada. Espera-se que esse comportamento faça parte da cultura organizacional e que, com isso, o comprometimento seja cada vez maior e possa sustentar a excelência nos atributos mais técnicos da Segurança de Processo (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.1.1. Cultura de Segurança de Processo

Conforme descrito por Jones (2001), define-se cultura de Segurança de Processo como *“a combinação de valores do grupo e comportamentos que determinam a maneira pela qual a Segurança de Processo é administrada”*. Já de acordo com CCPS/AIChE (2007), é indicada por *“como fazemos as coisas por aqui”* e *“como nos comportamos quando ninguém está olhando”*.

A cultura é significativa na questão de como serão tratados o controle de risco e a segurança do processo, uma vez que algumas falhas podem estar associadas a deficiências

culturais. Além disso, é elaborada conforme o grupo identifica e começa a praticar alguns costumes e comportamentos que visam o benefício, ou seja, o processo bem-sucedido. Dessa forma, torna-se importante passar esses valores para funcionários recém-chegados (CCPS/AIChE, 2007).

Podem-se citar alguns aspectos esperados em uma cultura de excelência: (1) incorporar operações seguras como valor central, (2) focar em possíveis falhas para buscar entendimento do risco e como controlá-lo, (3) fornecer recursos proporcionais aos riscos, (4) ênfase em acontecimentos passados, (5) melhorar desempenho de forma contínua e (6) instigar os funcionários a identificar e solucionar possíveis problemas. Neste sentido, acidentes decorrentes de explosão e incêndio como o de Piper Alpha (Reino Unido em 1988) e o de Longford (Austrália, 1998) foram superficiais quanto a sua cultura. O primeiro porque os operadores do turno noturno não receberam a informação de que um equipamento estava em manutenção e não poderia ser utilizado, mostrando um lapso na comunicação entre colaboradores e superiores. Já o segundo, porque uma auditoria declarou que o local estava operando corretamente e estudos após o acidente indicaram diversas falhas não encontradas previamente (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.1.2. Conformidade com Padrões e Normas

Este elemento está relacionado com a identificação e abordagem de padrões e normas de Segurança de Processo, ou seja, de leis e documentos que podem ser aplicáveis a um processo. Existem diversos fatores que afetam a Segurança de Processo, por isso os padrões e normas têm o objetivo de simplificar o acesso à informação (interna e externa) e promover uma operação mais segura (CCPS/AIChE, 2007).

Seguir as informações das normas e padrões proporciona a uma empresa (1) operar e manter a instalação segura, (2) realizar práticas de Segurança de Processo de forma constante e (3) reduzir responsabilidade legal. É fundamental que os responsáveis por esse elemento revejam e mantenham atualizados seus procedimentos de acordo com as normas vigentes à medida que elas sofram alterações (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.1.3. Competência em Segurança de Processo

O elemento em questão refere-se a 3 hábitos: (1) sempre melhorar na competência e nas informações, (2) garantir que as informações estejam disponíveis para quem necessitar e (3) utilizar tudo que foi aprendido (CCPS/AIChE, 2007).

Um exemplo de falha nesse elemento encontra-se no acidente em 1995 na planta química de Lodi, Nova Jersey, Estados Unidos. Neste caso, houve uma explosão devido a mistura de água com materiais reativos, matando 5 pessoas. O relatório publicado pela OSHA com a Agência de Proteção Ambiental Americana ou U.S. Environmental Protection Agency (EPA) afirmou que o processo de análise de risco foi conduzido de forma incorreta. Ademais, os procedimentos operacionais e o treinamento (dos funcionários, da brigada de incêndio e dos socorristas) não eram adequados. Algumas das falhas na Competência em Segurança de Processo foram: (1) falha na análise e na identificação dos riscos do processo, (2) treinamento do operador inadequado e (3) informações pouco adequadas para serem usadas como guia nas decisões de resposta de emergência (EPA, 1997; CCPS/AIChE, 2007).

3.2.1.4. Envolvimento da Força de Trabalho

O objetivo deste tópico é promover o envolvimento dos funcionários de todos os níveis da organização e abrange as diferentes funções que os trabalhadores podem realizar no desenvolvimento, implementação e gerenciamento do sistema de gestão da Segurança de Processo. O envolvimento da força de trabalho eficiente está associado a um plano de ação no qual os trabalhadores são consultados acerca do desenvolvimento de cada segmento do RBPS, além de terem conhecimento sobre o funcionamento do sistema de gestão. Como os empregados participam diretamente na operação, eles conhecem os detalhes de cada atividade e também estão sujeitos aos perigos do processo. Dessa forma, a empresa ganha ao envolvê-los na gestão, os funcionários ficam mais preparados ao conhecerem os riscos e, conseqüentemente, todos ficam mais seguros (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.1.5. Atendimento aos *Stakeholders*

O último elemento referente ao primeiro pilar trata do envolvimento e, principalmente, sobre ter uma boa relação com as partes interessadas. Para esse objetivo, é necessário: (1) abordar organizações que podem ser afetadas para dialogar sobre Segurança de Processo, (2) construir relações com empresas, ações comunitárias, sociedade, autoridades em todos os níveis e (3) prover informações do produto, do processo, dos perigos e riscos, dos planos de emergência, da empresa e das instalações. Neste tópico,

também é previsto que sejam divulgadas informações e lições sobre as operações internas para outras indústrias do mesmo setor (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.2. Compreender perigos e riscos

No segundo pilar, os elementos descritos são Gestão de conhecimento de processo e Identificação dos Perigos e Análise de Risco. Em relação a esse pilar, o levantamento de informações e dados pertinentes se baseia na compreensão da empresa dos perigos e riscos do processo.

3.2.2.1. Gestão de conhecimento de processo

Antes de identificar riscos para poder aplicar o método RBPS, é necessário conhecimento extenso do processo como um todo: equipamentos utilizados, produtos químicos, processos envolvidos. Sem essa etapa, dificilmente a implementação das próximas será eficiente. Mesmo quando há custos onerosos para levantar informações elementares, a aplicabilidade dos outros pilares depende disso.

O conceito por trás desse elemento faz referência em grande parte à confiabilidade da informação e clareza dos dados. Além de reunir os conhecimentos, há a necessidade de fácil acesso a eles, assim como compreensibilidade dessas informações pelas pessoas que vão fazer uso delas regularmente, pois só ter a informação disponível não é suficiente. A profundidade e complexidade de conhecimento que deverá ser coletado irá depender dos riscos envolvidos no processo. Quanto mais simples e bem conhecido pela indústria for o processo, menor a complexidade das informações necessárias. Outro aspecto a ser reconhecido para o bom funcionamento da gestão do conhecimento é que esses dados precisam ser regularmente atualizados e o que for obsoleto deve ser apagado (arquivos digitais) ou desfeito (cópias físicas) para não comprometer a credibilidade das informações. Isso mostra que, para esse pilar ser bem sucedido, a cultura precisa estar de acordo e ser bem implementada (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.2.2. Identificação dos Perigos e Análise de Risco

O sétimo elemento da abordagem RBPS descreve as etapas necessárias para implementar um sistema capaz de identificar os perigos e analisar os riscos de forma bem sucedida, além de mostrar pontos para manter esse sistema atuando durante todo o ciclo de

vida do processo. Segundo a AIChE/CCPS (2007), para montar um estudo de identificação dos Perigos e Análise de Risco, é necessário responder a três perguntas fundamentais:

- “O que pode dar errado?” - identificação do perigo;
- “Quão ruim isso pode ser?” - descrição das consequências;
- “Com qual frequência isso pode acontecer?” - estudo da probabilidade do risco ocorrer.

A complexidade das respostas depende do nível de análise que o responsável deseja realizar. É possível realizar estudos mais simples com HAZOP e FMEA, assim como estudos mais detalhados como Análise da Árvore de Eventos e Análise da Árvore de Falhas.

Esse elemento é muito importante quando se fala em estágios iniciais do ciclo de vida da planta. Enquanto o investimento para realizar os estudos podem ser altos a depender da extensão de dados analisados, quanto antes os riscos forem identificados, melhor direcionados são os recursos, o que pode evitar a geração de prejuízos nos próximos estágios.

3.2.3. Gerenciar riscos

Esse pilar possui nove elementos detalhando as metodologias a serem consideradas no gerenciamento de riscos eficiente. O resultado esperado é assegurar qualidade e performance com a gestão de recursos apropriada.

3.2.3.1. Procedimentos operacionais

O princípio por trás da elaboração de procedimentos escritos é padronizar atividades rotineiras e periódicas para procurar garantir a execução adequada das tarefas. Além disso, é necessário descrever o que fazer em situações adversas e inesperadas, de forma a prevenir acidentes. Quando se assegura que os operadores têm fácil acesso aos documentos operacionais no seu dia a dia, as chances de ocorrer algum incidente por dúvidas na execução diminuem, porém outro ponto importante é a atualização constante desses arquivos.

Para garantir consistência, um bom sistema de elaboração de procedimentos operacionais deve conter os responsáveis por cada atividade, como alterar os documentos e como a informação deve ser passada para os operadores caso haja mudanças. Quando o sistema está bem instalado, é possível identificar pontos de melhoria para a produção,

reduzir custos e melhorias na segurança, uma vez que a atividade vai estar padronizada. Ademais, os procedimentos operacionais estão interligados com próximos elementos como Treinamentos e Condução das Operações, pois tem neles descrito a busca pela excelência. (CCPS/AIChE, 2007)

3.2.3.2. Práticas de Trabalho Seguro

As práticas de trabalho seguro auxiliam no controle de perigos e riscos associados a atividades não rotineiras, contendo tópicos que não são descritos em procedimentos operacionais e os procedimentos de manutenção. São tipicamente atividades envolvidas com eletricidade, trabalho a quente, espaço confinado entre outras. Também demandam geralmente permissões especiais para fazê-las (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.3.3. Integridade de Ativos e Confiabilidade

Como terceiro ponto do pilar, Integridade de Ativos e Confiabilidade é a implementação sistemática de inspeções e testes para garantir que os equipamentos estejam condicionados para realizar as operações de forma apropriada durante seu tempo de uso planejado. Para esse elemento é necessário, além de manutenções planejadas, reparos e outros tipos de operações, um sistema de qualidade que vá assegurar que treinamentos sejam feitos e essas atividades, planejadas. Garantir que os equipamentos e sistemas de segurança estão funcionando de forma apropriada é uma das maiores responsabilidades do complexo industrial (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.3.4. Gerenciamento de Contratos

Muitas vezes as empresas necessitam contratar de terceiros durante períodos específicos, longos ou mais curtos, como uma manutenção programada, e isso configura um possível risco para todo o sistema, uma vez que esses funcionários vindos de fora não conhecem o processo tão bem quanto os operadores que já trabalham na empresa e podem ignorar os riscos inerentes a ele. Além disso, eles não estão incluídos na cultura da empresa, ponto relevante quando se trata de segurança, pois diversos elementos dependem fundamentalmente da cultura para funcionar corretamente. Por isso, tem-se a necessidade de destacar políticas para gerir os contratos.

A gestão de contratos começa na própria contratação da empresa terceirizada. Antes de firmar negócios, precisa-se conhecer as políticas de segurança dela. Também é necessário realizar treinamentos antes dos colaboradores começarem os trabalhos para orientá-los em relação aos procedimentos de emergência e segurança do complexo. Auditorias podem ser requisitadas para verificar se as condições de trabalho estão sendo cumpridas conforme o acordado (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.3.5. Treinamento e Acompanhamento de Performance

Importante para garantir que os colaboradores tenham as habilidades necessárias para executar as atividades solicitadas de maneira independente, o treinamento é uma ferramenta eficiente para capacitação nos mais diversos temas. Com treinamentos pertinentes e um sistema de avaliação de performance aplicada, os riscos inerentes ao processo vão ser mitigados, uma vez que as informações serão entregues de forma padronizada. A qualificação do operador é crítica para a abordagem RBPS, pois é um dos pontos para assegurar confiabilidade humana nas operações, vital para a qualidade do produto final e prevenção de situações inseguras.

Segundo AIChE/CCPS (2007), os pontos chaves para esse elemento ser efetivo são: identificar quando o treinamento é necessário, fornecer capacitações quando for preciso e supervisionar a performance periodicamente, o que pode ser por meio de testes, checklists ou outros métodos. Com a metodologia adequada, a qualidade esperada do desempenho poderá ser atestada e caso seja insuficiente, novos treinamentos poderão ser aconselhados.

3.2.3.6. Gerenciamento de Mudanças

Em Gerenciamento de Mudanças, o objetivo é principalmente certificar-se que novos riscos e perigos não serão criados ao realizar mudanças no processo. Para isso, algumas etapas devem ser seguidas antes de realizar mudanças, como realizar a avaliação do que vai ser alterado em relação ao processo original para ver se a mudança é adequada, avisar as pessoas pertinentes antes e depois das alterações, realizar um levantamento dos novos riscos que podem surgir e garantir que todos os documentos envolvidos estejam atualizados (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.3.7. Prontidão Operacional

Seguindo a ideia do gerenciamento de mudança, no sétimo elemento do pilar Gerenciar Riscos tem-se a importância de avaliar as condições para reinicializar processos com segurança. A necessidade desse elemento surge de cenários em que a transição do desligamento para o recomeço da operação não foi bem-sucedida, seja porque houve falta de preparo da equipe, os reparos programados não foram efetivos ou se passou muito tempo desde o desligamento. Nessas condições, a análise prévia pode resultar na confirmação de que o processo está apto ou uma lista com ações que ainda precisam ser cumpridas antes de reinicializar com segurança.

Segundo AIChE/CCPS (2007), são pontos importantes na análise: confirmar se os equipamentos estão de acordo com as especificações, certificar que os procedimentos operacionais, de manutenção e emergência estão atualizados e verificar se os operadores realizaram os treinamentos necessários. A complexidade dessa análise vai depender dos processos, equipamentos e plantas envolvidos, além de depender do nível de desenvolvimento da cultura da segurança da empresa, visto que quanto mais sólidas as culturas estão estabelecidas, mais flexíveis podem ser as avaliações. Isso ocorre porque a confiabilidade operacional é maior, enquanto empresas com culturas ainda em desenvolvimento podem precisar de metodologias mais rigorosas para confirmar que todos os procedimentos foram atendidos.

3.2.3.8. Condução das Operações

É desejável que as empresas criem políticas descrevendo quais são os níveis de qualidade e performance esperados e as ferramentas que os funcionários têm à sua disposição para implementar esses pontos. A busca pela excelência na execução de atividades no dia a dia está intimamente ligada ao elemento da cultura, pois quanto mais sólida for a cultura, maior a confiabilidade humana nas operações, além de estar também relacionado ao exemplo da liderança. Quando os líderes dão o exemplo de seguir os procedimentos ao mais alto padrão e valorizam esse aspecto de seus subordinados, o comportamento vai internalizar (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.3.9. Gerenciamento de Emergência

O gerenciamento de emergência eficaz tem como consequência a mitigação de um acidente, seja em benefício do próprio site do acidente como também para as áreas próximas, que podem incluir civis ou outras indústrias. A falha na execução do plano de contingência pode transformar um acidente em algo muito pior. Sendo assim, a gestão deste sistema deve conter os seguintes pontos: planejamento de possíveis emergências, alocação de recursos para a execução do plano, treinamentos dos funcionários nos planos de emergência e a comunicação com as partes interessadas do ocorrido (CCPS/AIChE, 2007).

Devido a baixa frequência de grandes acidentes, os planos de emergência devem ser testados com regularidade para garantir sua aplicabilidade ao longo do tempo. Esses exercícios verificam se o plano age de acordo com o esperado na prática, se as pessoas entendem seus papéis e responsabilidades e também preparam os funcionários para o risco real. Dessa forma, recomenda-se que os treinamentos sejam realizados de maneira realista para ser possível encontrar pontos de melhoria, lições aprendidas e procedimentos do plano de emergência que podem ser adaptados (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.4. Aprender com a Experiência

Este pilar envolve monitorar e agir conforme fontes internas e externas de informação. Deve-se utilizar experiências de dentro e de fora da empresa e transformá-las em chances para aprimorar a Segurança de Processo. Existem 3 formas para se aprender com a experiência: (1) realizar as melhores práticas para uma utilização de recursos eficaz, (2) corrigir erros aparentes em acidentes internos e (3) adotar lições de acidentes externos. Além disso, para as empresas é fundamental criar a cultura e infraestrutura que os permita guardar lições aprendidas que possivelmente serão importantes. Por fim, sugere-se também adotar, de forma periódica, um sistema com um feedback sobre o funcionamento do RBPS, assim como uma revisão e autoavaliação honesta com o objetivo de manter o desempenho e proporcionar melhorias em algumas etapas do RBPS e de sua gestão (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.4.1. Investigação de Incidentes

Este elemento descreve o que é esperado na condução de uma investigação de acidente e como uma empresa deve fazer para aprimorar suas inspeções. Trata-se de um

processo para apresentar, rastrear e investigar o acontecimento, seguindo: (1) processo formal de investigação contendo pessoas envolvidas, performance, relatos oficiais e (2) tendência de acidentes recorrentes e a geração de dados para identificá-los. De modo geral, refere-se a uma forma de aprender com o ocorrido e, conseqüentemente, saber lidar com acidentes semelhantes para poder passar informações para empresas que seguem o mesmo ramo e estão sujeitas aos mesmos riscos (CCPS/AIChE, 2007).

3.2.4.2. Métricas e Indicadores

Esse tópico consiste nos principais indicadores de desempenho e eficácia presentes na Segurança de Processo. Um importante aspecto no aprendizado com acidentes é saber qual indicador deve ser utilizado. Nesse sentido, é relevante criar um sistema para estabelecer as métricas que servirão como auxílio no monitoramento do sistema de gestão RBPS quase que em tempo real e para as atividades de trabalho no dia a dia. Recomenda-se supervisionar o desempenho em tempo real sem esperar acidentes ou auditorias, pois, ao fazer isso os problemas são reconhecidos mais rapidamente, possibilitando adotar ações corretivas (CCPS/AIChE, 2007).

De acordo com o *Process Safety Metrics Guide for Leading and Lagging Indicators* (CCPS, 2022), existem dois tipos de indicadores: reativos e proativos. O primeiro refere-se a acidentes com um limite estabelecido de gravidade. Já o segundo relaciona-se com o desempenho do processo e das operações, visando evitar incidentes e acidentes. Os indicadores reativos e proativos devem ser: confiáveis, mensuráveis, repetitivos, consistentes, independentes de influências externas, relevantes e passíveis de comparação.

3.2.4.3. Auditorias

Conforme discutido no item 2.2.1.1, o acidente de Longford foi resultado da cultura de Segurança de Processo pouco desenvolvida. Uma auditoria realizada 6 meses antes do acidente constatou que a planta de gás estava realizando de forma correta seu sistema de PSM. Contudo, após o ocorrido, uma investigação concluiu que o local apresentava inconsistência (1) na identificação, análise e gestão de riscos, (2) no treinamento, (3) nos procedimentos operacionais e (4) na documentação e comunicação. Nenhum desses pontos foi observado pela auditoria, indicando a falta de uma análise mais crítica por parte da empresa. A função dessa revisão sistemática é garantir a Segurança de Processo por toda a

instalação, ou seja, avaliar se todas as partes do processo estão agindo de forma consistente para garantir conformidade com os padrões determinados por um sistema de gestão, podendo ser RBPS ou outro (CCPS; AIChE, 2007).

3.2.4.4. Gerenciamento de Revisões e Melhoria Contínua

A chave para a melhoria contínua é a revisão sistemática da gestão de Segurança de Processo e, para que isso ocorra, deve-se estruturar todo o corpo de trabalho na verificação dos elementos do RBPS. O resultado esperado é um plano de identificação e correção de possíveis falhas, além de pontos de melhoria na gestão. Entretanto, diferente das auditorias, esses estudos devem ocorrer de forma mais frequente e envolvem funcionários de qualquer nível. Como o objetivo é encontrar pontos de atenção, elas podem ser feitas de maneira informal (CCPS/AIChE, 2007).

3.3. Por que implementar o sistema de gestão RBPS

Primeiramente, deve-se considerar a adoção de um sistema de PSM. De acordo com o CCPS (1994), no seu livro “*Guidelines for Implementing Process Safety Management Systems*”, existem diversos benefícios para empresas que implementam a abordagem do RBPS. Entre essas razões, podem-se citar: (1) maior eficiência devido a atividades consolidadas, (2) economia com custo de manutenção e de revisão sistemática de novos processos e projetos, (3) possibilidade de aprimorar o processo nas etapas iniciais de design, (4) menor tempo de inatividade, (5) melhoria nas operações, qualidade, mão de obra, relação trabalhista e satisfação do cliente, (6) aumento do prestígio no setor e frente aos acionistas.

Como citado anteriormente, o RBPS é resultado de 15 anos de experiência em PSM, com um número de elementos superior ao exigido por normas, ou seja, expande a eficiência do PSM. Desde a criação do CCPS e seu sistema de gestão, novos elementos como cultura, divulgação, condução de operações, métricas e análise gerencial se mostraram indispensáveis para o sistema de gestão, dando origem a 8 novos elementos. Sua maior função é, portanto, minimizar os riscos das operações. Devido a profundidade da análise gerada por essa abordagem, maiores cuidados serão tomados na prevenção de acidentes (CCPS/AIChE, 2007).

4. ANÁLISE DO ACIDENTE CONFORME A ABORDAGEM DO RBPS

Como abordado no capítulo anterior, o acidente de Buncefield ocorreu por causa de uma explosão causada pelo transbordamento de gasolina do tanque 912 (figura 15). O tanque contém um termopço para medir a temperatura e um deck flutuante no topo do líquido (petróleo) para impedir que haja vazamento de vapor. Além disso, o tanque apresenta um *Independent High-Level Switch* (IHLS) e um medidor servo (relacionado com o *Automatic Tank Gauging System* ou ATG), que operam de forma independente. Este medidor possui um motor que é acionado conforme o volume no tanque varia, fazendo com que o indicador do nível do líquido (figura 15) suba. Quando isso acontece e ultrapassa o limite permitido, um sinal é emitido pelo ATG na sala de controle, indicando que as válvulas que estão alimentando o tanque devem ser fechadas (HSE, 2011).

A explosão ocorreu quando o vapor, uma mistura inflamável derivada do conteúdo que escapou do tanque, entrou em contato com uma fonte de ignição. Supõe-se que a fonte de ignição tenha sido devido ao acionamento de bombas de água, mas Mannan cita ainda em seu relatório *The Buncefield Explosion and Fire—Lessons Learned* (2011) a possibilidade de ter sido a cabine do gerador de energia de emergência, próxima do tanque 912. Não obstante, o desastre ocorreu em grande parte devido a falha no sistema de segurança do tanque 912.

O capítulo visa, portanto, explicar os fatores contribuintes da explosão e identificar possíveis não conformidades que também colaboraram para o acontecimento. Além disso, medidas de prevenção também serão discutidas de acordo com a abordagem do RBPS.

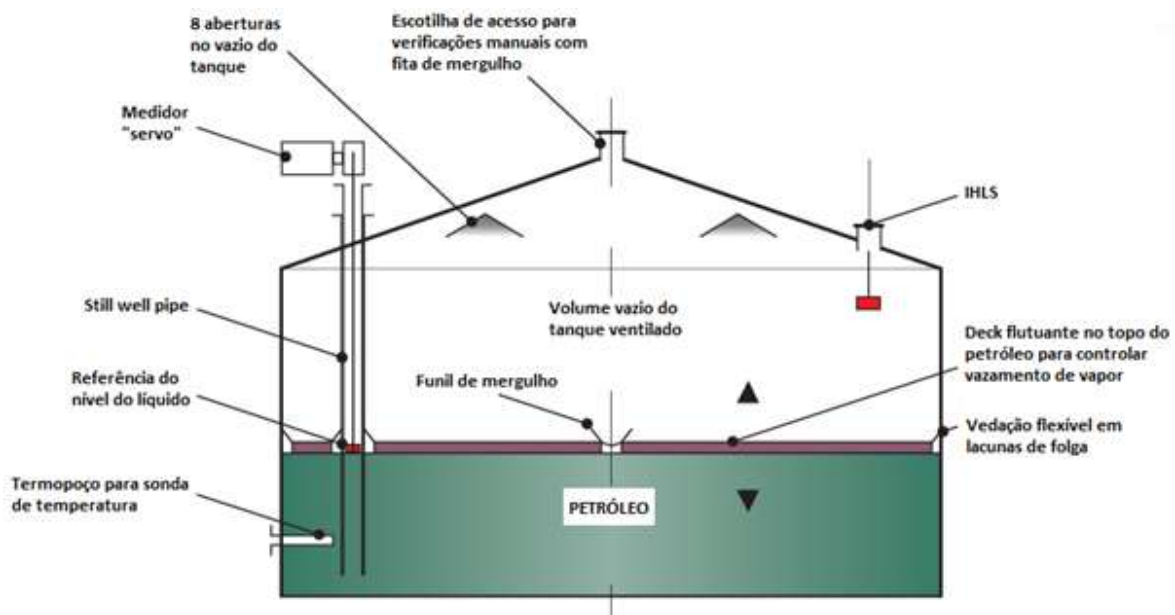


Figura 15: Esquema geral de um tanque de teto com flutuação interna que representa o tanque 912. Adaptado de HSE, 2008.

4.1. IHLS

O IHLS foi desenvolvido pela TAV Engineering Ltd. e foi fornecido e instalado no tanque 912 em 1 de julho de 2004 pela empresa Motherwell Control Systems 2003 Ltd. (MCS). Como pode ser observado na figura 16, o equipamento possui uma tampa flutuante que sobe à medida que o volume do tanque aumenta. Isso faz com o interruptor *reed* seja acionado, alertando a sala de controle que o volume do tanque está acima do permitido, ou seja, funcionando como um sensor de alto nível. Seu design foi feito de forma que pudesse ser rotineiramente testado e, por isso, o primeiro teste foi realizado logo após sua instalação. Entretanto, a MCS não havia entendido completamente o dispositivo, comprometendo o funcionamento desse equipamento (COMAH, 2011).

4.1.1. Como funcionava o IHLS

O interruptor e o circuito de alarme são ativados quando a tampa flutuante entra em contato com o líquido presente no tanque e levanta o peso interno. Ao fazer isso, o conjunto empurra o ímã que ativa o interruptor *reed*. O IHLS instalado no tanque 912 (figura 16) foi desenvolvido com um cadeado vinculado para garantir o modo de operação

normal, sendo considerado um recurso vital de segurança. Na posição de operação, a alavanca permanece na horizontal e o interruptor funciona como esperado, ou seja, se a tampa levantar o peso e se desprender do interruptor, o interruptor *reed* sobe e força o desligamento de emergência (COMAH, 2011).

Sendo assim, dois testes foram realizados. No primeiro teste, retirou-se o cadeado e a alavanca foi inclinada para cima (posição superior). Esperava-se que o alarme fosse acionado mesmo se o peso não fosse levantado pela tampa, ou seja, se o líquido apenas entrasse em contato com a tampa flutuante. No final, a alavanca desceria para a posição horizontal e o cadeado seria recolocado para garantir que permanecesse nesta posição, servindo como uma medida de segurança. O mesmo foi feito na posição oposta (inferior) para detectar níveis de gasolina no tanque. Infelizmente, utilizar a alavanca na posição inferior (low-level mode) quando estava programada para operar na posição superior (high-level mode) resultou na desativação do interruptor. Ao término do teste, o cadeado não foi recolocado. Como isso ocorreu, a alavanca, mesmo se estivesse na posição horizontal pós teste, poderia descer para a posição inferior ou cairia naturalmente para uma posição ainda mais baixa. Em ambos os casos, o IHLS estaria inoperante e inabilitado (COMAH, 2011).

Como a detecção de baixos níveis de gasolina não era relevante para a maior parte dos tanques em Buncefield, a posição inferior para a alavanca é desnecessária devido ao seu potencial para desarmar o circuito de alarme. A posição da alavanca, portanto, determina a detecção do nível do tanque. Por esse motivo, após o acidente de Buncefield, a empresa TAV remodelou esse sistema, adicionando um pino que impedisse que a alavanca saísse da posição horizontal para a inferior (COMAH, 2011).

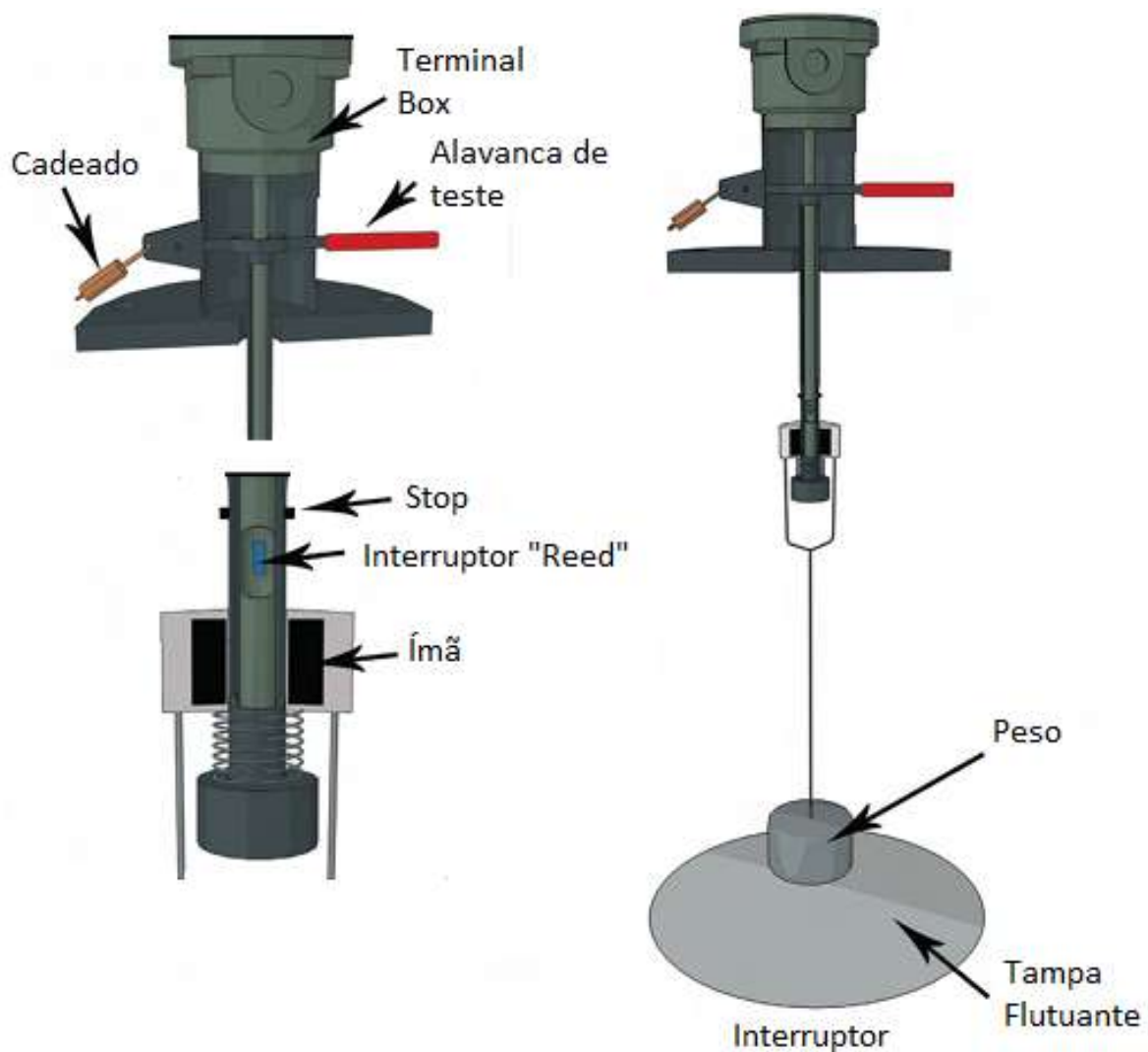


Figura 16: IHLS. Adaptado de COMAH, 2011.

4.1.2. Prevenção para o IHLS

Devido a uma falha no design do IHLS, o interruptor acabou sendo desativado ao atuar na posição inferior quando estava programado para atuar na posição horizontal, o que passou despercebido pelos responsáveis pela instalação (MCS) e por quem iria usar o dispositivo (HOSL). Esta falha poderia ter sido evitada se, primeiramente, as informações sobre a importância e uso do cadeado fossem passadas para os instaladores e para os usuários. A TAV não foi muito clara em relação ao projeto e uso do interruptor. Além disso, a TAV não perguntou à empresa sobre a razão pela qual eles queriam usar o ILHS, podendo assim avaliar se era ou não adequado naquele caso o uso somente na posição superior (COMAH, 2011).

Apesar da MCS ser uma experiente empresa neste ramo, ela não conseguiu compreender o IHLS, a ponto de não entender a relação do cadeado com a segurança crítica. Por causa disso, o IHLS foi instalado sem o cadeado, pois a MCS pensou que sua função era apenas de anti-violação. Após os testes, a alavanca foi deixada inoperante, pois ela precisava do cadeado para garantir qualquer posição assumida, horizontal, superior ou inferior. Resumindo, pode-se citar alguns elementos referentes a falta de informação da MCS em relação ao IHLS: (1) a verificação do funcionamento dos interruptores fornecidos e instalados não foi adequado, pois a MCS não obteve os dados necessários da TAV e não pode passar adiante para seus clientes, (2) não entenderam as vulnerabilidades do interruptor ou a função do cadeado (COMAH, 2011).

Portanto, a falha referente ao IHLS ocorreu por parte da empresa TAV que desenvolveu o interruptor, da empresa MCS que forneceu e instalou o IHLS e da HOSL que recebeu o produto para o tanque 912. Para que o acidente pudesse ter sido evitado, seria necessário que certas ações das três partes fossem revisadas. Primeiramente, a TAV deveria ter sido mais objetiva em relação a alguns pontos importantes, como o funcionamento do cadeado e o fato de que sem ele o IHLS ficaria inabilitado após os testes. Da mesma forma, a MCS deveria ter questionado a TAV sobre o funcionamento correto do IHLS e do cadeado, pois iria fazer sua instalação. Por fim, o operador no local da HOSL não supervisionou de forma correta o pedido, a instalação e o teste. Assim como a MCS, os funcionários não sabiam da necessidade de recolocar o cadeado para manter a alavanca na posição horizontal. Portanto, faltou indagações sobre como operar o IHLS de forma correta (COMAH, 2011).

Fazendo uma análise de acordo com a abordagem RBPS, a falha no IHLS está representada em cada um dos 4 pilares (tabela 2). Primeiramente, no primeiro pilar (Comprometimento com Segurança de Processo), o elemento Competência em Segurança de Processo conta com três hábitos: sempre melhorar na competência e nas informações, garantir que as informações estejam disponíveis para quem necessitar e utilizar tudo que foi aprendido; nenhum deles foi respeitado com o IHLS. Como mencionado, essa competência está associada a uma falha na identificação de um dos riscos e no treinamento ineficaz dos operadores do IHLS. Como o funcionamento correto do equipamento não era entendido pela MCS nem pela HOSL, as informações do IHLS não estavam disponíveis para quem necessitasse. Portanto, os elementos Gestão de Conhecimento de Processo e Identificação de Perigos e Análise de Risco do segundo pilar

(Compreender Perigos e Riscos) também foram mal abordados. Ficou claro que a MCS não compreendeu a função de todas as partes do IHLS e, por consequência, a HOSL também não, uma vez que desconheciam a importância do cadeado para que o IHLS funcionasse corretamente.

Em relação ao terceiro pilar, Gerenciar Riscos, 3 elementos não foram corretamente abordados. O elemento Integridade de Ativos e Confiabilidade padroniza atividades rotineiras para avaliar o funcionamento de equipamentos. Embora a MCS tenha feito um teste de funcionamento do IHLS quando foram instalá-lo no tanque 912 substituindo um anterior, nenhum processo formal de gestão de mudança (MOC) foi realizado. A HOSL possuía um relatório de segurança que previa MOC para a substituição de equipamentos de elevada importância como o IHLS (COMAH, 2011). O elemento Gerenciamento de Contratos ressalta a importância de alinhar a cultura de Segurança de Processo interna com a empresa externa. Nesse caso, a MCS não tomou todos os cuidados possíveis com o IHLS e, assim, comprometeu o processo de enchimento do tanque. A falha na empresa terceirizada implica em uma falha da HOSL, pois ela assume os riscos ao contratar outra empresa para atuar no seu site. Por isso, há a responsabilidade de treinar os terceiros, conscientizar sobre a política da empresa e mais do que isso, verificar se a empresa contratada compreende os equipamentos e processos antes de firmar um contrato. O elemento Treinamento e Acompanhamento de Performance foi mal realizado, pois informações erradas foram repassadas devido à falta de domínio da MCS em relação ao IHLS.

Por fim, no quarto pilar (Aprender com a Experiência), destaca-se o elemento Gerenciamento de Revisões e Melhoria Contínua. Baseia-se na realização de uma vistoria contínua no sistema para saber se tudo opera de forma eficiente. Isso não ocorreu de forma eficaz, visto que, após os testes periódicos, a alavanca de teste podia cair naturalmente para uma posição na qual o IHLS estaria desabilitado.

4.2. ATG

A falha do ATG foi a segunda causa imediata do acidente de Buncefield. O ATG é um sistema que consiste em um servo medidor e um indicador do nível do líquido, que sobe à medida que o tanque enche (Figura 15). O servo medidor, cuja função é medir o

nível do líquido, emperrou e, por consequência, o display do medidor de nível ficou estagnado na mesma posição, indicando um nível constante de líquido no tanque (HSE, 2008; COMAH, 2011). No período entre 31 de agosto de 2005, quando o tanque voltou a operar após uma manutenção, até o dia do acidente, 11 de dezembro de 2005, o medidor parou de funcionar 14 vezes. Na tentativa de solucionar esse problema, os operadores utilizavam a prática *stowing*, que consistia em elevar o medidor até a posição mais alta para então deixá-lo se ajustar sozinho. Em muitas dessas ocasiões, a MCS foi chamada para corrigir o problema, porém a causa não foi identificada, e portanto, corrigida. A falta de um registro de falhas eficaz e de procedimentos sistemáticos de manutenção foram duas das principais causas raízes gerenciais e organizacionais que causaram o acidente. Apesar de ter sido chamada diversas vezes, a MCS não investigou a fundo o motivo da falha e, dessa forma, não acreditava na possibilidade de o sistema não ser confiável (COMAH, 2011).

Além disso, o sistema presente na sala de controle do depósito apresentava outras deficiências que poderiam ser melhoradas, como a tela de monitoramento. Havia apenas a tela de um único computador disponível para exibir as informações geradas de todos os tanques pelo sistema ATG. Isso possibilitava que apenas um tanque por vez tivesse seus dados disponíveis para serem visualizados pelos funcionários. Por conta disso, no dia do acidente, as informações do tanque 912 estavam projetadas em uma aba escondida por outras que estavam abertas. Na sala de operação havia somente um computador sem reserva e os supervisores eram muito dependentes desta máquina para controlar os tanques (COMAH, 2011).

Ademais, existiam outros defeitos no sistema. O desligamento de emergência, por exemplo, era um dos últimos recursos na tentativa de evitar o transbordamento dos tanques. Dentre as informações que apareciam na tela, existia um botão vermelho, que poderia ser selecionado com um *mouse*, para realizar uma parada de emergência, ou seja, para fechar 2 das válvulas laterais do tanque, interrompendo o fluxo de entrada. Entretanto, o botão não estava operando, pois não havia sido instalado e a equipe de supervisão não estava ciente disso. Seu funcionamento teria forçado o fechamento das válvulas de entrada e oferecido mais uma oportunidade de evitar o acidente. É importante no gerenciamento de riscos ter sistemas redundantes, representado pelo o botão de emergência. Dessa forma, no caso de uma falha do ATG, os operadores dependiam somente do IHLS e o botão implicava em mais uma oportunidade caso o próprio IHLS falhasse. Isso mostra que a

gestão de segurança foi deficiente ao não dar importância a redundância do botão para interromper o processo de enchimento dos tanques. Outra deficiência apresentada pelo sistema foi a função de alarme. Versões mais recentes do sistema ATG foram configuradas para disparar um alarme quando houvesse diferença entre o volume do tanque e o que é indicado no display de monitoramento. Isso teria indicado o volume constante observado no dia do acidente (COMAH, 2011).

Em certos aspectos, o desastre de Buncefield se assemelha com o acidente da BP na Cidade do Texas, Estados Unidos, em março de 2005. O principal fator que resultou no ocorrido também foi a falha no medidor de nível. Diferente de Buncefield, a BP possuía uma unidade de isomerização, que era utilizada para destilar e separar gasolina. Idealmente, a torre Splitter da unidade deveria operar com até 2 m de altura e seu medidor era limitado para indicar até 2,74 m de líquido. A partir deste nível, ele não era capaz de indicar qual era a altura na torre e, nesse caso, um segundo instrumento era utilizado para alarmar quando ultrapassado. No dia do acidente, uma carga foi introduzida na torre Splitter, assim como fornos foram ligados para aquecer a carga, sendo parte do processo normal. O primeiro medidor acionou quando a marca chegou a 2,74 m, porém o mesmo não ocorreu para o segundo (*high-level alarm*). Dessa forma, horas depois do início do enchimento da torre, o nível atingiu 30 m enquanto o medidor indicava apenas 2,6 m. Pouco tempo depois, com o líquido já na altura de comprimir o gás no topo da torre, um alarme soou e a equipe, sem saber o que estava acontecendo, abriu uma válvula para que o líquido pudesse sair. Contudo, por causa do aquecimento causado pelos fornos e do nível ocupado na torre, líquidos e gases saíram da torre indo para uma chaminé. Essa chaminé possuía um *high-level alarm* que também não acionou. Logo em seguida, o conjunto de líquido e gás escapou como um geysir, espalhando-se ao redor. Próximo ao local, existia um carro ligado que serviu como fonte de ignição, gerando a explosão que teve 15 fatalidades e 180 feridos (CSB, 2008).

De forma similar a Buncefield, apesar da sala de controle da *ISOM unit* possuir mais de uma tela, a investigação realizada concluiu que o operador do painel de controle não tinha uma maneira confiável de medir o nível da torre. Isso deve-se ao fato de que as vazões de entrada e saída de líquido da torre não eram mostradas na mesma tela, mesmo sendo possível fazer isso (CSB, 2008).

4.2.1. Prevenção para o ATG

Como mencionado, houve pelo menos 5 falhas relacionadas ao sistema ATG, sendo elas, o servo medidor emperrado, a falta de registro de falhas e regime de manutenção, a tela de monitoramento, o desligamento de emergência e a função de alarme.

As duas primeiras falhas estão relacionadas a MCS e a HOSL. A MCS foi acionada para resolver o problema de travamento no servo medidor, mas não foi capaz de solucionar de forma satisfatória. Sendo assim, a manutenção do equipamento não era realizada de forma eficiente, visto que o sistema falhou 14 vezes em 4 meses sempre com a mesma irregularidade. Esse ponto indica falha no terceiro pilar (Gerenciar Riscos) quando se fala em Integridade de Ativos e Confiabilidade, pois a confiabilidade desse equipamento não foi atestada, uma vez que o sistema não funcionou da maneira prevista em sua instalação. Além disso, era importante que a HOSL, a BPA Ltd e a BP Oil Ltd, responsáveis pelos tanques do depósito de armazenamento de óleo de Buncefield, recorressem a outras empresas para a avaliação dos tanques, visto que as inspeções da MCS não corrigiram os problemas no tanque 912. Esse elemento tem como base envolver as pessoas competentes para realizar as inspeções e manutenções, o que não ocorreu nesse caso. Destaca-se também o elemento Gerenciamento de Contratos, uma vez que, novamente, a empresa que foi chamada para resolver o travamento não foi capaz de encontrar sua causa.

As últimas três falhas estão relacionadas à operação da HOSL. Mais de 20 tanques foram afetados pelas explosões, sendo alguns destes pertencentes a HOSL. Dessa forma, a sala de controle apresentar apenas um computador (sem *backup*), para disponibilizar as informações de todos os tanques da HOSL, era claramente desaconselhável, pois dificultava a detecção de possíveis problemas com um dos tanques, principalmente em situações de emergência. Diante disso, a HOSL deveria ter adicionado mais computadores na sala para que fosse possível analisar cada tanque com mais facilidade, ou seja, menos tanques por tela, tornando o monitoramento mais eficiente. Assim, o elemento Integridade de Ativos e Confiabilidade deveria ter identificado essa vulnerabilidade presente na sala de controle. Como sua função é garantir que o sistema de segurança opere de maneira apropriada, seria fundamental reconhecer a necessidade de se ter mais de uma tela para a análise dos tanques e, com isso, facilitar o trabalho dos operadores. Ademais, no quarto pilar destaca-se o tópico Gerenciamento de Revisões e Melhoria Contínua, no qual estimula-se a revisão contínua à procura de deficiências no processo. A avaliação pode partir dos próprios operadores de acordo com as necessidades e urgências do dia a dia.

Entende-se que os operadores na sala de controle e alguns dos supervisores não conheciam totalmente o funcionamento do sistema ATG e nem quais eram todos seus recursos. A HSE (2008) recomenda definir funções e responsabilidades dos operadores na sala de controle, assim como treinar a equipe em relação ao sistema e realizar a comunicação dentro e entre os sites para troca de informações. A Gestão de Conhecimento de Processo (elemento 2) realizada de forma eficiente estabelece os conhecimentos acerca dos equipamentos e funcionalidades, evitando erros cometidos pela falta de informação, como ocorreu em Buncefield. A ignorância acerca do botão de emergência e função de alarme também poderia ter sido evitada se o elemento 14 tivesse sido bem desenvolvido, o qual fala sobre Prontidão Operacional. Recomenda-se realizar uma análise prévia do sistema antes de dar início a um novo recurso ou processo com segurança.

Finalmente, menciona-se o aspecto mais importante que não foi cumprido: Cultura de Segurança de Processo. Segundo o relatório *Buncefield: Why did it happen?* (COMAH, 2011), a pressão no ambiente de trabalho tinha aumentado significativamente para os operadores e supervisores antes do acidente. Os supervisores trabalhavam em escalas de 12 horas. Ambos tinham pouca informação, nenhum suporte de engenheiros e um alto nível de atividades, o que fez com que o foco fosse manter o processo funcionando a todo custo. Isso mostra que, sem uma cultura de segurança bem desenvolvida, os outros pilares apresentam dificuldades para se manter e as ferramentas disponíveis para avaliar e mitigar os riscos são deixadas de lado. Dados os acontecimentos acerca do ATG e do travamento, sabe-se que a abordagem do RBPS foi executada de forma precária pela HOSL. Isso também aconteceu no acidente da BP na Cidade do Texas. O operador da sala de controle foi deixado sozinho no dia do acidente. Podem-se citar outros problemas com a cultura de Segurança de processo para este acidente: os recursos não eram suficientes para operações na unidade e a ausência de relatórios de outros acidentes ocorridos na refinaria (CSB, 2008).

Além disso, manter uma operação sem incidentes vai além de planejar um design seguro e com sistemas de redundância. É necessário agir segundo os princípios que foram estabelecidos, como a busca pela excelência, o cumprimento de procedimentos e padrões e a prática da melhoria contínua. Por isso que a cultura e a liderança exercem um papel tão importante na implementação do gerenciamento de segurança de processos. Tanto o sistema ATG quanto o IHLS tinham um design sólido, voltado para situações de riscos e

propício para realização de testes periódicos. Entretanto, o usuário desses sistemas, a empresa HOSL, não reforçou os aspectos de segurança no seu cotidiano.

4.3. Outras causas

As duas principais causas do acidente de Buncefield foram o sistema ATG e o IHLS. Contudo, podem-se citar outras menores falhas que poderiam ter evitado o acidente: controle de entrada de combustível e aumento na taxa de transferência.

4.3.1. Controle de entrada de combustível

Dos três oleodutos que abastecem os sites, apenas o abastecimento de origem da Finaline era controlado pelos operadores da sala de operações da HOSL, ou seja, apenas suas informações eram conhecidas. Dessa forma, não era sabido se as outras duas linhas estavam fechadas ou abertas e qual era a vazão de alimentação delas, dificultando, assim, o cálculo da taxa de enchimento do tanque 912. Dada a falta de informação, os supervisores não conseguiram planejar e gerenciar o combustível. Por conta disso, as únicas maneiras de se conseguir um desligamento de emergência eram por um telefonema de outro terminal ou por um IHLS no tanque. Os operadores não gostavam de trabalhar sem as informações dos outros dois oleodutos e isso gerava e aumentava a pressão que sentiam durante a operação. Vale ressaltar que as operações na sala de controle nunca passaram por um processo de avaliação de risco (COMAH, 2011). Esta falha em reconhecer se as linhas estavam ou não abertas assemelha-se com o acidente de Piper Alpha de 1988. Neste caso, no dia do acidente, a plataforma de petróleo operava normalmente até um alarme disparar, indicando um problema com uma das bombas (bomba B) de injeção de condensados e fazendo-a parar de funcionar. A bomba A estava desligada para manutenção. Por ser um equipamento vital para a operação, as duas bombas não poderiam estar desligadas ao mesmo tempo, pois seria necessário parar toda a operação. Por esse motivo, ligou-se novamente a bomba A, porém a sala de controle não sabia que a válvula de segurança havia sido removida durante o reparo. Dessa forma, o gás que passava pela bomba A começou a escapar, encontrou uma faísca, que serviu como ignição, causando a explosão que matou 167 pessoas e deixou outras 61 feridas (ICChemE, 2022).

4.3.2. Aumento na taxa de transferência

Uma evidência sobre a noite do acidente é que os operadores não tinham certeza de qual tanque estava sendo enchido por qual oleoduto. No mesmo dia, além de uma carga da T/K, outra da Finaline também estava sendo recebida no depósito. Durante o período de troca de turnos dos funcionários, a equipe que assumiu a sala de controle não adquiriu o conhecimento sobre os lotes de combustível e nem sua origem e destino. Isso ocorreu devido a dificuldade de troca de informações nesse período e pelo problema com as abas sobrepostas no sistema ATG, gerando um estresse para a nova equipe e novamente aumentando a pressão de trabalho (COMAH, 2011). Mais uma vez é possível relacionar com o acidente da Cidade do Texas. A troca de turnos prejudicou o enchimento da torre *Splitter*, uma vez que os operadores que assumiram no turno da manhã receberam informações imprecisas do *logbook*. Esse não indicava o destino para a carga que chegava à torre e nem a altura já preenchida (CSB, 2008). Pode-se também relacionar com o acidente de Piper Alpha. No dia do ocorrido, a bomba A foi desligada para manutenção no período diurno. Porém, um problema ocorreu com a bomba B, que parou de operar. A sala de controle, já com os operadores do turno noturno, achava que o reparo ainda não havia começado, sendo que já estava iniciado e partes da bomba haviam sido removidas (IChemE, 2022).

4.4. Recomendações

A HSE (2008) recomenda para sites como Buncefield empregar medidas para detectar, por exemplo, o vazamento de vapores inflamáveis. Sugere-se utilizar detectores de gases inflamáveis nos diques e que eles possuam um recipiente para o qual líquidos e/ou que vapores que vazaram possam ser direcionados a fim de que uma poça de petróleo seja formada. Deve-se associar os detectores com a prevenção de transbordamento no tanque. O acionamento desses detectores indica o início do vazamento e deve ter como consequência o fechamento das válvulas que alimentam o tanque. Por fim, instalar CCTV próximos aos tanques para que operadores não somente na sala de controle possam ter controle dos tanques em tempo real. Como mencionado anteriormente, o monitoramento de todos os tanques em uma única tela de computador é inexecutável e um número alto de telas também dificulta a visualização para os operadores. Para contornar isso, deve-se utilizar

equipamentos que reagem conforme ocorrem mudanças nas condições em torno dos tanques e, conseqüentemente, alertam os operadores.

5. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento da tecnologia e da indústria, grandes acidentes relacionados ao processo começaram a ganhar destaque e gerar preocupações, tanto por parte da indústria em desenvolvimento, quanto pela população. A tolerância do público em relação aos erros cometidos diminuiu e a imagem da empresa pode ficar manchada por anos após um grande acidente. Da mesma forma, o relacionamento com a comunidade local fica desgastado e há dificuldade de receber investimentos de outras partes interessadas, devido a perda da reputação da empresa.

Os estímulos para implementar sistemas de gestão de segurança de processo vieram para preservar a população de novos acidentes como o vazamento de gás em Bhopal (1984) e Piper Alpha (1988). Dessa forma, percebeu-se que era possível ir além das leis e restrições regulamentares a fim de montar um sistema capaz de ter uma visão ampla da segurança de processo, que olha também para a cultura da empresa, para a melhoria contínua e aprender com a experiência tanto interna quanto externa. **Verifica-se que cumprir a lei apenas não é o suficiente para evitar que um grande acidente aconteça. Por exemplo, no acidente da Refinaria da Cidade de Texas, a empresa cumpria as regulamentações vigentes, porém a gestão da segurança de processos no cotidiano foi falha.** Portanto, a abordagem do RBPS, criada pela CCPS, possibilita alcançar esses objetivos citados de forma sustentável e adaptada para o risco a que cada processo está sujeito, aperfeiçoando o PSM a fim de contribuir para a redução de acidentes na indústria. Sendo assim, usando esse sistema foi possível analisar as deficiências na execução dos pilares propostos na administração do depósito de Buncefield.

Os principais fatores que contribuíram para o acidente de Buncefield, o IHLS e o ATG, tiveram origem em não conformidades com o sistema de gerenciamento. Em ambos os casos, o não entendimento dos equipamentos foi o ponto central do problema, sendo um reflexo do segundo pilar, Compreender Perigos e Riscos, mal executado. Além disso, a empresa responsável pela manutenção e verificação dos dois dispositivos não pode determinar o motivo pelo funcionamento deficiente deles e, por essa razão, os equipamentos continuaram a operar de forma inadequada após as visitas da MCS.

Ademais, os elementos Cultura de Segurança de Processo, Gerenciamento de Revisões e Melhoria Contínua, Gerenciamento de Contratos, Gerenciamento de Mudanças, Integridade de Ativos e Confiabilidade também apresentaram falhas. Apesar disso, a base dos pilares é o elemento da cultura, pois sem a cultura de comprometimento com a

segurança sólida, os operadores não criam a rotina de se atentar aos riscos. Ainda mais grave, quando a pressão sob o trabalho é alta, como aconteceu em Buncefield, deslizos são mais propensos a ocorrer.

Por fim, o último pilar, Aprender com a Experiência, também foi mal aproveitado. O acidente da BP, Cidade do Texas, que ocorreu meses antes, foi resultado de uma explosão causada por vazamento de líquido e gás inflamável de uma torre Splitter. Semelhante a Buncefield, o vazamento ocorreu por falha no medidor de nível do tanque que, por não estar operando de forma correta, não informou a sala de controle sobre o que estava acontecendo.

O objetivo da utilização do RBPS é, portanto, corrigir falhas no processo e mitigar os riscos inerentes a ele. Sua implementação não tem o intuito de dificultar a produção com burocracias, mas sim de permitir que o processo continue operando por mais tempo. É um sistema completo e de visão ampliada, muito eficiente para otimizar a aplicação de recursos, pois não trata os riscos de forma igual, uma vez que os processos apresentam riscos de maior e menor impacto. A partir dele é possível entender melhor os fatores que geraram a explosão de Buncefield e as oportunidades de melhoria, tornando esse acidente uma chance de aprender com os erros para que eles não ocorram novamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASPO ENERGY. **Our Recommended - Oil Terminal Or Tank Farm**. 2022. Disponível em: <https://aspoenergy.com/oil-terminal-or-tank-farm/>. Acesso em: 1 jun. 2022.

BAKER, J. et al. **The report of the BP US refineries independent safety review panel**. BP, London, 2007.

BP. **Bp Statistical Review of World Energy**. 71. ed. Londres: Whitehouse Associates, 2022. 57 p.

BPA. **Operations**. Disponível em: <https://www.bpa.co.uk/operational-services/>. Acesso em: 01 dez. 2022.

CCPS International Conference and Workshop, Toronto, 2001.

CCPS. **Guidelines for Implementing Process Safety Management Systems**. [S. L.]: Wiley-Aiche, 1994.

CCPS. **Indicadores de Segurança de Processo: guia de seleção de indicadores proativos e reativos**. 3.1 [S.I.]: RSE Consultoria, 2019.

CCPS. **Process Safety Beacon: Overfilling tanks - What happened?** [S.I.]: Ccps, 2006
Chemical Process Safety, 2007.

COMAH. **Buncefield: Why did it happen?** [S.I.] Health And Safety Executive, 2011. 36 p.

CSB Safety Video: Anatomy of a Disaster. [S.I.]: Csb, 2008. Disponível em: https://youtu.be/XuJtdQOU_Z4. Acesso em: 18 dez. 2022.

DINIZ, A; ALMEIDA, A. C; FRANÇA, S. R. **Desenvolvimento de programa de segurança de processo: um caso de sucesso entre a Braskem e a DNV**. In: II CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE SEGURANÇA DE PROCESSOS, 2010, São Paulo. São Paulo: ABEQ, 2010.

EPA. **EPA/OSHA Joint Chemical Accident Investigation Report Napp Technologies, Incorporated, Lodi, New Jersey**. [S.I.]: U.s. Environmental Protection Agency, 1997. (Report no. EPA 550-R- 97-002).

GOWLAND, Richard. **Fuel Storage at Ports and Harbours: the buncefield (u.k.) accident**. [S.I.]: Unece, 2022. 21 slides, color. Disponível em: www.epsc.org. Acesso em: 15 dez. 2022.

HSE. **The Buncefield Incident: The final report of the Major Incident Investigation Board**. [S. l.], v. 1, 1 dez. 2008.

HSE. **The Buncefield Incident: The final report of the Major Incident Investigation Board**. [S. l.], v. 2, 30 dez. 2008.

PETER MARSH. **IChemE Learning lessons from Major Incidents: iche learning lessons from major incidents**. [S.I.]: Chemeng Evolution, 2022.

JONES, David. **Turning the Titanic - Three Case Histories in Cultural Change**. CCPS International Conference and Workshop, Toronto, 2001.

MANNAN, M. Sam. **The Buncefield explosion and fire-lessons learned**. Process Safety Progress, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 138-142, 11 mar. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/prs.10444>.

MATTOS, U.A.O & MÁSCULO, F.S. **Higiene e Segurança do Trabalho**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

MIXTURA. **Tanque de Armazenamento: o que é, para que serve e aplicações na indústria**. Disponível em: <https://mixture.ind.br/tanque-de-armazenamento/>. Acesso em:

05 out. 2022.

MUNIZ, Márcio Vinícios Pereira. **ANÁLISE CRÍTICA DA CONTRIBUIÇÃO DA TÉCNICA LOPA NA GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSO NA INDÚSTRIA**. 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

NWANKWO, Chizaram D.; AREWA, Andrew O.; THEOPHILUS, Stephen C.; ESENOWO, Victor N. Analysis of accidents caused by human factors in the oil and gas industry using the HFACS-OGI framework. **International Journal Of Occupational Safety And Ergonomics**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 1642-1654, 27 maio 2021. Informa UK Limited.

OSHA. **Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals-- Compliance Guidelines and Enforcement Procedures**. [S.I.], 1992. Disponível em: <https://www.osha.gov/enforcement/directives/cpl-02-02-045>. Acesso em: 10 dez. 2022.

ROCHA, Marco Aurélio da. **Segurança de Processo X Segurança Ocupacional – Parte 1**. 2021. Disponível em: <https://revistaemergencia.com.br/blogs/seguranca-de-processo-x-seguranca-ocupacional-parte-1/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

ROSS, John L. **The history and purpose of PSM-NEP**. 2013. Disponível em: <https://www.plantengineering.com/articles/the-history-and-purpose-of-psm-nep/>. Acesso em: 01 dez. 2022.

SKOGDALEN, J.E; VINNEM, J.E. **Combining precursor incidents investigations and QRA in oil and gas industry**. Reliab Eng Saf. 2012; 101; 48-58.

STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. **Buncefield Explosion Mechanism Phase 1: volumes 1 and 2**. Norwich: Hse Books, 2009.

WANG, G.Y. **Improvement Study of Active Safe Protection System of Large Oil Storage tank**. Northeast Petroleum University, China, 2018.