

CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA SENAI: CENTRO DE TECNOLOGIA DA
INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL

Gabriela Rodrigues Silveira

Análise do Acidente da Plataforma P-19 utilizando a Metodologia Bow Tie

Rio de Janeiro

2024

Gabriela Rodrigues Silveira

Análise do Acidente da Plataforma P-19 utilizando a Metodologia Bow Tie

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

Orientador(a): Marta Cristina Picardo.

Rio de Janeiro

2024

FICHA CATALOGRAFICA

Rodrigues Silveira, Gabriela.

Análise do Acidente da Plataforma P-19 utilizando a Metodologia Bow Tie. / Gabriela Rodrigues Silveira. – 2024.
f.57; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – SENAI CETIQT, Rio de Janeiro, 2024.

1.Metodologia Bow Tie. 2.Segurança de Processos. 3.Acidentes Industriais. 4.Sistema de Combate a Incêndio por CO2. I. Picardo, Marta Cristina (Orientadora). II. SENAI CETIQT. III. Título.

Gabriela Rodrigues Silveira

Análise do Acidente da Plataforma P-19 utilizando a Metodologia Bow Tie

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

Aprovada em: 28 de novembro de 2024.

Aprovado por:



Marta Cristina Picardo

Banca Examinadora:



Adriana Alves Barbosa, M. Sc, SENAI CETIQT

Assinado eletronicamente

Maximiano Correia Martins, D. Sc, SENAI CETIQT / UERJ ZO

Assinado eletronicamente

Frederico do Nascimento Cabral, Especialização, RME Consultoria e Engenharia

Rio de Janeiro

2024

À memória de meu amado pai, Roberto.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha profunda gratidão aos meus pais. À minha querida mãe, Jupiara, cuja dedicação e amor incondicional foram meu refúgio de cuidado e amparo nos momentos mais difíceis, sempre me acolhendo com palavras de incentivo e me transmitindo a força necessária para seguir em frente. Sem seu apoio constante e confiança em mim, a realização deste sonho não seria possível.

Ao meu amado pai, Roberto, meu maior incentivador e minha maior referência de força e determinação, expresso minha eterna admiração e gratidão. Foi ele quem me inspirou a trilhar o caminho da Engenharia, e é com orgulho e saudade que dou continuidade à trajetória que ele iniciou e que foi interrompida a poucos meses de sua própria formatura. Este é, em parte, um sonho dele realizado através de mim.

Agradeço ao meu querido irmão, Gabriel, por ser, ao longo dos anos, minha fonte de alegria e leveza, especialmente nos momentos difíceis. Agradeço também à minha tia Valéria, que, com seu exemplo de dedicação e perseverança, sempre me orientou pelo caminho correto e me ensinou a ser uma mulher de fibra. Expresso minha gratidão aos meus familiares, que me apoiaram nos momentos desafiadores e compreenderam minha ausência enquanto me dedicava à realização deste trabalho.

Ao meu namorado, Samuel, por todo o amor, carinho e compreensão. Sobretudo, por apoiar meus sonhos e por celebrar cada uma de minhas conquistas. Sem sua presença ao meu lado, esta jornada teria sido infinitamente mais árdua.

Agradeço às amigas construídas durante a graduação, especialmente à Karina Ximenes e à Jhessica Inglat, pelo apoio nas matérias e por tornarem essa jornada mais leve, enriquecedora e divertida. Aos amigos da RME, pela parceria e pelos valiosos ensinamentos compartilhados ao longo dos anos trabalhando juntos.

Agradeço também aos funcionários e docentes do SENAI CETIQT, especialmente à minha orientadora, Prof. Marta, por aceitar este desafio ao meu lado e por toda a dedicação, carinho e atenção ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço a Deus por nunca me desamparar nos momentos difíceis e por me sustentar ao longo de toda essa jornada, concedendo-me coragem e forças para seguir em frente. Por fim, expresso minha gratidão ao meu eu do passado, que acreditou e perseverou em seus sonhos, permitindo que eu alcançasse este momento.

*"Aqueles que não conseguem se lembrar do
passado estão condenados a repeti-lo".
(George Santayana)*

RESUMO

O setor de exploração e produção de petróleo e gás em plataformas *offshore* apresenta desafios críticos de segurança devido às adversidades do ambiente e da operação. O sistema de combate a incêndio é fundamental para proteger instalações, trabalhadores e o meio ambiente, mas relatórios da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) indicam desvios significativos e não conformidades nesses sistemas. O acidente ocorrido na plataforma P-19 destacou a necessidade de garantir a eficácia dos sistemas de combate a incêndio, especialmente o sistema de CO₂. Para tanto, o presente trabalho se propõe a aplicar a metodologia *Bow Tie* na análise do sistema de combate a incêndio por CO₂ da Plataforma P-19, com base na Árvore de Falhas elaborada pela ANP. A partir da análise foram identificados dois cenários de risco, porém constatou-se que apenas um dos cenários se qualificava para a criação do diagrama *Bow Tie*, no qual foram propostas salvaguardas para o cenário em questão. A escolha da metodologia *Bow Tie* deve-se à sua capacidade de apresentar de forma clara as barreiras de proteção, causas e consequências associadas ao sistema. Os resultados demonstram a eficácia da metodologia em identificar vulnerabilidades e propor salvaguardas para aprimorar a segurança dos processos nesse sistema crítico.

Palavras-chave: Metodologia Bow Tie; Segurança de Processos; Acidentes Industriais; Sistema de Combate a Incêndio por CO₂.

ABSTRACT

The oil and gas exploration and production sector on offshore platforms presents critical safety challenges due to adverse environmental and operational conditions. Firefighting systems are essential to protect facilities, workers, and the environment, but National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) reports indicate significant deviations and nonconformities in these systems. The accident on the P-19 platform highlighted the need to ensure the effectiveness of firefighting systems, especially the CO₂ system. To this end, this study aims to apply the Bow Tie methodology to the analysis of the CO₂ firefighting system of the P-19 Platform, based on the Fault Tree developed by ANP. From the study, two risk scenarios were identified. Still, it was found that only one of the scenarios qualified for the creation of the Bow Tie diagram, in which safeguards were proposed for the scenario in question. The choice of the Bow Tie methodology is due to its ability to allow clear viewing present the main protective barriers, causes, and consequences associated with the system. The results demonstrate the effectiveness of the methodology in identifying vulnerabilities and proposing safeguards to improve process security in this critical system.

Keywords: Bow Tie Methodology; Process Safety; Industrial Accidents; CO₂ Fire Fighting System.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1– MODELO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADO EM RISCO DO CCPS.	18
FIGURA 2 – MODELO GENÉRICO DE ÁRVORE DE FALHAS (FTA).	22
FIGURA 3 – MODELO DE DIAGRAMA BOW TIE.	24
FIGURA 4 – MODELO DO QUEIJO SUÍÇO.	26
FIGURA 5 – ESQUEMA TÍPICO DE SISTEMA FIXO POR CO ₂ DE ALTA PRESSÃO. ..	30
FIGURA 6 – FOTO PARCIAL DA SALA DOS CILINDROS DE CO ₂ DA P-19.....	32
FIGURA 7 – TRECHO DE ROTA DE FUGA DA SALA DOS EMDs.	34
FIGURA 8 – TRECHO DA PLANTA BAIXA DA SALA DOS EMDs.	35
FIGURA 9 – ASPERSOR E CONJUNTO DE ALARMES DE CO ₂ GERAIS NA SALA DOS EMDs.....	35
FIGURA 10 – ÁRVORE DE FALHAS DO ACIDENTE DA PLATAFORMA P-19.....	37
FIGURA 11 – DIAGRAMA DE BOW TIE.	41
FIGURA 12 – DESENHO PARCIAL DA PLANTA BAIXA E FOTO DAS VENEZIANAS AO FUNDO DA SALA DOS CILINDROS DE CO ₂	42
FIGURA 13 – FOTO EXTERNA DA SALA DOS CILINDROS DE CO ₂	43
FIGURA 14 – FOTOS DOS TERMINAIS ELÉTRICOS E COMPONENTES INTERNOS DA VÁLVULA DIRECIONAL E MICRO SWITCH.	43
FIGURA 15 – IMAGEM DA LISTA DE VERIFICAÇÃO DO BANCO DE BATERIAS DA INSTALAÇÃO.....	45
FIGURA 16 – FLUXOGRAMA DA LÓGICA DE ACIONAMENTO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO E EXAUSTÃO.	48

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MODELO DE PLANILHA DE BOW TIE.....	38
QUADRO 2 – PLANILHA DE BOW TIE.	40
QUADRO 3 – RECURSOS DE RESPOSTA A EMERGÊNCIA LOCALIZADOS NA ENFERMARIA.	49
QUADRO 4 – RECURSOS DE RESPOSTA A EMERGÊNCIA DO HELIDECK.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AIChE	American Institute of Chemical Engineers
CCPS	Center for Chemical Process Safety
FTA	Fault Tree Analysis
ICI	Imperial Chemical Industries
MAH	Major Accident Hazards
NFPA 12	Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems
RBPS	Risk Based Process Safety
SSO	Superintendência de Segurança Operacional

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	14
1.1. INTRODUÇÃO	14
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.2.1. Objetivo Geral	15
1.2.2. Objetivos Específicos.....	16
1.3. JUSTIFICATIVA.....	16
1.4. DELIMITAÇÃO	16
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 PILARES DA SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADA EM RISCOS	17
2.1.1 Pilar de Compreensão dos Perigos e Riscos	18
2.1.1.1 Conformidade com Padrões e Normas	19
2.1.1.2 Identificação de Perigos e Análise de Riscos	20
2.2 ANÁLISE DE RISCOS.....	20
2.2.1 Árvore de Falhas (Fault Tree Analysis - FTA).....	21
2.3 METODOLOGIA BOW TIE	23
2.4 BARREIRAS DE PROTEÇÃO: MODELO DO QUEIJO SUÍÇO	25
2.5 SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO POR CO ₂	28
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	30
3.1 ESTUDO DE CASO: DESCRIÇÃO DO ACIDENTE NA PLATAFORMA P-19	30
3.1.1 Configuração do Sistema de Combate a Incêndio por CO₂ da P-19.....	31
3.2 ÁRVORE DE FALHAS DO EVENTO	36
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 DESENVOLVIMENTO DO BOW TIE	39
4.1.1 Cenário: Liberação de Produto Asfixiante (CO₂) na Sala dos EMDs	42
4.1.1.1 Salvaguardas Preventivas	42
4.1.1.2 Salvaguardas Mitigadoras	47

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	51
5.1 CONCLUSÃO.....	51
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera *offshore* é caracterizada por operações complexas e desafiadoras, onde a segurança operacional é uma prioridade absoluta. O setor de exploração e produção de petróleo e gás natural em plataformas *offshore* envolve uma série de desafios operacionais e de segurança devido as adversidades do ambiente em que se encontra e da operação em si. Dentre os diversos aspectos críticos a serem considerados nesse contexto, o sistema de combate a incêndio desempenha um papel crucial na proteção das instalações, dos trabalhadores e do meio ambiente. No entanto, conforme evidenciado no relatório anual de segurança operacional das atividades de exploração e produção de 2022 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o sistema de combate a incêndio apresentou significativa parcela de desvios e não conformidades críticas, representando cerca de 20% do total dos desvios identificados (ANP, 2022).

Diante desse cenário, este trabalho propõe uma análise do sistema de combate a incêndio por CO₂ com enfoque na plataforma P-19. A motivação para este estudo surge do trágico acidente ocorrido em 2022 na referida plataforma, que resultou em uma fatalidade devido à atuação espúria (atuação involuntária) do sistema de combate a incêndio por CO₂ (SSO/ANP, 2023). Durante uma operação de manutenção na sala dos geradores auxiliares, um operador foi vítima de asfixia devido a um mau funcionamento do sistema, ocasionando impactos profundos não apenas na operação da plataforma, mas também no setor petrolífero como um todo. Esse evento alarmante evidencia a necessidade premente de revisão e aprimoramento dos procedimentos de gestão de barreiras do sistema de combate a incêndio por CO₂, bem como levanta importantes questões acerca da eficácia e segurança desse sistema, uma vez que, embora projetado para ser uma salvaguarda em cenários de risco, ele também introduz riscos adicionais devido a suas potenciais falhas combinadas com outras práticas de gestão (SSO/ANP, 2023).

Além disso, conforme levantamento realizado pela ANP, entre 2018 e 2022 foram registradas 67 ocorrências de disparo indevido de CO₂ em mais de 15 instalações distintas da mesma operadora. Esse dado evidencia a necessidade urgente de aprimorar os sistemas de gerenciamento, bem como de implementar medidas mais eficazes para a prevenção e combate

à incêndios (SSO/ANP, 2023). Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma gestão de barreiras eficiente para o sistema de combate a incêndio por CO₂ da plataforma P-19, com base no relatório de investigação fornecido pela ANP. Para alcançar esse objetivo, busca-se a aplicação da metodologia *Bow Tie* como uma ferramenta visual de gestão de barreiras, permitindo uma análise holística dos elementos envolvidos na prevenção de acidentes e na mitigação de seus impactos.

A aplicação da metodologia *Bow Tie* visa fornecer uma análise estruturada e visual dos riscos associados a um sistema específico, identificando eventos críticos, causas potenciais, consequências, barreiras de prevenção e mitigação de forma clara e organizada. Com isso, busca-se facilitar o gerenciamento de riscos, a tomada de decisões e a implementação de medidas eficazes para prevenir acidentes e garantir a segurança operacional do sistema.

Portanto, este estudo tem como objetivo analisar a gestão eficiente dos riscos associados ao sistema de combate a incêndio por CO₂ da Plataforma P-19, por meio da aplicação da metodologia *Bow Tie* à Árvore de Falhas do acidente. Ao compreender a complexidade desses sistemas e implementar medidas preventivas e mitigadoras adequadas, é possível reduzir a probabilidade de ocorrência de incidentes e acidentes graves, como o ocorrido na plataforma P-19, protegendo assim a vida humana, o patrimônio e o meio ambiente marítimo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal aplicar a metodologia *Bow Tie* para o sistema de combate a incêndio por CO₂ da Plataforma P-19, utilizando como base a árvore de falhas desenvolvida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) disponível no relatório de investigação de acidente da referida plataforma.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar os principais riscos na atuação do sistema de combate a incêndio por CO₂, com base na árvore de falhas do acidente ocorrido na plataforma P-19.
- Aplicar a metodologia *Bow Tie* para os cenários de risco selecionados na Árvore de Falhas.
- Identificar as barreiras de segurança existentes no sistema.
- Propor medidas preventivas e mitigadoras para aprimorar a segurança e garantir a plena funcionalidade do sistema de combate a incêndio por CO₂.

1.3. JUSTIFICATIVA

O acidente fatal registrado na plataforma P-19 em 2022, durante atividades operacionais de manutenção, enfatiza a imperativa necessidade de assegurar a eficácia e a segurança dos sistemas de combate a incêndio por CO₂ em plataformas *offshore*. Ademais, a constatada dificuldade da indústria em garantir a adequada testagem e operacionalidade desses sistemas, como evidenciado por problemas identificados em auditorias pré-operacionais, reforça a urgência de uma abordagem mais estruturada para a análise e gestão de riscos.

Neste cenário, a aplicação da metodologia *Bow Tie* demonstra-se pertinente e oportuna, uma vez que possibilita uma análise visual dos riscos relacionados ao sistema de combate a incêndio por CO₂, identificando suas causas fundamentais e propondo medidas para prevenir e mitigar ocorrências futuras.

1.4. DELIMITAÇÃO

O escopo do presente trabalho de conclusão de curso é limitado aos cenários de risco apresentados e identificados na árvore de falhas do evento ocorrido na plataforma P-19,

elaborada pela comissão de investigação da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) em 2023.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PILARES DA SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADA EM RISCOS

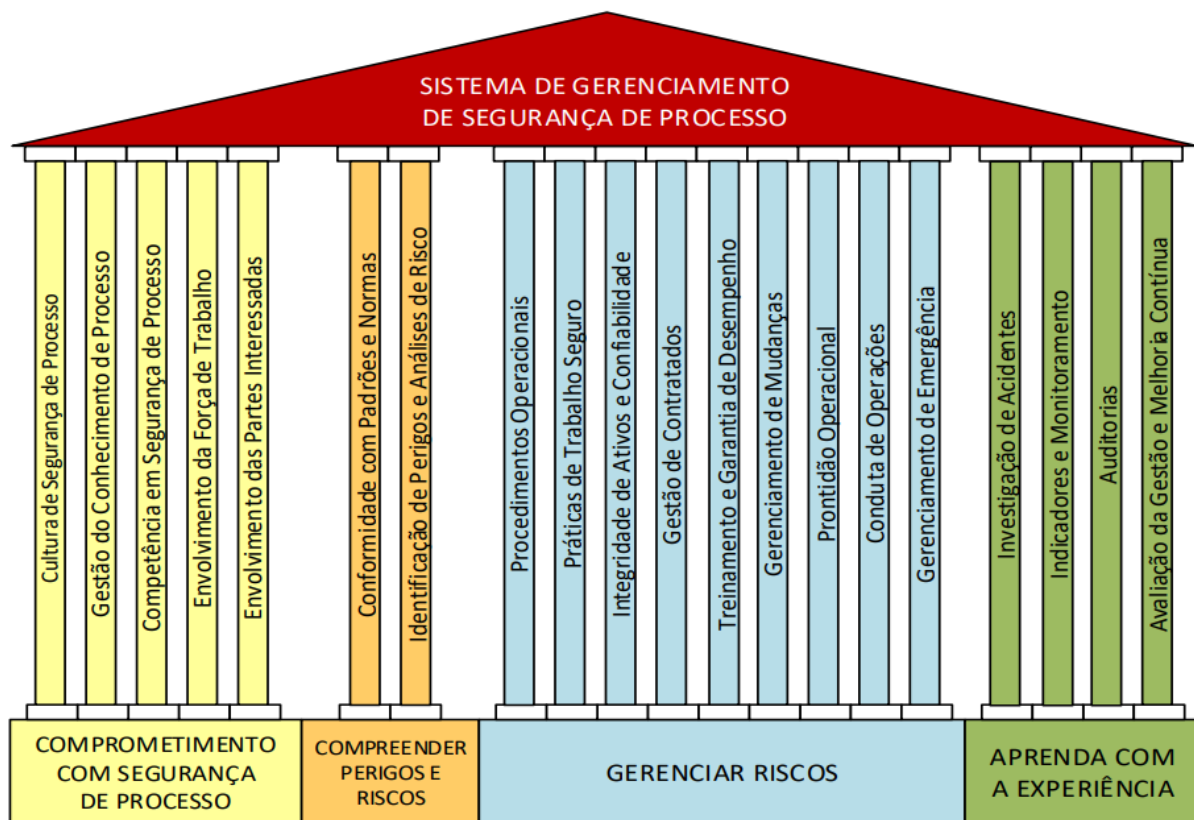
A Segurança de Processos concentra-se na gestão da integridade de sistemas operacionais e processos que frequentemente resultam em acidentes graves, envolvendo a perda de contenção de materiais potencialmente perigosos. De acordo com o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS), a segurança de processos está intimamente relacionada aos conhecimentos e técnicas aplicados na prevenção e mitigação de acidentes de processo. Esses processos abrangem atividades ou conjuntos de atividades que consideram o uso, a manufatura, o processamento e o armazenamento de substâncias perigosas ou não (CCPS, 2014).

Já a Segurança de Processos Baseada em Riscos ou *Risk Based Process Safety* (RBPS) pode ser definida como uma abordagem sistemática para gerenciamento da segurança de processos em operações industriais, objetivando identificar, prevenir e mitigar riscos. Desta forma, a RBPS apresenta diretrizes destinadas a fornecer ferramentas que auxiliam na construção e operação de sistemas de gerenciamento de segurança de processos mais eficazes. Essas diretrizes incluem orientações sobre como projetar um sistema de gerenciamento, corrigir sistemas deficientes e aprimorar as práticas de gerenciamento de segurança de processo (CCPS, 2014).

Conforme estabelecido pelo CCPS, o sistema de gerenciamento baseado no RBPS é composto por vinte elementos organizados em quatro pilares fundamentais: Comprometimento com a Segurança de Processos, Compreensão de Perigos e Riscos, Gerenciamento de Riscos e Aprendizado com a Experiência.

A Figura 1 ilustra os quatro pilares da Segurança de Processos Baseada em Riscos, tal como seus respectivos elementos.

FIGURA 1– MODELO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS BASEADO EM RISCO DO CCPS.



Fonte: Adaptado de CCPS (2014).

Entre os quatro pilares apresentados na Figura 1, o segundo pilar, que trata da Compreensão dos Perigos e Riscos, é o que melhor se alinha à análise do presente trabalho, especialmente no que se refere ao elemento de Identificação de Perigos e Análise de Riscos.

Essa abordagem baseada em risco contribui para evitar lacunas, inconsistências, excesso ou insuficiência de trabalho e retrabalho, que por sua vez são fatores que podem comprometer o sucesso de um sistema (CCPS, 2007).

2.1.1 Pilar de Compreensão dos Perigos e Riscos

A principal ameaça que uma organização pode enfrentar é a falta de conhecimento sobre seus perigos e os riscos que estes oferecem. Sendo assim, o segundo pilar do RBPS refere-se à compreensão e análise dos perigos e riscos.

Neste contexto, se faz necessário a diferenciação entre risco e perigo, sendo o perigo a capacidade intrínseca de causar danos, ao passo que o risco é a probabilidade de um perigo se concretizar, podendo ser quantificado em níveis como alto, moderado, baixo ou desprezível (LUZ, KAERCHER, 2017).

Para um gerenciamento efetivo de riscos e perigos, é fundamental que estes sejam previamente identificados, seguidos por uma avaliação para determinar a tolerabilidade dos riscos. Em instalações industriais, a realização antecipada e eficiente da análise de riscos ao longo do ciclo de vida aumenta significativamente a probabilidade de que as operações futuras sejam conduzidas de forma segura (CCPS, 2007).

Desta forma, o conhecimento obtido a partir dos estudos realizados é fundamental para a implementação das atividades de gestão da segurança de processos. Uma avaliação incorreta dos perigos e riscos em qualquer fase do ciclo de vida pode resultar no uso ineficiente de recursos ou na aceitação de riscos que superam os níveis toleráveis (CCPS, 2007).

Este pilar abrange dois elementos essenciais para a execução e implementação de um sistema de gestão de segurança de processos, conforme estabelecido pelas diretrizes do CCPS, descritos a seguir.

2.1.1.1 Conformidade com Padrões e Normas

Esse elemento, também denominado Gestão do Conhecimento do Processo, conforme definido pelo CCPS (2007), tem como principal objetivo desenvolver, documentar e manter o conhecimento sobre o processo. Essa gestão envolve atividades relacionadas à compilação, catalogação e disponibilização de um conjunto específico de dados, que geralmente são registrados em papel ou em formato eletrônico. No entanto, o conhecimento vai além da simples coleta de dados; ele implica um entendimento profundo das informações e do processo (CCPS, 2007).

Os documentos pertinentes incluem especificações técnicas, projetos de engenharia, cálculos, especificações de fabricação e instalação de equipamentos de processos, além de fichas de dados de segurança de materiais. Ademais, essa gestão abrange atividades destinadas a garantir que as informações sejam mantidas atualizadas e precisas, armazenadas de maneira

a facilitar sua recuperação e acessíveis aos funcionários que necessitam delas para executar suas funções relacionadas à segurança de processos (CCPS, 2007).

2.1.1.2 Identificação de Perigos e Análise de Riscos

A Identificação de Perigos e Análise de Risco (IPAR) é um termo abrangente que contempla todas as atividades relacionadas à identificação de perigos e à análise de riscos em instalações, ao longo de todo o seu ciclo de vida. O objetivo dessa abordagem é garantir que os riscos aos funcionários, ao público e ao meio ambiente sejam sistematicamente controlados dentro dos limites de tolerância de risco estabelecidos pela organização (CCPS, 2007).

Os estudos realizados frequentemente abordam três questões principais relacionadas ao risco:

- **Perigo** - O que é que pode dar errado?
- **Consequências** - O quão grave pode ser?
- **Probabilidade** - Com que frequência pode ocorrer?

O intuito de responder a essas questões é conduzir apenas o nível de análise necessário para a tomada de decisões, evitando assim tanto o desperdício de recursos quanto a realização de uma análise insuficiente (CCPS, 2007).

2.2 ANÁLISE DE RISCOS

A análise de riscos é um procedimento sistemático que visa a identificação e avaliação dos riscos associados a uma instalação específica, proporcionando uma avaliação crítica das consequências potencialmente perigosas decorrentes desses riscos (LUZ, KAERCHER, 2017). Dessa forma, o processo de análise de riscos envolve a identificação, discussão e avaliação das possibilidades de ocorrência de eventos catastróficos, visando a prevenção sempre que possível e, caso ocorram, a proposição de alternativas para mitigar seus impactos.

Existem diversas técnicas de análise de riscos associadas à segurança de processos, que se diferenciam em relação às suas naturezas, podendo ser qualitativas ou quantitativas. As

técnicas utilizadas para a avaliação e identificação de riscos em cenários perigosos podem ser aplicadas em todas as fases de operação de uma planta industrial, desde o comissionamento até a fase de descomissionamento (AIChE, 2012).

Para este trabalho, foi selecionado e será comentado apenas a técnica de Árvore de Falhas, mais bem detalhada a seguir.

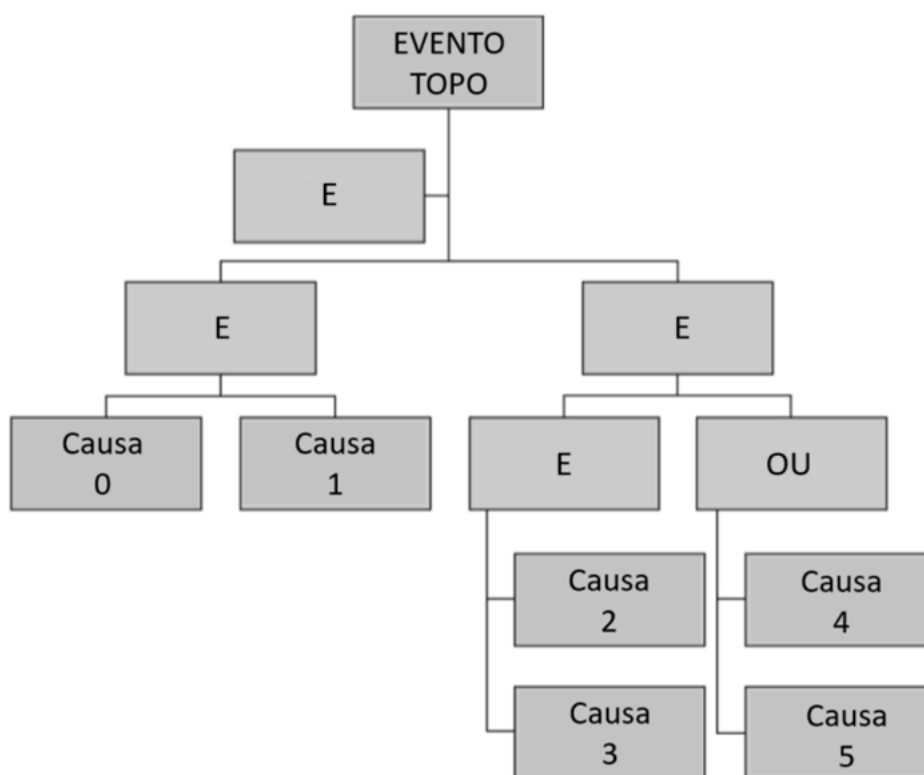
2.2.1 Árvore de Falhas (Fault Tree Analysis - FTA)

A análise de riscos de Árvore de Falhas ou *Fault Tree Analysis* (FTA) é uma técnica que compreende o mapeamento exaustivo de todas as possíveis relações causais que podem conduzir a um evento indesejado, possibilitando a identificação das causas raízes. Tal técnica permite que as organizações identifiquem e gerenciem os riscos de maneira mais eficiente, aprimorando, assim, a segurança e a confiabilidade do sistema (SSO/ANP, 2023).

A análise da Árvore de Falhas constitui uma abordagem que pode ser empregada tanto de maneira qualitativa quanto quantitativa. Como instrumento qualitativo, a FTA auxilia na identificação dos perigos e na formulação de combinações de falhas e condições que poderiam causar a ocorrência de um evento indesejado. Já na esfera quantitativa, essa ferramenta pode ser utilizada para avaliar a probabilidade de ocorrência de um evento específico, viabilizando, assim, uma avaliação probabilística de risco (INFRASPEAK, 2023).

A análise qualitativa da Árvore de Falhas, cuja principal vantagem associada a essa técnica é sua natureza visual, facilita a comunicação e a identificação de pontos fracos no sistema, contribuindo assim para a implementação de medidas preventivas eficazes (IBM, 2023).

FIGURA 2 – MODELO GENÉRICO DE ÁRVORE DE FALHAS (FTA).



Fonte: Adaptado de Calixto (2006).

A Figura 2 acima é um modelo genérico de FTA onde uma série de eventos causais geram um único evento topo. No qual, o evento topo da Figura 2 ocorre somente se as condições de ambos os blocos principais conectados a ele forem satisfeitas simultaneamente, seguindo a lógica das portas lógicas "E" (AND) e "OU" (OR). Nas portas "E", todas as causas conectadas devem ocorrer para ativar o evento topo, enquanto nas portas "OU", basta que uma das causas conectadas aconteça. Assim, no lado esquerdo, o evento intermediário depende das causas 0 e 1 ocorrerem juntas, enquanto no lado direito, o evento intermediário ocorre se as causas 2 e 3 acontecerem simultaneamente e, adicionalmente, se pelo menos uma das causas 4 ou 5 se manifestar.

Embora esses eventos possam ser independentes, eles contribuem para o desencadeamento do evento topo, seja por meio da combinação de múltiplos eventos causais ou por meio de eventos causais isolados (CALIXTO, 2006 *apud* LUZ, KAERCHER, 2017).

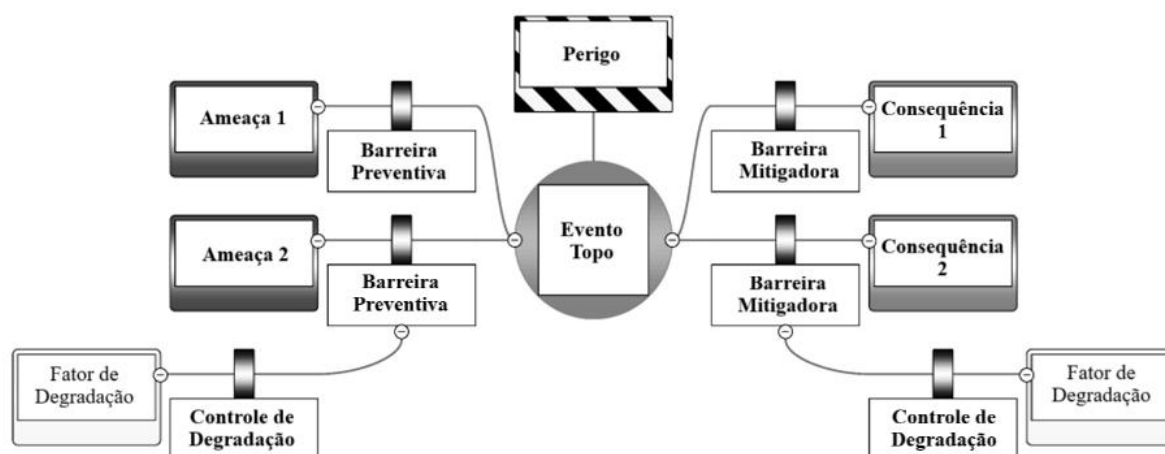
A partir da análise da FTA, é possível identificar e extrair informações como as causas iniciais do evento, o evento topo e suas consequências. Além disso, através desta análise é possível avaliar quais barreiras podem ser implementadas para evitar que as causas raízes resultem no evento indesejado, assim como identificar as barreiras que podem atuar após a ocorrência do evento principal, com o objetivo de mitigar suas consequências.

2.3 METODOLOGIA BOW TIE

A primeira menção à metodologia *Bow Tie* ocorreu em 1979 nas notas de cursos de Análise de Perigos da *University of Queensland*, na Austrália, desenvolvidas pelo *Imperial Chemical Industries* (ICI). No entanto, a origem exata do método não é completamente clara. Desta forma, a metodologia obteve notoriedade apenas em 1988, quando foi utilizada pelo Grupo Royal Dutch/Shell na análise do desastre da plataforma de petróleo Piper Alpha (AIChE, 2018).

A metodologia *Bow Tie* pode ser definida como sendo um diagrama que ilustra como diferentes ameaças podem ocasionar na perda de controle de um perigo, possibilitando que tal condição insegura evolua para uma série de consequências indesejáveis (AIChE, 2018). O nome da metodologia se deve à semelhança visual do diagrama com uma gravata borboleta, conhecida em inglês como "*Bow Tie*", conforme ilustrado na Figura 3.

FIGURA 3 – MODELO DE DIAGRAMA BOW TIE.



Fonte: Adaptado de AIChE (2018).

O diagrama pode ser dividido em oito elementos, organizados na sequência típica de construção do *Bow Tie*. Esses elementos são:

Perigo: refere-se à condição inerente a um sistema, atividade ou operação que possui o potencial de causar danos. No diagrama *Bow Tie*, o perigo é equivalente à fonte de risco, ou seja, o local ou sistema onde o fluido perigoso está contido.

Evento Topo: refere-se à perda de controle ou liberação do perigo, sendo este o evento principal a ser controlado, onde, eventos topo genéricos comuns são perda de contenção.

Ameaças: são as causas que têm o potencial de desencadear o evento topo e estão posicionadas no lado esquerdo do diagrama.

Consequências: são os resultados indesejados decorrentes do evento topo, posicionadas no lado direito do diagrama.

Barreiras Preventivas: são responsáveis por prevenir a ocorrência do evento topo e estão localizadas à esquerda do diagrama, entre as ameaças e o evento topo.

Barreiras Mitigadoras: são responsáveis por reduzir a gravidade das consequências caso o evento topo ocorra, e estão localizadas à direita do diagrama, entre o evento topo e as consequências.

Fatores de Degradação: são condições ou ações específicas que aumentam a probabilidade de falha de uma barreira de proteção, seja preventiva ou mitigadora, resultando em um desempenho inadequado e indesejado.

Controles de Degradação: são condições ou ações que previnem ou mitigam o fator de degradação, ou seja, mantêm o desempenho da barreira dentro dos parâmetros estabelecidos. O controle dos fatores de degradação atua exclusivamente sobre esses.

Uma vez construído, o diagrama *Bow Tie* objetiva o gerenciamento e a comunicação de riscos, fornecendo uma representação gráfica clara do processo de avaliação e gerenciamento de riscos, incluindo as ameaças, consequências, controles de degradação e barreiras, onde, de acordo com os requisitos estipulados pelo CCPS, as barreiras preventivas e mitigadoras devem ser eficazes, independentes entre si e auditáveis (AIChE, 2018).

É importante ressaltar que, devido à complexidade do método, a elaboração de um diagrama *Bow Tie* para todos os tipos de eventos se torna inviável, sendo, portanto, mais comumente utilizado para a análise de acidentes maiores ou *Major Accident Hazards* (MAH), ou seja, eventos de grande escala.

2.4 BARREIRAS DE PROTEÇÃO: MODELO DO QUEIJO SUÍÇO

O modelo do Queijo Suíço, ou *Swiss Cheese*, proposto por James T. Reason em 1990, é amplamente reconhecido como a forma mais adequada para representar barreiras de proteção. Originalmente, o modelo apresenta oito camadas, cada uma simbolizada por uma fatia de queijo suíço com buracos, que representam falhas ou deficiências que podem se agravar ao longo do tempo. Um acidente ocorre quando os buracos de todas as camadas se alinham, permitindo que o risco atravesse todas as barreiras, que podem ser tanto físicas quanto humanas (HOLLNAGEL, 2008).

FIGURA 4 – MODELO DO QUEIJO SUÍÇO.



Fonte: Petrobras (2019).

As camadas de proteção são divididas em barreiras preventivas e mitigadoras. As cinco primeiras são denominados preventivas e têm a função de atuar antes do evento topo, ou seja, antes da ocorrência de perda de contenção ou liberação. As três últimas, a partir da sexta barreira, são classificadas como mitigadoras, sendo responsáveis por agir após o evento topo, com o objetivo de minimizar os danos causados pela perda de contenção e reduzir a gravidade das consequências.

O CCPS (2014) estrutura e define cada uma das oito barreiras da seguinte forma:

Primeira Barreira – Projeto da Instalação de Processos: esta camada de proteção está relacionada ao projeto e à integridade dos equipamentos, levando em consideração a qualidade do projeto, os materiais utilizados e o dimensionamento adequado dos equipamentos. Projetos intrinsecamente mais seguros são aplicados nesta etapa, com o objetivo de reduzir a necessidade de camadas de proteção adicionais.

Segunda Barreira – Sistema de Supervisão e Controle (SSC): esta camada de proteção abrange controladores automáticos operacionais de engenharia e sistemas de supervisão e controle, como malhas de controle TIC, PIC, FIC e LIC, além de suas respectivas

válvulas, atuadores lógicos e iniciadores. Seu objetivo é assegurar a qualidade e garantir a operação segura dos processos.

Terceira Barreira – Alarmes e Intervenção do Operador: esta camada de proteção está relacionada aos controles de engenharia projetados para detectar desvios em relação aos parâmetros operacionais esperados. Após a detecção dos desvios por meio de um sistema de alarme acionado no painel, em decorrência de falhas na camada anterior, serão necessárias respostas através de intervenção humana para assegurar a operação segura do processo.

Quarta Barreira – Funções Instrumentadas de Segurança (SIFs): esta camada de proteção refere-se a controles de engenharia independentes, com ações automáticas para restaurar um sistema à condição segura. É composta por malhas de intertravamento TSHH/LL, PSHH/LL, LSHH/LL, além de suas respectivas válvulas, atuadores lógicos e iniciadores.

Quinta Barreira – Sistema de Alívio e Proteção Mecânica: esta é a última camada de proteção antes do evento topo, ou seja, antes da perda de contenção. Ela é composta por equipamentos como válvulas de segurança de pressão (PSV), discos de ruptura (PSE) e sistemas de alívio para *Flare* ou *Vent*, que removem a energia dos processos, proporcionando um alívio do sistema e protegendo-o contra os danos causados por desvios de pressão.

Sexta Barreira – Sistema de Proteção Física Pós-Liberação: esta camada de proteção abrange elementos de engenharia projetados para detectar e mitigar automaticamente as consequências relacionadas ao evento topo, com o objetivo de reduzir o volume de material vazado. Inclui diques de contenção, sistemas de detecção de fogo e gás com respostas automáticas, sistemas automáticos de parada de emergência (ESD), geração de energia de emergência, entre outros.

Sétima Barreira – Plano de Emergência (Unidade Industrial): esta camada é definida como uma área de segurança destinada à contenção emergencial, proporcionando a evacuação segura de pessoas da zona afetada por meio de rotas de fuga e pontos de abandono.

Oitava Barreira – Plano de Emergência (Comunidade): trata-se da última camada de contenção, voltada para a evacuação e retirada das comunidades e áreas circunvizinhas expostas ao alcance do evento topo. Esta etapa conta com o apoio de instituições externas, como o corpo de bombeiros, a defesa civil e outros órgãos públicos.

A integração entre a metodologia *Bow Tie* e o modelo do Queijo Suíço oferece uma abordagem oportuna e eficaz para a gestão de riscos. Cada barreira identificada no diagrama

Bow Tie pode ser analisada através do modelo do Queijo Suíço para identificar suas potenciais falhas, com cada barreira sendo considerada como uma fatia de queijo suíço. Essa combinação proporciona uma visualização clara das relações entre causas, evento topo e consequências, além de avaliar a robustez de cada barreira.

2.5 SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO POR CO₂

De acordo com a Superintendência de Segurança Operacional (SSO) da ANP o sistema de combate a incêndio por gás carbônico (CO₂) tem como objetivo extinguir o fogo por meio da inundação total de gás inerte na área de risco, uma vez que o CO₂ reduz a concentração de oxigênio no ambiente, interrompendo o processo de combustão. Conforme descrito na Ficha com Dados de Segurança (FDS), o CO₂ é um gás não inflamável sob condições normais de pressão e temperatura, presente na atmosfera em baixas concentrações. Contudo, em altas concentrações, ele apresenta efeito asfixiante e oferece riscos à saúde humana. Em concentrações de 2 a 3%, pode provocar sintomas de asfixia, vertigem e sonolência; em concentrações superiores a 15%, pode causar insuficiência circulatória rápida, levando à fatalidade.

Dada essas características, o uso do CO₂ em sistemas de combate a incêndio é regulamentado por normas específicas, como a Norma sobre Sistemas de Extinção por Dióxido de Carbono, ou *Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems* (NFPA 12), que estabelece os requisitos para projeto, instalação, dimensionamento, manutenção e operação desses sistemas de forma segura.

O CO₂ se destaca como agente extintor devido às suas características inertes e baixo custo, sendo ideal para sistemas de combate a incêndio, especialmente em ambientes fechados e que envolvam equipamentos elétricos, onde o uso de água seria inadequado. Em plataformas *offshore*, o sistema é empregado em salas que contêm equipamentos elétricos ou em áreas onde o uso de água poderia gerar outros riscos, como o de inundação do local (SSO/ANP, 2023).

Em áreas remotas, como plataformas *offshore*, é comum o uso de sistemas de combate a incêndio por CO₂ de alta pressão, devido à facilidade de transporte de cilindros para recarga. Esse tipo de sistema é preferido em locais onde o acesso de caminhões-tanque para enchimento

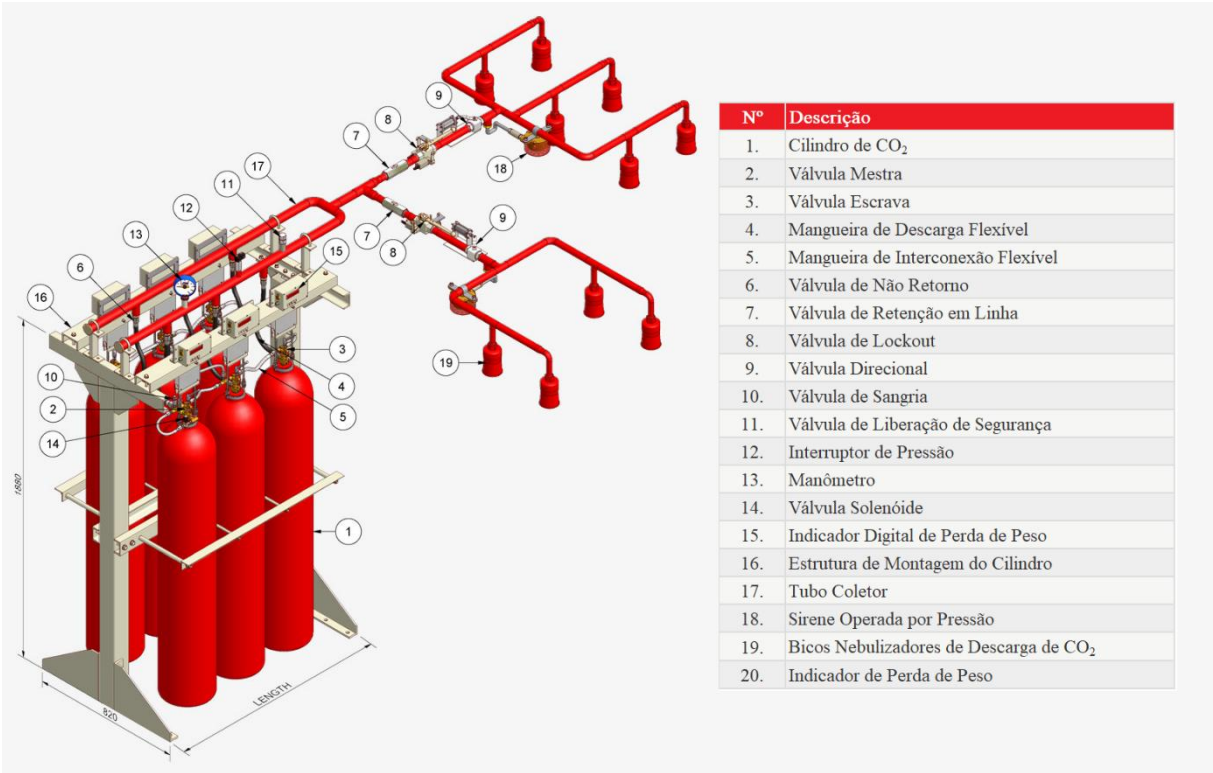
e reabastecimento de CO₂, como seria necessário nos sistemas de baixa pressão, é inviável (RISCO, 2006).

Os sistemas de alta pressão são compostos por diversos componentes essenciais para garantir a eficácia e a segurança da instalação. Entre esses componentes estão os cilindros individuais de armazenamento, que podem ser conectados a um tubo coletor comum, permitindo uma descarga rápida e simultânea. As válvulas desses cilindros podem ser operadas automaticamente ou manualmente, tanto localmente quanto remotamente, utilizando atuadores elétricos, pneumáticos ou mecânicos (RISCO, 2006).

Dependendo da configuração da instalação a ser protegida, uma única bateria de cilindros pode atender diferentes áreas em caso de emergência. A comutação do meio extintor entre as áreas protegidas é realizada por válvulas direcionais, sendo comum a utilização de uma bateria principal e outra de reserva. A instalação inclui uma tubulação de distribuição de CO₂ que se estende até os locais de risco, onde são instalados bicos nebulizadores, dimensionados especificamente para cada aplicação, seja para proteção local, seja para inundação total (RISCO, 2006).

Um esquema típico de um sistema de combate a incêndio por CO₂ de alta pressão é ilustrado na Figura 5.

FIGURA 5 – ESQUEMA TÍPICO DE SISTEMA FIXO POR CO₂ DE ALTA PRESSÃO.



Fonte: Adaptado de SYNERGY (2017).

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

3.1 ESTUDO DE CASO: DESCRIÇÃO DO ACIDENTE NA PLATAFORMA P-19

De acordo com a ANP (2023), no dia 2 de agosto de 2022, às 09h34, ocorreu um acionamento espúrio do sistema de combate a incêndio por CO₂ na sala dos motogeradores diesel auxiliares (EMDs). O disparo aconteceu durante um procedimento de limpeza na sala dos EMDs, onde quatro funcionários estavam realizando serviços devido à presença de óleo no piso.

Para a realização do serviço, era necessário que dois funcionários efetuassem a limpeza do piso, enquanto os outros dois aguardavam para recolocar os pisos gradeados no local, uma vez que, para acessar a área a ser limpa, era preciso retirar parte do piso gradeado. Alguns

minutos após o início do serviço, os funcionários foram surpreendidos pelo acionamento do alarme geral da plataforma, seguido da inundação de CO₂ no interior da sala. Nesse momento, três funcionários seguiram pela rota de fuga mais próxima, mas apenas dois conseguiram sair da sala conscientes. Os outros dois funcionários não conseguiram abandonar o local.

O primeiro funcionário foi encontrado desacordado próximo à rota de fuga, ainda na sala dos motogeradores, e, embora tenha sido socorrido pelos brigadistas, não recobrou a consciência, tendo o óbito declarado a bordo às 12h12. O segundo funcionário desacordado foi resgatado pelos brigadistas instantes após o primeiro, próximo a uma das portas de saída da sala. Este funcionário recobrou a consciência e sobreviveu (SSO/ANP, 2023).

3.1.1 Configuração do Sistema de Combate a Incêndio por CO₂ da P-19

A configuração do sistema de combate a incêndio por CO₂ da plataforma P-19 é constituído por dois grupos de 60 cilindros de 45 kg cada, totalizando 120 cilindros de armazenamento, além de tubos coletores, válvulas de cabeça de cilindro, válvulas direcionais, lâmpadas de sinalização, sirenes, bicos nebulizadores e botoeiras de disparo instaladas próximas às áreas protegidas (SSO/ANP, 2023).

A Figura 6 a seguir apresenta uma visão parcial dos cilindros de CO₂ da sala de cilindros da plataforma.

FIGURA 6 – FOTO PARCIAL DA SALA DOS CILINDROS DE CO₂ DA P-19.



Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

De acordo com o relatório investigativo da P-19, o sistema de combate a incêndio por CO₂ cobre diversas áreas da plataforma, incluindo algumas permanentemente habitadas. As áreas contempladas pelo sistema de CO₂ estão descritas abaixo.

- Sala de rádio;
- Sala de telecomunicações;
- Sala de controle de lastro;
- Sala do gerador diesel de emergência;
- Sala de equipamentos;
- Sala dos carregadores de baterias;
- Sala de controle central;
- Sala de painéis essenciais;
- Sala de controle dos turbocompressores;
- Sala da desaeradora (fundo);
- Salas de painéis nº 1, 2 e 3;
- Sala da desaeradora (teto);
- Sala dos motogeradores diesel auxiliares.

Além disso, é mencionado a existência de outras baterias compostas por 14 cilindros, dedicados aos demais compartimentos, como a coifa da cozinha, os casulos dos turbocompressores, dos turbogeradores e do compressor *booster*.

A memória de cálculo do projeto de dimensionamento da central de CO₂ indica que a sala dos motogeradores diesel auxiliares é a maior área atendida pelo sistema de combate a incêndio. Para cobrir essa área, é necessário o acionamento de 60 cilindros, o que corresponde à metade da capacidade total do sistema de CO₂ da plataforma (SSO/ANP, 2023).

De acordo com a ANP (2023), o acionamento do sistema fixo de CO₂ da P-19 pode ocorrer por meio da sensibilização dos detectores de fogo ou fumaça, ou através de botoeiras manuais. Quando acionado, o sistema de segurança dos cilindros de CO₂ libera a descarga dos cilindros correspondentes, equipados com válvulas de pressão.

Esses cilindros são interligados por uma tubulação de distribuição de CO₂, e as válvulas direcionais têm a função de alinhar corretamente a tubulação com a área protegida, para onde o gás será direcionado. As válvulas direcionais possuem comando elétrico, ativado por uma bobina solenóide, que pode ser acionada manual ou eletricamente.

O sistema elétrico de comando das válvulas é equipado com uma chave de posição (ZSH), que contém um *micro switch* elétrico responsável por confirmar a existência de comando para a válvula direcional. Esse dispositivo é essencial para sinalizar o movimento do eixo de acionamento da cabeça de comando, o qual pode ser ativado eletricamente ou manualmente (SSO/ANP, 2023).

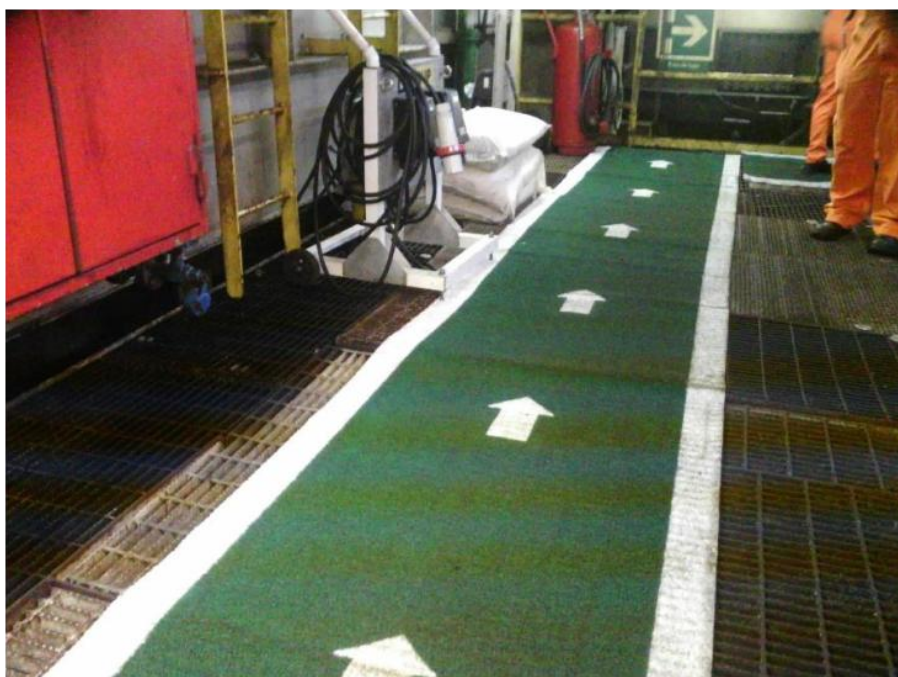
Ainda segundo a ANP (2023), a filosofia de segurança da plataforma P-19, conforme descrito nos documentos técnicos, determina que o sistema fixo de CO₂ seja acionado manualmente em áreas permanentemente assistidas. Nas áreas não assistidas, o acionamento deve ser automático, mediante detecção de incêndio, que iniciará a inundação de CO₂ no local afetado.

Além disso, as especificações indicam que, em áreas fechadas não habitadas permanentemente, a descarga de CO₂ só deve ser iniciada após a confirmação de detecção por, no mínimo, dois detectores ou por comando manual via botoeiras externas. Em áreas fechadas permanentemente habitadas, a descarga de CO₂ deve ser acionada exclusivamente por comando manual.

A função automática pode ser inibida sem desativar a detecção de incêndio, que continuará funcionando como alarme. A descarga de CO₂, nesses casos, é realizada manualmente através das válvulas nas baterias de cilindros, sendo precedida por um alarme sonoro, ativado 20 segundos antes da liberação do gás. Na sala dos motogeradores diesel auxiliares, devido ao seu grande tamanho, esse alarme é acionado 30 segundos antes da descarga (SSO/ANP, 2023).

Em relação à configuração da sala dos motogeradores diesel auxiliares (EMDs), a Superintendência de Segurança Operacional da ANP (2023) descreve que a sala abriga quatro motogeradores diesel idênticos, uma monovia e uma pequena área para carga e descarga. Os motogeradores são separados por um piso gradeado elevado, e uma das rotas de fuga é sinalizada por um tapete de borracha verde com setas brancas, conforme ilustrado na Figura 7.

FIGURA 7 – TRECHO DE ROTA DE FUGA DA SALA DOS EMDs.



Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

Na Figura 8 a seguir, é apresentada um trecho da planta baixa da sala dos motogeradores diesel auxiliares.

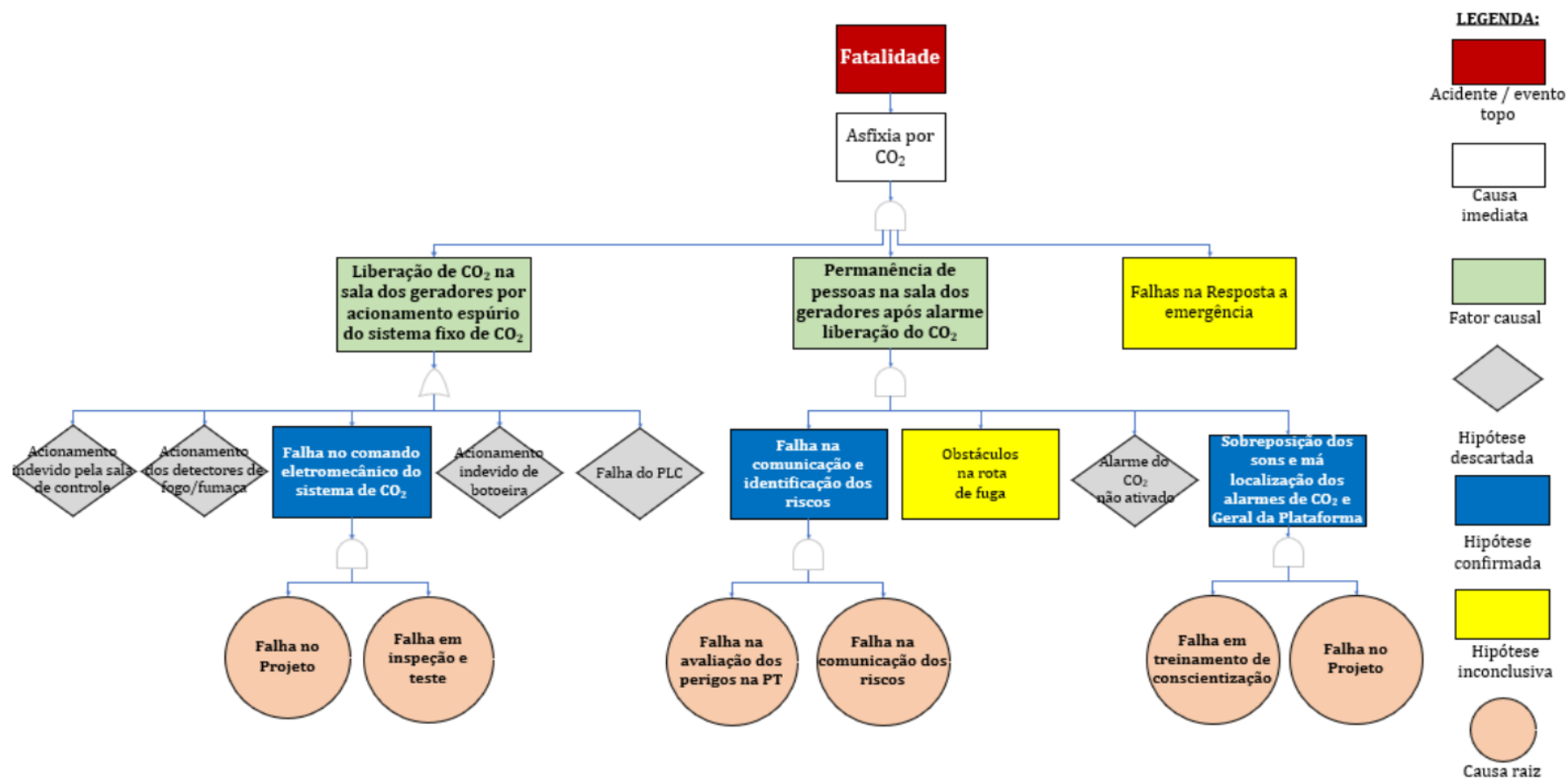
3.2 ÁRVORE DE FALHAS DO EVENTO

A Árvore de Falhas (FTA) referente ao acidente ocorrido na Plataforma P-19 foi elaborada com base nas informações obtidas ao longo da investigação conduzida pela Superintendência de Segurança Operacional da ANP, e consta no relatório de investigação da Plataforma.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é usar como base a Árvore de Falhas do acidente na Plataforma P-19 para aplicar a metodologia *Bow Tie* aos cenários de riscos associados ao sistema de combate a incêndio por CO₂ identificados na Árvore de Falhas do acidente.

A Figura 10 apresenta a Árvore de Falhas (FTA) elaborada pela comissão de investigação da ANP.

FIGURA 10 – ÁRVORE DE FALHAS DO ACIDENTE DA PLATAFORMA P-19.



Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

Através da Árvore de Falhas (FTA) apresentada na Figura 10, foram identificados dois cenários: Liberação de CO₂ na sala dos EMDs e Permanência de pessoas na sala dos EMDs, bem como suas causas e consequências.

Entretanto, verificou-se que apenas o cenário de Liberação de CO₂ estava diretamente relacionado à atuação do sistema de combate a incêndio por CO₂, considerando as falhas identificadas na configuração do sistema e as causas que resultaram no acionamento indevido, que culminou na consequência de asfixia. Além disso, conforme definido no item 2.3, eventos topo genéricos comuns são perda de contenção, sendo assim, o segundo cenário identificado não se qualifica como candidato para a criação de um *Bow Tie*, visto que a presença de pessoas na sala dos EMDs não configura uma situação de perda de contenção.

Desta forma, o primeiro cenário foi registrado em uma planilha, conforme ilustrado no Quadro 1 abaixo, previamente à elaboração do diagrama *Bow Tie*, com o objetivo de organizar de forma estruturada as informações coletadas a partir da análise da FTA.

QUADRO 1 – MODELO DE PLANILHA DE BOW TIE.

ANÁLISE DE BOW TIE												
Perigo	Causas	Salvaguardas Preventivas (SP)					Evento Topo	Salvaguardas Mitigadoras (SM)			Consequências	Nº
		B1	B2	B3	B4	B5		B6	B7	B8		

Fonte: O Autor (2024).

A planilha é composta por treze colunas, sendo as doze primeiras previamente descritas e definidas nos itens 2.3 e 2.4. Da terceira à sétima coluna estão listadas as barreiras preventivas, enquanto da nona à décima primeira estão as barreiras mitigadoras, onde, as salvaguardas serão alocadas de acordo com as barreiras mais adequadas. Vale destacar que as salvaguardas referentes ao cenário identificado na FTA serão propostas com base nas recomendações apresentadas no relatório de investigação do acidente na plataforma P-19, além das sugestões elaboradas pelo próprio autor.

A última coluna corresponde à numeração do cenário, na qual é atribuída uma sequência numérica a cada cenário identificado na FTA, com o objetivo de facilitar a organização e o rastreamento de cada cenário, bem como de seus itens associados. Assim, como apenas um dos dois cenários identificados na FTA possui perda de contenção, este será o cenário diagramado no *Bow Tie*.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESENVOLVIMENTO DO BOW TIE

Conforme descrito no item 3.2, o cenário de perda de contenção identificado na FTA foi registrado no Quadro 2, juntamente com sua respectiva causa, consequência e as salvaguardas propostas alocadas nas barreiras mais adequadas.

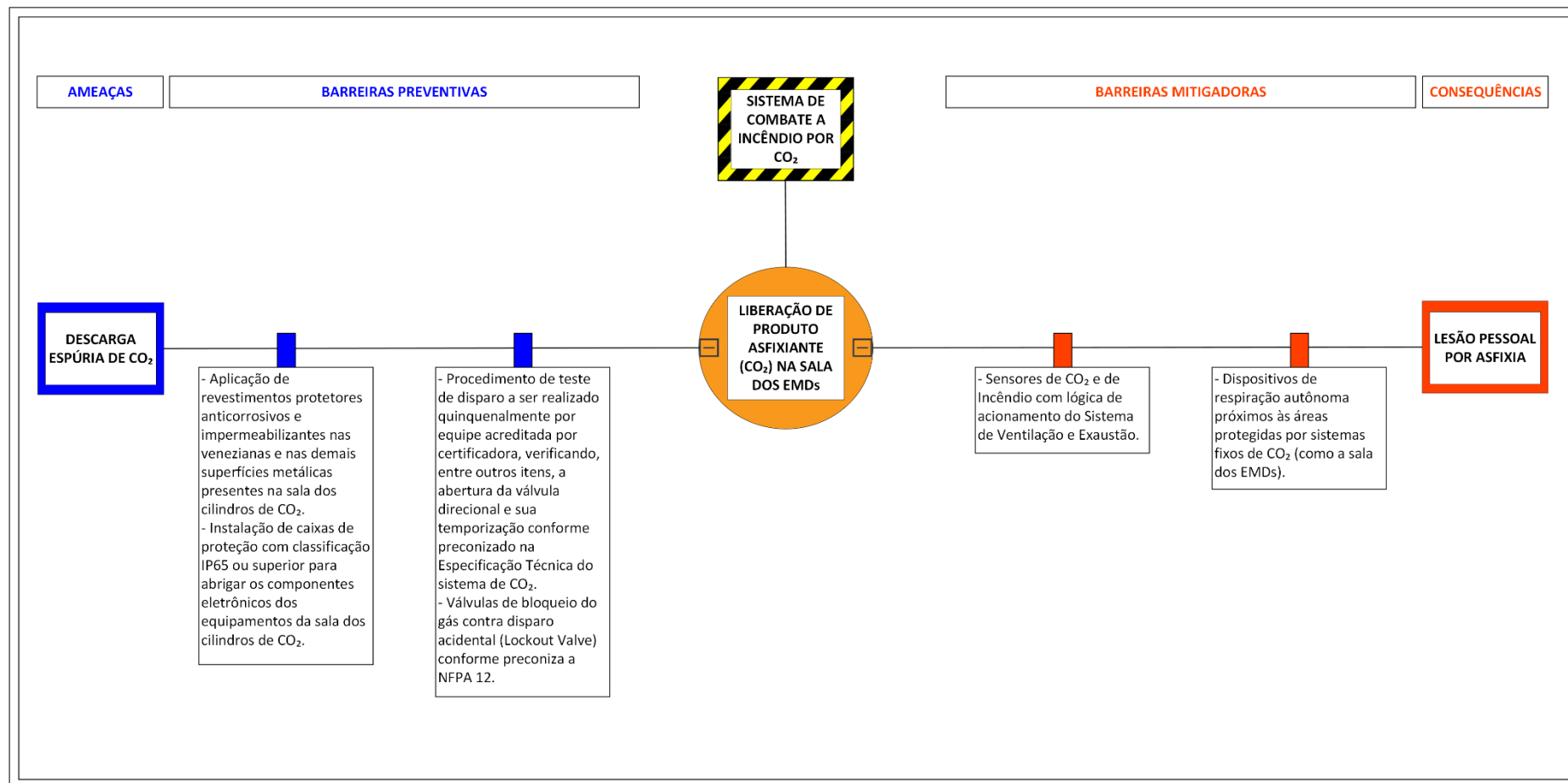
QUADRO 2 – PLANILHA DE BOW TIE.

ANÁLISE DE BOW TIE												
Perigo	Causas	Salvaguardas Preventivas (SP)					Evento Topo	Salvaguardas Mitigadoras (SM)			Consequência	Nº
		B1	B2	B3	B4	B5		B6	B7	B8		
Sistema de Combate à Incêndio por CO ₂	Descarga espúria de CO ₂	- Aplicação de revestimentos protetores anticorrosivos e impermeabilizantes nas venezianas e nas demais superfícies metálicas presentes na sala dos cilindros de CO₂. - Instalação de caixas de proteção com classificação IP65 ou superior para abrigar os componentes eletrônicos dos equipamentos da sala dos cilindros de CO₂.	N/A	- Procedimento de teste de disparo a ser realizado quinquenalmente por equipe acreditada por certificadora, verificando, entre outros itens, a abertura da válvula direcional e sua temporização conforme preconizado na Especificação Técnica do sistema de CO₂. - Válvulas de bloqueio do gás contra disparo acidental (<i>Lockout Valve</i>) conforme recomenda a NFPA 12.	N/A	N/A	Liberação de produto Asfixiante (CO ₂) na Sala dos EMDs	- Sensores de CO ₂ e de Incêndio com lógica de acionamento do Sistema de Ventilação e Exaustão.	- Dispositivos de respiração autônoma próximos às áreas protegidas por sistemas fixos de CO ₂ , (como a sala dos EMDs).	N/A	Lesão Pessoal por Asfixia	1

Fonte: O Autor (2024).

Após o preenchimento do Quadro 2, os dados do cenário foram empregados para elaborar o diagrama *Bow Tie* no software *Microsoft Visio*, conforme apresentado na Figura 11.

FIGURA 11 – DIAGRAMA DE BOW TIE.



Fonte: O Autor (2024).

4.1.1 Cenário: Liberação de Produto Asfixiante (CO₂) na Sala dos EMDs

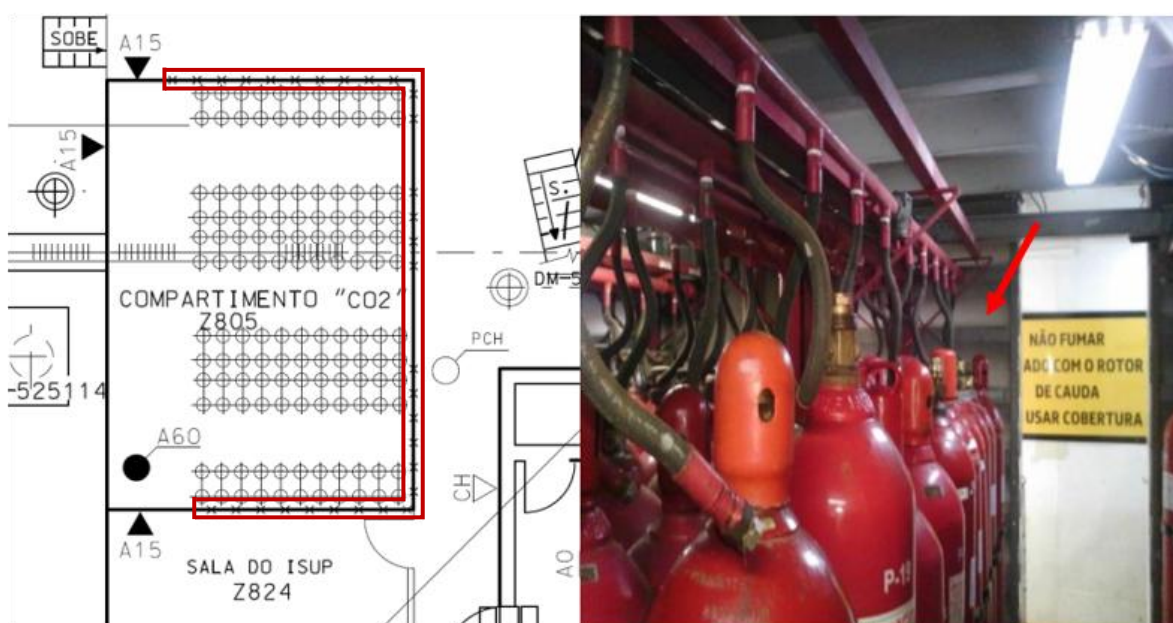
4.1.1.1 Salvaguardas Preventivas

Barreira 1 – Projeto da Instalação de Processos:

A primeira barreira de proteção está diretamente ligada à integridade dos equipamentos, considerando tanto a qualidade do projeto quanto os materiais empregados. A sala dos cilindros de CO₂ foi projetada com dois acessos sem portas, sem ventilação forçada e com delimitação apenas por venezianas, ou seja, sem a presença de paredes. Como resultado, a sala era constantemente exposta a elevados níveis de umidade, especialmente devido à localização da instalação em alto-mar. Além disso, o piso da sala era frequentemente lavado com o uso de lava jatos, o que contribuía para a formação de névoa por toda a área da sala.

Na Figura 12, observa-se a indicação, por meio de um "X", das áreas do compartimento que utilizam venezianas no lugar de paredes, enquanto na Figura 13 é possível observar as venezianas pela área externa à sala.

FIGURA 12 – DESENHO PARCIAL DA PLANTA BAIXA E FOTO DAS VENEZIANAS AO FUNDO DA SALA DOS CILINDROS DE CO₂.



Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

FIGURA 13 – FOTO EXTERNA DA SALA DOS CILINDROS DE CO₂.

Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

O projeto da sala, que expunha os cilindros a níveis elevados de umidade decorrentes do ambiente marinho, associada à limpeza constante do piso com jatos de água, facilitava a infiltração de umidade nos terminais elétricos e nos componentes internos da válvula direcional e do *micro switch* dos cilindros, conforme é observado na Figura 14. De acordo com a ANP, essa umidade pode ter sido a causa provável de um curto-circuito no *micro switch* de indicação de posição da cabeça de comando elétrico da válvula, resultando no disparo inadvertido.

FIGURA 14 – FOTOS DOS TERMINAIS ELÉTRICOS E COMPONENTES INTERNOS DA VÁLVULA DIRECIONAL E MICRO SWITCH.



Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

Para prevenir a ocorrência de eventos semelhantes, e levando em consideração as falhas de projeto identificadas, a solução mais adequada é a aplicação de revestimentos anticorrosivos e impermeabilizantes nas venezianas e em todas as superfícies metálicas da sala dos cilindros, além da instalação de caixas de proteção com classificação IP65 ou superior para abrigar os componentes eletrônicos dos equipamentos.

Esses elementos propostos como salvaguarda objetivam minimizar a entrada excessiva de umidade e, assim, prevenir a corrosão causada pela exposição contínua ao ambiente marítimo e pelos jatos de água. Ao implementar essas salvaguardas, espera-se evitar que a umidade alcance os terminais elétricos, prevenindo a ameaça de disparo inadvertido devido a curtos-circuitos provocados pela corrosão.

Ao implementar as salvaguardas propostas nesta primeira barreira de proteção, espera-se uma redução na ocorrência do evento topo, uma vez que projetos intrinsecamente mais seguros tendem a minimizar a necessidade de camadas adicionais de proteção devido à sua efetividade, evitando assim, a perda de contenção.

Barreira 3 – Alarmes e Intervenção do Operador:

A terceira barreira de proteção está relacionada aos controles de engenharia projetados para detectar desvios em relação aos parâmetros operacionais estabelecidos, exigindo respostas por meio de intervenção humana para garantir a operação segura do processo.

No que diz respeito à inspeção, teste e manutenção preventiva do sistema, a ANP constatou a inexistência de uma lista de tarefas de manutenção para os componentes elétricos da válvula direcional, bem como a ausência de inspeções realizadas por profissionais com qualificação técnica. Por outro lado, eram realizadas inspeções visuais em listas de verificação por técnicos de segurança, apenas para verificar a integridade das mangueiras dos cilindros e testes de disparo local das válvulas com inibição da liberação de CO₂, conforme indicado na Figura 15.

FIGURA 15 – IMAGEM DA LISTA DE VERIFICAÇÃO DO BANCO DE BATERIAS DA INSTALAÇÃO.

31.10.2020 02:11:10 OPER BANCO DE BATERIAS DE CO2 TRIMESTRAL 301019.FSCI.542501.000001.0001-Cilindros CO2 CN-542501A TAREFAS: 01-() VERIFICAR O ASPECTO VISUAL DOS CILINDROS DE CO2. 02-() VERIFICAR A INTEGRIDADE DOS MANGOTES E DAS CABEÇAS DE ATUAÇÃO. 03-() INSPEÇÃO VISUAL DE TODAS AS TUBULAÇÕES DO SISTEMA FIXO DE CO2. QUALQUER ANORMALIDADE (CORROSÃO, FUROS, ETC) DEVERÁ SER ABERTA NOTA DE MANUTENÇÃO PARA TRATAMENTO. OBS.: ANORMALIDADES ENCONTRADAS DEVEM SER EVIDENCIADAS ATRAVÉS DE ABERTURA DE NOTA. 23.11.2020 13:59:27 OPER BANCO DE BATERIAS DE CO2 TRIMESTRAL 301019.FSCI.542501.000001.0001-Cilindros CO2 CN-542501A TAREFAS: 01-(E) VERIFICAR O ASPECTO VISUAL DOS CILINDROS DE CO2. 02-(E) VERIFICAR A INTEGRIDADE DOS MANGOTES E DAS CABEÇAS DE ATUAÇÃO. 03-(E) INSPEÇÃO VISUAL DE TODAS AS TUBULAÇÕES DO SISTEMA FIXO DE CO2. QUALQUER ANORMALIDADE (CORROSÃO, FUROS, ETC) DEVERÁ SER ABERTA NOTA DE MANUTENÇÃO PARA TRATAMENTO. OBS.: ANORMALIDADES ENCONTRADAS DEVEM SER EVIDENCIADAS ATRAVÉS DE ABERTURA DE NOTA. SEM ANORMALIDADES, EXECUTANTE:

Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

De acordo com a Especificação Técnica do sistema de CO₂ (revisão A, de 15 de agosto de 2018), os testes de disparo do sistema devem ser realizados a cada cinco anos por uma equipe certificada, que verifica a abertura da válvula direcional e sua temporização. Adicionalmente, é recomendado que as chaves *micro switch* das válvulas direcionais sejam substituídas a cada cinco anos. No entanto, constatou-se que esses componentes são trocados apenas em caso de defeito ou falha, sem uma frequência de substituição definida, contrariando o requisito 13.2.1 da RTSGSO (2007, p. 19), que informa que o operador da instalação deve “Estabelecer planos e procedimentos para inspeção, teste e manutenção, a fim de buscar a integridade mecânica dos seus sistemas, estruturas, equipamentos e Sistemas Críticos de Segurança Operacional”.

Como forma de prevenir a ocorrência do evento, é indicado a implementação do Procedimento de teste de disparo quinquenal, envolvendo a verificação completa do funcionamento da válvula direcional do sistema de CO₂, além de um *looping test* completo dos

sistemas instrumentados de segurança antes do retorno operacional, em conformidade com a norma IEC 61511 (2016, p. 9), que "apresenta os requisitos para especificação, projeto, instalação, operação e manutenção de um sistema instrumentado de segurança (SIS), de modo que seja confiavelmente garantido que este sistema alcance ou mantenha o processo em um estado seguro". Este procedimento deve incluir, entre outros itens, a inspeção da abertura da válvula e da sua temporização, conforme as especificações técnicas do sistema.

A execução do teste por uma equipe acreditada assegura que todos os parâmetros de segurança e operação do sistema estejam em conformidade, reduzindo, assim, a probabilidade de falhas operacionais. A implementação desse procedimento como salvaguarda é eficaz para prevenir liberações acidentais de CO₂ pois o teste periódico identifica eventuais desvios nas válvulas direcionais e nos componentes que acionam o sistema, como as chaves *micro switch*. A verificação da temporização e da abertura correta da válvula garante que o sistema atuará exclusivamente em emergências reais, minimizando o risco de acionamentos indevidos causados por desgaste, falhas de comunicação ou outros defeitos não detectados.

Essa salvaguarda foi alocada na barreira 3 pois seu foco é o monitoramento e a verificação do funcionamento do sistema de proteção, oferecendo uma camada adicional de segurança. Ao estabelecer uma verificação periódica realizada por uma equipe certificada, essa salvaguarda contribui para a prontidão e a confiabilidade dos alarmes e dos mecanismos de resposta, atendendo ao objetivo de monitoramento ativo e intervenção preventiva da barreira 3.

No que se refere às demais falhas identificadas, a ANP constatou a ausência de Válvula *Lockout*, cuja função seria impedir o acionamento espúrio do sistema, contrariando o requisito 10.2.2 do RTSGSO (2007, p. 16), que determina que o operador da instalação deve "identificar, durante as fases de projeto, construção, instalação e desativação, as normas, os padrões e as boas práticas de engenharia relacionadas aos assuntos de Segurança Operacional". Um acionamento espúrio de válvulas ocorre quando uma válvula é acionada involuntariamente, sem um comando legítimo para sua abertura ou fechamento. Dessa forma, entende-se que a existência da Válvula *Lockout* no sistema teria sido suficiente para prevenir a atuação espúria e, conseqüentemente, a liberação não intencional de CO₂.

Com o objetivo de evitar a ocorrência do evento topo, sugere-se a instalação de uma Válvula *Lockout* de bloqueio do gás contra disparos acidentais, conforme preconizado pela NFPA 12. Essa válvula é projetada para interromper ou bloquear o fluxo de gás em situações de emergência ou manutenção, prevenindo disparos acidentais. Ela funciona como um

dispositivo de segurança que pode ser acionado manual ou automaticamente para bloquear o fluxo de CO₂. Em condições normais, a válvula permanece fechada e é aberta apenas quando o sistema é ativado intencionalmente, sendo uma solução eficaz na prevenção de liberações acidentais de CO₂, especialmente em casos de atuações espúrias de válvulas devido a falhas mecânicas ou erros de operação.

Essa salvaguarda foi alocada na barreira 3 pois está diretamente relacionada ao monitoramento e controle do funcionamento do sistema de proteção. Assim, a implementação da salvaguarda nessa barreira assegura que qualquer manutenção ou intervenção possa ser realizada de forma segura, com risco reduzido de liberação acidental de CO₂. Além disso, a verificação periódica dessa válvula por uma equipe certificada garante que todos os parâmetros de segurança e operação do sistema estejam em conformidade, reduzindo a probabilidade de falhas operacionais, conforme mencionado na salvaguarda de procedimento proposta anteriormente.

As salvaguardas e procedimentos propostos para esta terceira barreira de proteção visam prevenir a ocorrência do evento topo, garantindo que os desvios identificados em relação aos parâmetros operacionais esperados, sejam corrigidos por meio de intervenções humanas, assegurando assim a operação segura do processo.

4.1.1.2 Salvaguardas Mitigadoras

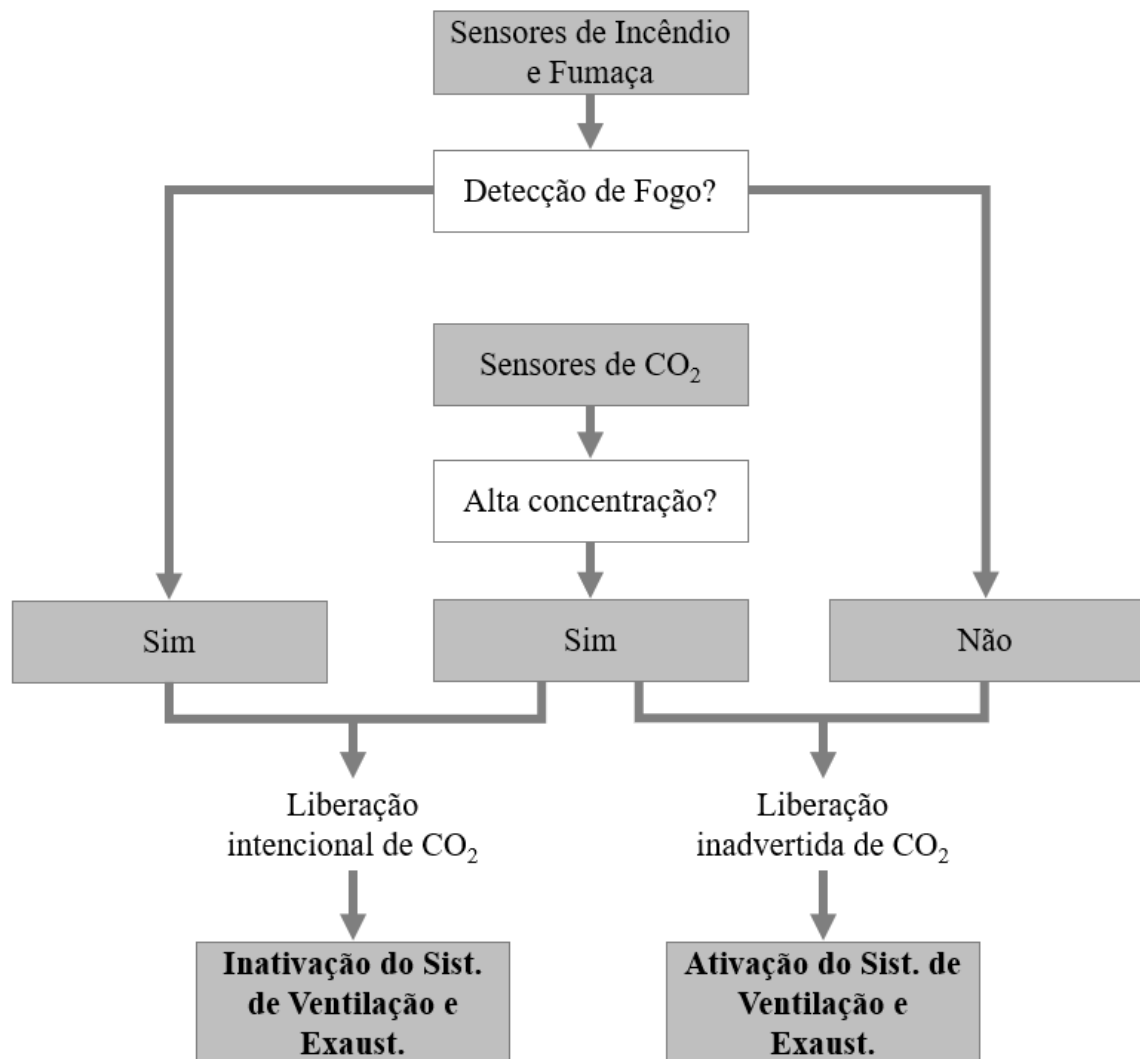
Barreira 6 – Sistema de Proteção Física Pós-Liberação:

A sexta barreira é a primeira barreira de proteção após a perda de contenção, cujo objetivo principal é reduzir o volume do material vazado e mitigar os danos resultantes. A sala dos EMDs, por ser um ambiente fechado, abriga uma grande quantidade de equipamentos e estruturas, incluindo quatro grandes motogeradores a diesel, dutos de ar, monovia, vigas, entre outros. Em ambientes fechados como este, o acúmulo de CO₂ pode ocorrer rapidamente devido à ausência de ventilação natural, agravado pela configuração da sala, que dificulta a dispersão do gás entre os grandes equipamentos e estruturas.

Para mitigar os efeitos da liberação de CO₂, é indicado a implementação de um sistema de ventilação e exaustão na sala dos EMDs, acionado por sensores de gás que detectam a

presença de CO₂ em níveis elevados. Esses sensores são programados para ativar o sistema de ventilação quando a concentração de CO₂ ultrapassar um limite pré-definido, assegurando a dispersão do gás e protegendo os trabalhadores. A Figura 16 a seguir ilustra a lógica de acionamento do sistema de ventilação e exaustão.

FIGURA 16 – FLUXOGRAMA DA LÓGICA DE ACIONAMENTO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO E EXAUSTÃO.



Fonte: O Autor (2024).

De acordo com a lógica de acionamento proposta, o sistema deve ser integrado com sensores de incêndio e fumaça, de modo que, se os sensores de incêndio não detectarem fogo e os sensores de CO₂ indicarem uma concentração elevada, a lógica de controle interpreta a situação como uma liberação inadvertida de CO₂, ativando a ventilação para dispersar o gás.

Em contrapartida, caso o alarme de incêndio esteja ativo, o sistema de ventilação e exaustão não será acionado, para evitar a dispersão do CO₂ necessário à extinção do fogo.

Desta forma, o sistema assegura uma circulação de ar ativa e forçada, diluindo e removendo rapidamente o CO₂, evitando que ele se acumule em níveis perigosos para as pessoas presentes. Assim, o sistema reduz o risco de asfixia e limita o tempo de exposição dos ocupantes, proporcionando um ambiente mais seguro e menos propenso a reter CO₂.

Alocar a salvaguarda de sistema de ventilação e exaustão na barreira 6 assegura que, mesmo se todas as medidas preventivas falharem, os impactos de uma liberação de CO₂ serão mitigados de forma eficiente pelo sistema.

Barreira 7 – Plano de Emergência (Unidade Industrial):

A sétima barreira é a penúltima barreira de proteção, entretanto, para este cenário específico, é a última aplicável, relacionada à contenção emergencial e à evacuação de pessoas da zona afetada. A ANP constatou que o Plano de Resposta a Emergência (PRE) da P-19 não previa um cenário específico de acionamento do sistema de combate a incêndio por CO₂ com pessoas no interior da sala protegida. Adicionalmente, verificou-se na lista de materiais de resposta ao PRE a inexistência de oxímetro e cilindros de oxigênio na enfermaria, estando presentes apenas no *helideck*, conforme Quadros 3 e 4.

QUADRO 3 – RECURSOS DE RESPOSTA A EMERGÊNCIA LOCALIZADOS NA ENFERMARIA.

Material de Enfermaria	Quantidade
AMBU	03 unid.
Desfibrilador	01 unid.
Locais para atendimento de vítimas	Capacidade de Atendimento
Enfermaria Principal	01 pessoa
Enfermaria Secundária (sala anexa à enfermaria)	02 pessoas
Área de Triagem (área abaixo do heliponto)	20 pessoas

Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

QUADRO 4 – RECURSOS DE RESPOSTA A EMERGÊNCIA DO HELIDECK.

Recursos Materiais do Helideck	
Material de Salvamento	Quantidade
Kit portátil de primeiros socorros	01 unid.
Macas rígidas flutuantes com imobilizador de cabeça	03 unid.
Ampola portátil de oxigênio	02 unid.
Máscaras para kit portátil de oxigênio	02 unid.

Fonte: Relatório de Investigação de Incidentes P-19, ANP (2023).

A ausência de equipamentos fundamentais na enfermaria para atendimento das vítimas de asfixia ratifica a falha no procedimento de resposta a emergência, contrariando o requisito 14.3.3.h do RTSGSO (2007, p. 20), que informa que "o Plano deve também contemplar equipamentos e materiais de resposta". Assim, objetivando mitigar os efeitos da perda de contenção e da falha da barreira anterior, além das falhas identificadas no Plano de Resposta a Emergência (PRE), é sugerido a implementação de Dispositivos de Respiração Autônoma próximos às áreas protegidas por sistemas fixos de CO₂, como a sala dos EMDs, além da disponibilização desses dispositivos na enfermaria.

Essa salvaguarda é eficaz para mitigar o risco associado à liberação indesejada de CO₂, pois, ao fornecer uma fonte de ar respirável isolada do ambiente contaminado, permite que os trabalhadores respirem de forma segura em caso de alta concentração de CO₂. O dispositivo de respiração autônoma é fundamental para evitar a inalação de CO₂, permitindo que os ocupantes da sala possam evacuar com segurança.

A implementação dessa salvaguarda se alinha melhor com a barreira 7, que é a última barreira de proteção destinada a proteger diretamente a saúde e a integridade dos trabalhadores da unidade em situações críticas, quando as demais barreiras de prevenção e mitigação falharam. Enquanto as barreiras anteriores buscam evitar a liberação ou reduzir sua propagação e efeitos no ambiente, essa barreira visa a proteção dos trabalhadores ao fornecer equipamentos de segurança que garantam a sobrevivência e a evacuação segura diante de um evento adverso inevitável. Dessa forma, o uso de dispositivos de respiração autônoma é uma medida final essencial para a proteção direta das pessoas expostas, assegurando que, mesmo em um cenário de liberação acidental de CO₂, o risco de lesões graves ou fatalidades seja minimizado.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a análise de segurança do sistema de combate a incêndio por CO₂ do acidente ocorrido na plataforma P-19, enfatizando a necessidade de aprimorar a gestão de riscos em instalações *offshore*. A metodologia *Bow Tie* foi aplicada ao cenário de risco identificado na Árvore de Falhas (FTA) do acidente, permitindo a exploração das causas e consequências associadas ao sistema, além de proporcionar uma visão clara das barreiras existentes e das medidas preventivas e mitigadoras necessárias para assegurar a eficácia desse sistema crítico.

Foram identificados dois cenários de risco associados ao sistema de combate a incêndio por CO₂: Liberação de CO₂ na sala dos EMDs e Permanência de Pessoas na sala dos EMDs. Contudo, verificou-se que apenas o cenário de Liberação de CO₂ estava diretamente relacionado à atuação do sistema de combate a incêndio, em razão das falhas na configuração do sistema e das causas que levaram ao acionamento indevido, responsável pela consequência de asfixia. Este mapeamento evidenciou os riscos significativos associados ao sistema e a importância de realizar aprimoramentos estruturais e operacionais.

Foi constatado que o cenário de Permanência de Pessoas na sala dos EMDs não atendia à premissa de evento topo genérico, uma vez que não apresentava perda de contenção, motivo pelo qual não se qualificou para a construção de um diagrama *Bow Tie*. Dessa forma, a metodologia foi aplicada exclusivamente ao cenário de "Liberação de CO₂ na sala dos EMDs". A aplicação do *Bow Tie*, por sua vez, organizou as informações de forma a evidenciar a ameaça, consequência e as barreiras de proteção associadas ao cenário em questão, proporcionando uma visualização clara das vulnerabilidades do sistema.

A partir da construção do diagrama *Bow Tie* para o cenário selecionado, com base no modelo do Queijo Suíço e levando em consideração todas as falhas que culminaram no acidente, foram identificadas quatro barreiras de segurança associadas ao cenário. No entanto, constatou-se que essas barreiras apresentam falhas, como a sobreposição de alarmes e a ausência de sistemas adequados de ventilação, o que compromete a segurança do sistema.

Foram propostas salvaguardas preventivas e mitigadoras com o intuito de garantir a segurança e a funcionalidade do sistema. Entre as medidas sugeridas, destacam-se: a implementação de sistemas de ventilação e exaustão na sala dos EMDs, a instalação de válvulas de bloqueio contra disparos acidentais e a adoção de procedimentos de manutenção periódica. As salvaguardas propostas visam, portanto, prevenir o acionamento indevido do sistema, além de mitigar as consequências potencialmente fatais associadas ao uso do CO₂.

Assim, conclui-se que a análise realizada neste trabalho, ao sugerir melhorias para as fragilidades identificadas no relatório investigativo do acidente, possibilita o desenvolvimento de políticas de segurança mais eficazes. Tais políticas contribuirão para a criação de um ambiente mais seguro nas operações de plataformas *offshore*, ao mesmo tempo em que contribuirão para a plena funcionalidade do sistema de combate a incêndio por CO₂.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de uma Análise de Camadas de Proteção (LOPA - *Layer of Protection Analysis*) com o objetivo de avaliar se o número de barreiras propostas é suficiente para salvaguardar o cenário de risco aplicado na metodologia *Bow Tie* desenvolvida neste estudo. A LOPA é uma metodologia amplamente reconhecida, permitindo avaliar a eficácia e a robustez das camadas de proteção existentes, assegurando que os riscos sejam reduzidos a níveis aceitáveis.

Ao aplicar a LOPA, será possível identificar e quantificar as potenciais falhas nas barreiras de proteção, determinando a necessidade de implementar barreiras adicionais ou aprimorar as já existentes. Esse processo fornecerá uma análise detalhada da eficácia do sistema de proteção, garantindo que ele seja capaz de prevenir a perda de contenção e mitigar suas consequências de maneira eficaz.

Além disso, sugere-se o desenvolvimento de uma Análise Preliminar de Riscos (APR) para o cenário de risco aplicado na metodologia *Bow Tie* desenvolvida neste estudo. A APR é uma ferramenta essencial para identificar perigos potenciais, avaliar os riscos associados e propor medidas de controle adequadas. Essa análise complementarà a metodologia *Bow Tie* ao fornecer uma visão mais detalhada e específica dos riscos envolvidos.

A implementação de uma APR permitirá um entendimento mais aprofundado sobre as possíveis falhas e eventos adversos, contribuindo para a melhoria contínua dos sistemas de segurança. Essa análise também servirá como base para a revisão e atualização das barreiras de proteção, ajustando-as conforme necessário para garantir a eficácia na mitigação dos riscos.

Essas análises sugeridas podem ser instrumentais para validar as conclusões do presente trabalho e para a implementação de um sistema de gestão de riscos ainda mais resiliente e seguro. Ademais, podem servir como base para a revisão contínua e aprimoramento dos planos de segurança, ajustando as barreiras de proteção conforme a evolução do cenário de risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AICHE - American Institute of Chemical Engineers. **Bowties in risk management: a concept book for process safety**. John Wiley & Sons, Inc.: American Institute of Chemical Engineers, 2018.

AICHE - American Institute of Chemical Engineers. **Indicadores de segurança de processo. Tradução realizada pela RSE Consultoria do guia elaborado pelo CCPS**. Disponível em: https://www.aiche.org/sites/default/files/docs/pages/ccps_process_safety_metrics_-v3.1-_pt_final.pdf. Acesso em: 07 nov. 2024.

AICHE - American Institute of Chemical Engineers. **O que é "Segurança de Processos"?** Disponível em: <https://www.aiche.org/sites/default/files/2008-07-Beacon-Portuguese%20%28Brazil%29.pdf>. AICHE, 2008. Acesso em: 07 nov. 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Regulamento SGSO**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/regulamento_sgso.pdf. ANP. 2007. Acesso em: 18 out. 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Relatório anual de segurança operacional das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural (2022)**. ANP, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/raso/2022-relatorio-anual-seguranca-operacional.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Relatório de investigação de incidentes: Plataforma Petrobrás p-19**. ANP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/p-19/relatorio-investigacao-p-19.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BUCKA. **Sistema de Supressão por CO₂: Sistema Fixo de Combate a Incêndios em Navios e Plataformas Offshore**. Bucka, 2017. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/sistema-de-supressao-por-co2-sistema-fixo-de-combate-a-incendios-em-navios-e-plataformas-offshore/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

BUCKA. **Sistemas fixos de CO₂ em navios e plataformas**. Bucka, 2021. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/sistemas-fixos-de-co2-em-navios-e-plataformas/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

CBMERJ - Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro. **Norma Técnica NT2-13, 2ª Edição, 2023**. CBMERJ, 2023. Disponível em: https://www.cbmerj.rj.gov.br/wp-content/uploads/2024/05/NT2-13_2Edio_2023.pdf. Acesso em: 07 out. 2024.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Diretrizes para segurança de processos baseada em risco**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 07 nov. 2024.

CO₂ SYSTEMS. **CO₂ Fire Extinguishing System**. Disponível em: <http://www.co2system.in/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

DEPARTAMENTO TÉCNICO DA GIFEL ENGENHARIA DE INCÊNDIOS. **CO₂ - 2ª parte**. RISCO, 2006. Disponível em: <http://www.risco.com.br/NL/MOL/04/CO2-2a-Parte.htm>. Acesso em: 07 nov. 2024.

EDRAWSOFT. **Diferença Entre a Análise da Árvore de Falhas e a Análise da Árvore de Eventos** EDRAWSOFT, 2024. Disponível em: <https://www.edrawsoft.com/pt/difference-faulttree-eventtree.html>. Acesso em: 07 nov. 2024.

E-TEC BRASIL. **Aula 14 - Análise por Árvores de Falhas - AAF**. Disponível em: https://edisiplinas.usp.br/pluginfile.php/4656821/mod_resource/content/1/AAF.pdf. Acesso em: 07 nov. 2024.

ELFIRE. **Sistema fixo de CO₂: dimensionamento e estimativa**. ELFIRE, 2022. Disponível em: <https://elfire.com.br/en/sistema-fixo-de-co2-dimensionamento-e-estimativa/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

GESTÃO DE SEGURANÇA PRIVADA. **Segurança de Processo: O que é, Para que serve, Objetivos, Pilares**. GESTÃO DE SEGURANÇA PRIVADA, 2022. Disponível em: <https://gestaodesegurancaprivada.com.br/seguranca-de-processo-o-que-e-para-que-serve-objetivos/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

HOLLNAGEL, ERIK. **The changing nature of risks**. Researchgate, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/45514196_The_Changing_Nature_of_Risks. Acesso em: 07 nov. 2024.

IBM. **O que é uma análise de árvore de falhas?** Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/fault-tree-analysis>. Acesso em: 03 set. 2024.

IBRAM. **IBRAM e CCPS assinam convênio para boas práticas de segurança de processos na mineração**. IBRAM, 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/ibram-e-ccps-assinam-convenio-para-boas-praticas-de-seguranca-de-processos-na-mineracao/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

INFRASPEAK. **Análise de árvore de falhas: definição e aplicação**. INFRASPEAK, 2024. Disponível em: <https://blog.infraspeak.com/pt-br/analise-arvore-de-falhas/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

IEC. **IEC 61511-1:2016**. IEC, 2016. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/20175/f68c8f8865b14e3c8f453f4e8bc8070d/IEC-61511-1-2016.pdf>. Acesso em: 18 out. 2024.

LEITE, FELIPE SILVA LOBO. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Sistema de gestão de segurança de processo baseada em risco na indústria química**. UFRJ, 2018. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025372.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2024.

LUZ, D. F.; KAERCHER, A. R. **Gerenciamento de riscos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2017. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 03 out. 2024.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Visio. Software.** Versão online. Redmond: Microsoft Corporation, [2024]. Disponível em: <https://www.microsoft365.com/launch/visio>. Acesso em: 07 nov. 2024.

NFPA. National Fire Protection Association. **NFPA 12: 2022 - Carbon Dioxide Extinguishing Systems.** Quincy, MA: NFPA, 2022.

NRC. **CO₂ Systems.** Disponível em: <https://www.nrc.gov/docs/ML1415/ML14150A220.pdf>. Acesso em: 02 set. 2024.

PETROBRAS. **Catálogo de padronização.** Disponível em: <https://canalfornecedor.petrobras.com.br/regras-de-contratacao/catalogo-de-padronizacao>. Acesso em: 07 nov. 2024.

PWB - ENGENHARIA AMBIENTAL E SEGURANÇA DO TRABALHO. **Você sabe o que é segurança de processo?** PWB, 2021. Disponível em: <https://pwbengenharia.com.br/voce-sabe-o-que-e-seguranca-de-processo/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

QSP. **A Análise BowTie Conectada aos Sistemas de Gestão.** Disponível em: <https://www.qsp.org.br/pdf/BowTie.pdf>. QSP, 2021. Acesso em: 07 nov. 2024.

Página de assinaturas



Marta Picardo
084.224.917-61
Signatário



Adriana Barbosa
134.041.507-08
Signatário

Assinado eletronicamente

Maximiano Martins
104.063.947-09
Signatário

Assinado eletronicamente

Frederico Cabral
121.332.707-52
Signatário

HISTÓRICO

02 dez 2024 17:43:37		Gabriela Rodrigues Silveira criou este documento. (Email: engquimicagabriela@gmail.com)
02 dez 2024 18:37:15		Marta Cristina Picardo (Email: mcpicardo@cetiqt.senai.br, CPF: 084.224.917-61) visualizou este documento por meio do IP 200.225.199.125 localizado em Belo Horizonte - Minas Gerais - Brazil
02 dez 2024 18:40:54		Marta Cristina Picardo (Email: mcpicardo@cetiqt.senai.br, CPF: 084.224.917-61) assinou este documento por meio do IP 200.225.199.125 localizado em Belo Horizonte - Minas Gerais - Brazil
02 dez 2024 19:13:20		Adriana Alves Barbosa (Email: aabarbosa@cetiqt.senai.br, CPF: 134.041.507-08) visualizou este documento por meio do IP 186.205.26.136 localizado em Rio de Janeiro - Rio de Janeiro - Brazil
02 dez 2024 19:14:55		Adriana Alves Barbosa (Email: aabarbosa@cetiqt.senai.br, CPF: 134.041.507-08) assinou este documento por meio do IP 186.205.26.136 localizado em Rio de Janeiro - Rio de Janeiro - Brazil
02 dez 2024 19:43:54		Maximiano Correia Martins (Email: mcmartins@cetiqt.senai.br, CPF: 104.063.947-09) visualizou este documento por meio do IP 200.225.199.125 localizado em Belo Horizonte - Minas Gerais - Brazil
02 dez 2024 19:44:10		Maximiano Correia Martins (Email: mcmartins@cetiqt.senai.br, CPF: 104.063.947-09) assinou este documento por meio do IP 200.225.199.125 localizado em Belo Horizonte - Minas Gerais - Brazil
03 dez 2024 15:14:39		Frederico do Nascimento Cabral (Email: frederico.cabral@rmeconsultoria.com, CPF: 121.332.707-52) visualizou este documento por meio do IP 179.34.171.38 localizado em São Gonçalo - Rio de Janeiro - Brazil



03 dez 2024

15:14:39



Frederico do Nascimento Cabral (Email: frederico.cabral@rmeconsultoria.com, CPF: 121.332.707-52)

assinou este documento por meio do IP 179.34.171.38 localizado em São Gonçalo - Rio de Janeiro - Brazil

