

Pós-Graduação

Segurança de Processos



PROPOSTA DE PADRÃO DE DESEMPENHO OPERACIONAL PARA O SISTEMA DE DETECÇÃO DE FOGO E GÁS EM FPSO

André H. N. da Silva, Flávia Martins, Kauana P. de Farias,
Matheus S. Zandominegue e Rafael M. Toneto

RESUMO

As empresas do setor de óleo e gás devem realizar as suas atividades com foco na prevenção de incidentes. A identificação, avaliação e a gestão dos riscos são essenciais em todas as fases do ciclo de vida das instalações offshore. Os eventos de incêndio e explosão estão intrinsecamente ligados à integridade, confiabilidade e disponibilidade do sistema de detecção de fogo e gás. Desse modo, o desempenho deste sistema crítico de segurança deve ser monitorado permanentemente para que as estratégias e barreiras de proteção permaneçam válidas a fim de se evitar a exposição de pessoas, ativos e meio ambiente a eventos acidentais graves. Tendo isso em vista, o objetivo principal deste trabalho foi propor um padrão de desempenho operacional para o sistema crítico de segurança de detecção de fogo e gás, de modo a garantir o critério de performance ao longo das fases do ciclo de vida de um FPSO. Para se alcançar este resultado, foi realizado um levantamento de referencial bibliográfico, incluindo artigos científicos, normas e regulamentos nacionais e internacionais, lições aprendidas em auditorias do SGSO e a experiência adquirida ao longo de anos dos integrantes do grupo atuando na área de Óleo e Gás. Para tanto, utilizou-se como ponto de partida na metodologia a identificação sistemática das fontes de risco e suas potenciais consequências. Na análise Bow-tie, a perda de contenção de hidrocarbonetos no topside do FPSO foi considerada como evento topo e o sistema de detecção de fogo e gás foi evidenciado como a primeira barreira de controle do escalonamento do incidente. Então, um padrão de desempenho operacional foi proposto para verificar os requisitos essenciais do sistema de F&G. Dentre as principais conclusões, destaca-se a contribuição dos critérios de aceitação e das atividades de garantia do padrão de desempenho para assegurar a funcionalidade, confiabilidade, disponibilidade e a capacidade de sobrevivência do sistema de detecção de fogo e gás.

Palavras-chave: FPSO, Detecção de Fogo e Gás, Elementos Críticos, Barreiras e Padrão de Desempenho.

ABSTRACT

Oil and gas sector companies must carry out their activities with a focus on incident prevention. The identification, assessment, and management of risks are essential in all phases of the lifecycle of offshore installations. Fire and explosion events are intrinsically linked to the integrity, reliability, and availability of the fire and gas detection system. Therefore, the performance of this critical safety system must be continuously monitored so that protection strategies and barriers remain valid to prevent the exposure of people, assets, and the environment to serious accidental events. The main objective of this work was to propose an operational performance standard for the critical fire and gas detection safety system, in order to ensure performance criteria throughout the lifecycle stages of an FPSO. To achieve this result, a literature review was conducted, including scientific articles, national and international standards, lessons learned from SGSO audits, and the experience gained over years of group members working in the Oil and Gas sector. For this purpose, systematic identification of risk sources and their potential consequences was used as the starting point in the methodology. In the Bow-tie analysis, the loss of hydrocarbon containment on the FPSO topside was considered a top event, and the fire and gas detection system was highlighted as the primary control barrier for incident escalation. Then, an operational performance standard was proposed to verify the essential requirements of F&G system. Among the main conclusions, the contribution of acceptance criteria for performance standard assurance activities to ensure the functionality, reliability, availability, and survivability of the fire and gas detection system stands out.

Keywords: *FPSO, Fire and Gas Detection, Critical Elements, Barriers and Performance Standard.*

SIGLAS

ALARP	<i>As Low As Reasonably Practicable</i> (Tão Baixo Quanto Razoavelmente Praticável)
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	<i>American Petroleum Institute</i>
CFTV	Circuito Fechado de TV
CCPS	<i>Center for Chemical Process Safety</i>
CCR	<i>Central Control Room</i> (Sala de Controle Central)
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i> (Sistema Informatizado de Gerenciamento de Manutenção)
DS	<i>Detection System</i> (Sistema de Detecção)
ESD	<i>Emergency Shutdown</i> (Desligamento de emergência)
F&G	Fogo e Gás
FPSO	<i>Floating, Production, Storage and Offloading</i> (Unidade Flutuante de Produção, Armazenamento e Transferência de Petróleo)
HAZID	<i>Hazard Identification Study</i> (Estudo de Identificação de Perigos)
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i> (Estudo de Perigos e Operabilidade)
HRA	<i>Human Reliability Analysis</i> (Análise de Confiabilidade Humana)
HSE	<i>Health, Safety and Environment</i> (Saúde, Segurança e Meio Ambiente)
HVAC	<i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i> (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)
ICSS	<i>Integrated Control Safety System</i> (Sistema Integrado de Controle e Segurança)
IHM	Interface Humana Máquina

MAE	<i>Major Accident Event</i> (Evento Acidental Grave)
MAH	<i>Major Accident Hazard</i> (Perigo de Acidente Grave)
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i> (Associação Nacional de Proteção Contra Incêndios)
PAGA	<i>Public Address and General Alarm System</i> (Sistema de Endereço Público e Alarme Geral)
SGSO	Sistema de Gestão da Segurança Operacional

1. INTRODUÇÃO

O ano de 2021 trouxe um cenário otimista para o setor de petróleo e gás, marcando uma recuperação após os impactos da pandemia de *Covid-19*. Grandes *players* registraram lucros significativos no primeiro trimestre, indicando uma retomada dos investimentos impulsionada pela flexibilização do isolamento social global. No Brasil, a empresa líder também obteve bons resultados, reportando um lucro considerável no primeiro semestre, atribuído ao foco em ativos estratégicos, desinvestimento em ativos menos atrativos e aumento das vendas de produtos (IBP, 2020).

A frota de FPSOs do Brasil crescerá mais de 40% até o final desta década. A projeção é baseada em informações fornecidas pela ANP e pela Marinha, além da petrolífera nacional Petrobras e outras operadoras. FPSOs que estão atualmente inativos ou programados para serem desativados em breve não foram incluídos na contagem. Hoje, existem 45 FPSOs operando e 19 plataformas estão programadas para entrar em operação nos próximos anos. A maior parte delas (16) será usada em projetos operados pela Petrobras, duas em campos operados pela Equinor (Bacalhau e Pão de Açúcar) e uma no projeto Atlanta, da Enauta (BNAMÉRICAS, 2023).

No cenário brasileiro, os reservatórios de prospectos do pré-sal representam uma parcela significativa das reservas de petróleo e gás, oferecendo oportunidades e desafios únicos. A exploração desses reservatórios demanda enfrentar desafios tecnológicos complexos, dada a profundidade das águas e a complexidade geológica associada. A indústria de petróleo no Brasil também enfrentou incidentes relevantes, ressaltando a importância de avanços contínuos em segurança operacional.

De acordo com a ANP, em 2022 foram registrados 2410 incidentes em instalações marítimas, sendo as plataformas de produção e poços marítimos responsáveis por 1244 desses incidentes. Neste mesmo ano, o Relatório Anual de Segurança Operacional nas Atividades de Exploração e Produção de Óleo e Gás destaca que a maioria dos incidentes em operações marítimas está relacionada a princípios de incêndio, alcançando 42,31 ocorrências por cada 100 unidades em operação no país. A taxa de incêndio significativo alcançou um valor muito próximo ao registrado em 2021, a qual havia dobrado em comparação a 2020, passando de 0,53 para 1,10 ocorrências por cada 100 unidades em operação. Nesse período, um incêndio significativo foi registrado em uma instalação *offshore* no Brasil, originado a partir de um vazamento de gás em uma linha de gás *lift* (ANP, 2022).

Neste contexto, o sistema crítico de segurança de detecção de fogo e gás (F&G) desempenha um papel fundamental no controle do escalonamento de incidentes com possibilidade de incêndio e explosão. Pela norma Petrobras N-2914, este é definido como um "sistema fixo de detecção e monitoramento da Unidade composto por detectores de chama, fumaça, temperatura e gás, sistemas de controle, alarmes e atuadores que iniciam ou efetuam as ações de segurança em casos de incêndio ou gás detectado e alarmado".

Nas auditorias de 2021 do sistema de detecção de F&G, foram examinados diversos aspectos, incluindo filosofias de detecção, lógicas de votação, gestão de inibições, critérios de alocação e testes de detectores, bem como estratégias de combate a incêndios e implementação de recomendações de estudos de dispersão de gases. Os principais desvios identificados abrangem falhas na sistemática de inibição, permitindo sucessivas inibições na mesma zona de incêndio sem uma gestão de risco adequada, resultando em uma redução significativa na cobertura. Além disso, foi observada a ausência de um número mínimo de detectores na zona de incêndio, comprometendo a eficácia da matriz de causa e efeito, além de falhas no contingenciamento de detectores inibidos (ANP, 2021).

Em seu relatório anual de segurança operacional, a ANP apontou que um dos fatores contribuintes para a interdição do FPSO Espírito Santo em 2022 foi a falha no gerenciamento do sistema de detecção de F&G da unidade. Foi identificada degradação significativa do sistema, acarretando cobertura de detecção abaixo do critério do próprio estudo de risco elaborado pelo operador. Além disso, havia grande estocagem de produtos químicos inflamáveis no *main deck* sem gestão de risco e sem contingência, não havendo condições mínimas de segurança tais como ausência de drenagem, detecção e contenção (ANP, 2022).

Em indústrias sensíveis ao risco, como a de petróleo e gás, busca-se constantemente oportunidades e medidas para gerenciá-los de forma eficaz. Uma abordagem baseada no desempenho de elementos e sistemas críticos para a segurança operacional, como o de detecção de F&G, é fundamental dada a natureza dinâmica e inerentemente perigosa das atividades. Essa questão deu origem à necessidade de se estabelecer um padrão de desempenho para referenciar os sistemas e controles usados para mitigar os riscos, monitorar o desempenho dos ativos e fornecer um meio para avaliar continuamente os requisitos de manutenção (SCHWARTZ e FIX, 2015).

Diante do exposto, fica evidente que o sistema de detecção de F&G e o seu adequado gerenciamento em termos de seu desempenho emergem como aspectos

determinantes para prevenir incidentes e mitigar riscos, garantindo a segurança das operações e a preservação da vida e do meio ambiente. Estes fatores tornam-se vitais para lidar com os desafios inerentes à exploração em ambientes tão desafiadores, consolidando a indústria brasileira de petróleo e gás como uma referência global em inovação e segurança.

Neste sentido, o objetivo principal do presente trabalho foi propor um padrão de desempenho operacional para o sistema crítico de segurança de detecção de F&G, de modo a garantir o critério de *performance* para a funcionalidade, confiabilidade, disponibilidade e capacidade de sobrevivência do sistema ao longo das fases do ciclo de vida de um FPSO.

Os objetivos específicos do presente trabalho foram:

- Definir o sistema de detecção de F&G como um Sistema Crítico de Segurança Operacional, destacando a sua importância para o fornecimento de informações confiáveis sobre a localização dos incêndios, para evacuar o pessoal das áreas afetadas e adjacentes, limitar a escalada e para iniciar as ações mitigadoras;
- Descrever a funcionalidade do sistema de detecção de F&G e seus principais equipamentos dentro da filosofia de segurança e ESD do FPSO;
- Identificar o sistema de detecção de F&G como uma Barreira Crítica, destacando a sua importância no gerenciamento de barreiras para prevenir eventos acidentais graves ou reduzir a probabilidade de ocorrências, permitindo uma resposta eficaz a emergências;
- Descrever os *status* das barreiras destacando a importância das auditorias, a fim de proporcionar um diagnóstico e gerenciamento proativo com ênfase na necessidade de um programa de manutenção bem definido para garantir a coerência da barreira ao longo do ciclo de vida do FPSO;
- Estabelecer critérios e requisitos no âmbito das dimensões avaliadas no padrão de desempenho operacional do sistema crítico de detecção de F&G durante a fase de projeto e como garantir sua aplicabilidade no ciclo de vida da instalação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A Importância do FPSO na Indústria de Petróleo e Gás

O *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) é um sistema flutuante multifuncional que desempenha um papel crucial na indústria de petróleo e gás. Este tipo

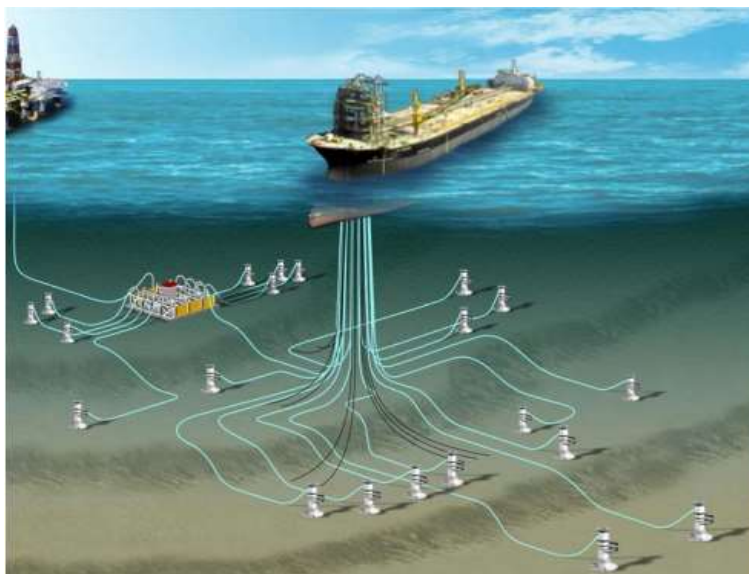
de unidade é especialmente projetado para operações de exploração em áreas marítimas com lâminas d'água profundas e distantes da costa, onde a instalação de estruturas fixas seria inviável ou excessivamente cara. Sua versatilidade permite a realização de diversas funções, como produção, estocagem e transferência de óleo (SILVEIRA, 2015).

Uma das características distintivas do FPSO é a capacidade de receber óleo e gás diretamente do leito marinho através de *risers* flexíveis. Os *risers* são dutos condutores que conectam a cabeça do poço ao *manifold*, que é uma estrutura essencial para a coleta e distribuição dos hidrocarbonetos produzidos. Essa abordagem permite a extração eficiente de recursos em profundidades que anteriormente representavam desafios tecnológicos significativos (SILVEIRA, 2015).

O processo começa com a extração do petróleo e gás do subsolo marinho por meio do cabeçote do poço. Os *risers* flexíveis atuam como canais de transporte, conectando o cabeçote do poço ao *manifold* no FPSO. Este é um componente vital que recebe, processa e armazena os hidrocarbonetos produzidos. Além da produção, o FPSO também oferece capacidade de armazenamento temporário, o que é crucial para lidar com flutuações na produção e para possibilitar a transferência eficiente para navios de transporte quando necessário (SILVEIRA, 2015).

A Figura 1 apresenta a integração do FPSO com o arranjo submarino por meio de *flowlines* e *risers*. As *flowlines* transportam os fluidos produzidos até o ponto em que os *risers* tocam o fundo do mar, enquanto os *risers* flexíveis conectam as *flowlines* à unidade flutuante (SHIMAMURA, 2002).

Figura 1: Disposição de poços no leito submarino e conexões flexíveis.



Fonte: www.diariodopresal.wordpress.com.

Além disso, o Navio Aliviador possui uma função essencial, a transferência eficiente dos fluidos processados. O Navio Aliviador recebe os hidrocarbonetos armazenados no FPSO e os transporta para refinarias ou pontos de transferência adicionais. Essa logística de transferência é crucial para garantir uma cadeia de abastecimento eficiente e contínua (SILVEIRA, 2015).

Em resumo, o FPSO desempenha um papel crucial na exploração de recursos em águas profundas e remotas, integrando produção, estocagem e transferência de óleo de maneira eficiente e sustentável. Sua flexibilidade e capacidade de adaptação fazem dele uma peça fundamental no cenário global de exploração de petróleo e gás (SILVEIRA, 2015).

2.2. A Relação do Sistema Crítico de Detecção de Fogo e Gás com Eventos Acidentais Graves (MAEs)

Conforme Relatório de Investigação de Incidente da ANP, publicado em março de 2018, no dia 26 de dezembro de 2013 ocorreu a ruptura do tanque de etanol na área de produtos químicos da plataforma semissubmersível P-20 logo após um princípio de incêndio. No local próximo tinha sido concluída a instalação de uma base para a bomba de injeção de sequestrante de sulfeto de hidrogênio e o profissional que realizou a atividade fez a comunicação do incidente e o primeiro combate com extintor portátil.

Com o rompimento do tanque, o inventário de etanol espalhou-se pelo *deck* principal da unidade e deu-se início a um incêndio de grande proporção. Os demais tanques de produtos químicos e uma área de armazenamento próxima que também continha produtos inflamáveis foram atingidos levando ao escalonamento do incêndio. Os danos gerados, inclusive aos cabos de alimentação das duas bombas de combate a incêndio elétricas, levaram à interdição da P-20 pela ANP até que o operador fizesse a recomposição dos sistemas críticos. A unidade recebeu a liberação final concedida pela Marinha em abril de 2014.

Quanto ao Sistema Crítico de Detecção de Fogo e Gás, o relatório destacou que o operador da unidade não instalou sensores de chama (tipo IR3) na área de produtos químicos de acordo com o dimensionado nos estudos relacionados à nova filosofia de segurança da plataforma. Foi considerado que a filosofia vigente à época do projeto, que previa apenas detecção por plugues fusíveis, atendia aos cenários de risco. Desta forma, o relatório aponta para o descumprimento do item 16.2 do Regulamento Técnico SGSO,

que estabelece a importância de avaliar e gerenciar adequadamente as mudanças nas operações, procedimentos, padrões, instalações ou pessoal para manter os riscos em níveis aceitáveis.

Em menos de 3 anos do incêndio na P-20, a ANP recebeu outra comunicação de ocorrência de incêndio, em 17 de março de 2016, também de grandes proporções, desta vez no FPSO P-48. O incidente foi investigado e em setembro de 2018 foi publicado o Relatório de Investigação de Incidente. O evento iniciou com a perda de contenção primária da tubulação que interliga o vaso *slop* ao tanque de carga após manobra não usual de alinhamento de fluxo de líquido seguido de ignição do fluido vazado por provável fagulha de um dos serviços com potencial para tal que ocorria na área. A P-48 sofreu danos a vários equipamentos e ficou interditada pela ANP por 33 dias.

O relatório apontou que, conforme procedimento, os sensores de chama foram inibidos para possibilitar a realização do trabalho à quente na área e que estes foram apenas restabelecidos aproximadamente 5h depois. Contingencialmente, na permissão para trabalho, PT, continha recomendações para monitoramento mais criterioso da atmosfera devido à inibição dos sensores, que podem detectar a radiação infravermelha liberada em atividades que envolvem soldagem e corte, por exemplo.

Foi classificado como fato notável no relatório a evidência de um número elevado de alarmes no supervisão devido a falhas nos detectores do sistema de fogo e gás. Foram registrados entre 13 e 25 alarmes por hora num período de 7 horas no dia do acidente. Assim, constatou-se uma falha no gerenciamento de alarmes dos sensores, o que pode levar aos seus reconhecimentos de forma automática pelo operador e sem que se conduza uma investigação dos motivos.

Os incêndios que ocorreram nas plataformas P-20 e P-48, em 2013 e 2016, respectivamente, evidenciaram a importância do sistema de detecção de fogo e gás. Em ambos os casos, a falha no gerenciamento do sistema atrasou a detecção dos incêndios, o que contribuiu para a sua propagação e gravidade. Se bem gerenciado, o sistema permite que as ações de combate sejam tomadas a tempo de evitar ou minimizar os danos.

2.3. Análise de Risco

O objetivo geral da gestão de riscos é garantir que sejam tomadas medidas adequadas para proteger as pessoas, o meio ambiente e os ativos das empresas, principalmente em cenários perigosos. Desse modo, é garantindo que o FPSO seja

projetado e construído com o menor risco inerente possível e que a instalação seja mantida e operada dentro das restrições definidas pelo (as):

- *Design*, ou seja, parâmetros de produção, requisitos de desempenho, filosofias, integridade de design,
- Premissas de Estudos de Segurança e Padrão de Desempenho;

O risco é definido como a probabilidade (ou frequência) multiplicada pela consequência de eventos indesejados, e deve ser gerenciado de modo a estar em limites aceitáveis.

As análises de risco tratam do desenvolvimento de uma compreensão do risco. No processo de análise de risco, os riscos/perigos identificados devem ser analisados em relação à probabilidade de ocorrência e consequências se a situação perigosa ocorrer.

As análises de risco podem ser qualitativas e/ou quantitativas e podem ser realizadas com vários graus de detalhe, dependendo do propósito da análise e das informações, dados e recursos disponíveis.

A gestão de riscos deve ser feita por controle (barreiras de ameaça) e recuperação (mitigação e resposta a emergências), aos níveis de risco *ALARP*. A prioridade na redução de riscos/ avaliações *ALARP* devem ser voltadas para controle (barreiras de ameaça/redução de frequência) e não para mitigação (redução de consequências).

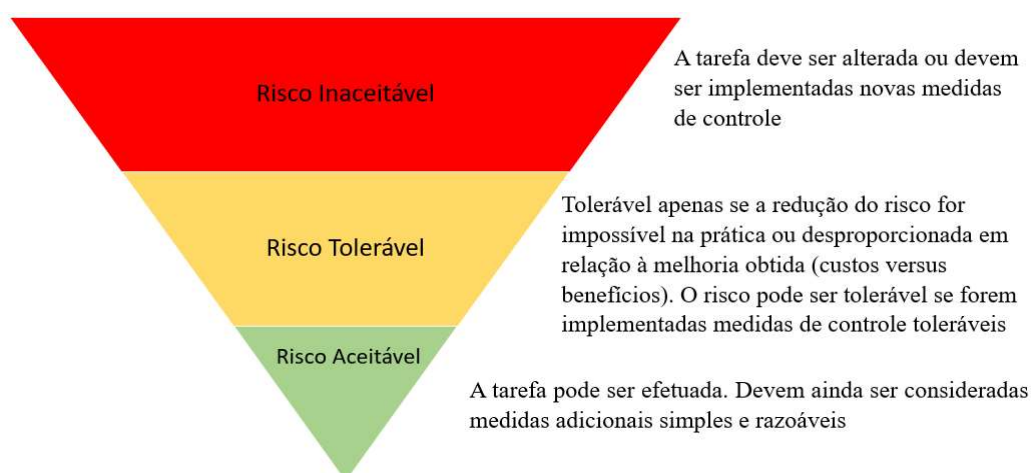
A Identificação do Perigo (*HAZID*) deve ser realizada para identificar os perigos presentes no escopo do projeto e usados para auxiliar na avaliação qualitativa dos riscos de HSE, como também na identificação e definição de Riscos de Acidentes Graves (*MAH*).

Deve ser evidenciado que os riscos são avaliados sistematicamente a cada 5 anos durante as fases de projeto, construção, comissionamento e operação, bem como antes da desativação. Para a fase de operação é realizado o estudo de *HAZOP* (*Hazard and Operability Study*).

O FPSO deverá ser projetado e operado de modo a reduzir os riscos a níveis que sejam toleráveis e tão baixos quanto razoavelmente praticável (*ALARP*). A Figura 2, traz o triângulo do *ALARP*, no qual evidencia as ações que devem ser tomadas para cada tipo de risco.

Para qualquer risco que se enquadre na região Tolerável, devem ser aplicadas medidas de redução dos riscos que demonstrem a existência de uma situação *ALARP*.

Figura 2: Definição de Tolerância de Risco.



Fonte: *Guidance on ALARP Decisions in COMAH (Control of Major Accident Hazard)*.
HSE UK

A identificação dos perigos de acidentes graves (*MAH*) deve ser efetuada através de um processo sistemático e utilizar uma variedade de técnicas adequadas para identificar todos os *MAH* razoavelmente previsíveis associados ao funcionamento da instalação. O principal meio de identificar os *MAH* para o *FPSO* é a partir dos estudos de Identificação de Perigos (*HAZID*) e estudos *HAZOP*. Os estudos *HAZID* e *HAZOP* são avaliações de segurança de alto nível efetuadas em *workshops* para identificar todos os perigos associados às operações normais da instalação através da Matriz de Tolerabilidade de Risco (Figura 3).

Os cenários *MAHs* estão circulados em azul na Figura 3 e serão identificados no *HAZID* e *HAZOP* através de um ranking de risco. A importância de determinar os *MAHs* é garantir que todos esses cenários perigosos sejam avaliados no *Bow-tie*. O *Bow-tie* é uma ferramenta de análise de risco, porém vale ressaltar que não é um *risk assessment*. A proposta da técnica do *Bow-tie* é representar esquematicamente os cenários *MAHs* e conectá-los com os perigos, evento topo, as causas e as respectivas consequências.

2.4. Elementos Críticos

Conforme estabelecido pelo Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), a finalidade da Prática de Gestão 11: Elementos Críticos de Segurança Operacional é definir os requisitos que o sistema de gerenciamento de segurança operacional deve contemplar. Estes requisitos visam identificar os Elementos Críticos de Segurança Operacional da instalação, bem como estabelecer sistemas de gerenciamento e controle apropriados para esses elementos (ANP, 2007).

Figura 3: Matriz de Avaliação de Risco.

						Categorias de frequência										
Descrição / características						A Extremamente remota	B Remota	C Pouco provável	D Provável	E Frequente						
						Possível mas sem referências na indústria	Não esperado ocorrer, apesar de haver referências em instalações similares na indústria	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil de um conjunto de instalações similares	Possível de ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação	Possível de ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação						
Categorias de Severidade das Consequências						V	Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros (ver Nota 2)	Danos catastróficos podendo levar à perda da instalação industrial	Danos catastróficos	Repercussão internacional	M	M	NT	NT	NT
						IV	Crítica	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros (ver Nota 3)	Danos severos a sistemas / equipamentos (reparação lenta)	Danos severos	Repercussão nacional	T	M	M	NT	NT
						III	Média	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros	Danos moderados a sistemas / equipamentos	Danos moderados	Repercussão regional	T	T	M	M	NT
						II	Marginal	Lesões leves	Danos leves a sistemas / equipamentos	Danos leves	Repercussão local	T	T	T	M	M
						I	Desprezível	Sem lesões ou no máximo casos de primeiros socorros	Danos leves a equipamentos sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes	Repercussão insignificante	T	T	T	T	M

Fonte: N-2782, 2015

Na identificação e controle dos elementos críticos de segurança operacional, o operador da Instalação tem a responsabilidade de identificar e descrever as características essenciais e funções dos Elementos Críticos de Segurança Operacional, classificados em três categorias distintas (ANP, 2007):

- **Equipamento Crítico de Segurança Operacional:** Qualquer equipamento ou elemento estrutural da Instalação que poderia, em caso de falha, causar ou contribuir significativamente para um quase acidente ou para um acidente operacional;
- **Sistema Crítico de Segurança Operacional:** Qualquer sistema de controle de engenharia que tenha sido projetado para manter a Instalação dentro dos limites operacionais de segurança, parar total ou parcialmente a Instalação ou um processo, no caso de uma falha na segurança operacional ou reduzir a exposição humana às consequências de eventuais falhas;

- **Procedimento Crítico de Segurança Operacional:** Um procedimento ou critério utilizado para controle de riscos operacionais.

Elementos são designados como críticos quando são indispensáveis para a prevenção ou mitigação de riscos, ou caso sua falha possa resultar em um acidente operacional (ANP, 2007).

O Gerenciamento e Controle desses Elementos Críticos de Segurança Operacional é fundamental. O Operador da Instalação deve estabelecer procedimentos de contingência e desenvolver um sistema de aprovação e controle. Este sistema é acionado quando Equipamentos ou Sistemas Críticos de Segurança Operacional estiverem em condições degradadas ou fora de operação (ANP, 2007).

Os procedimentos de contingência definem medidas temporárias que possam compensar a ausência de Equipamentos ou Sistemas Críticos de Segurança Operacional, seja devido a falhas, degradação ou desativação. Tais medidas podem incluir, conforme apropriado (ANP, 2007):

- a) Implementação de controles alternativos equivalentes;
- b) Redução e limitação da produção; e
- c) Isolamento e desativação de equipamentos, sistemas e instalações.

O Operador da Instalação estabelece o prazo em que os procedimentos temporários serão permitidos, até que as medidas corretivas sejam tomadas.

2.5. Sistema de Detecção de F&G

O sistema de detecção de F&G é projetado para fornecer detecção de incêndio ou acúmulo de uma mistura inflamável de forma rápida e confiável, sempre que qualquer uma dessas situações possa ocorrer em qualquer parte do FPSO.

2.5.1. Detectores de Chama

Os detectores de chama fazem parte integrante dos sistemas de detecção de incêndio e de gás em muitas instalações *offshore* e industriais, uma vez que os incêndios e explosões são perigos comuns na indústria *offshore* de óleo e gás.

Libertações inesperadas de líquidos inflamáveis podem inflamar-se, por vezes violentamente, quando misturados com o ar, provocando ferimentos e danos materiais. Os detectores de chama podem aumentar a segurança dos processos que envolvem materiais inflamáveis, acionando um alarme quando ocorre um incêndio. Assim, podem

ser ativados em caso de incêndio, dando um alerta precoce e ajudando a garantir a segurança das pessoas.

No entanto, durante a fase de *design*, há estudos sobre a seleção dos dispositivos e onde colocar os sensores para uma melhor cobertura. O mapeamento dos detectores é extremamente importante devido à vasta gama de materiais inflamáveis que as instalações *offshore* podem manusear.

Os detectores de chama respondem às emissões radiantes de uma chama. Assim, a primeira e talvez a mais importante consideração ao selecionar os detectores é que estes identifiquem com precisão e confiabilidade as chamas. O equipamento de detecção deve ser adequado ao perigo específico. As respostas espectrais dos dispositivos devem corresponder às emissões espectrais das chamas a serem detectadas (NFPA 72, 2016).

Os detectores de chama variam em capacidades, sendo que cada tipo apresenta vantagens e limitações. Desse modo, deve-se considerar diferentes variáveis de desempenho:

- **Alcance do Detector e Tempo de Resposta**

A distância máxima dentro da qual o dispositivo reconhece chamas, com base no tipo de combustível e na quantidade de tempo que o instrumento levará para coletar, processar e relatar o *feedback* para a energia irradiada detectada. A resposta deve ser rápida, dentro de 30 segundos de acordo com o padrão de segurança de detecção contra incêndio EN 54-10. Dessa maneira, a tecnologia de detectores que abrangem uma ampla cobertura de área, justamente com o menor tempo para detectar uma chama, acarretam um melhor custo-benefício.

- **Imunidade a Alarmes Indesejados**

Um detector de chama deve mitigar a possibilidade de alarmes falsos provenientes de fontes que não sejam de incêndio. Um incidente de alarme falso pode causar desligamentos e evacuações do sistema, bem como resultar em investigações por parte da empresa ou autoridade local com jurisdição. Reiniciar um processo pode levar horas ou meses, especialmente quando se considera a qualidade, requisitos regulatórios de segurança ambiental e de processo. Além disso, os alarmes falsos levam esforços por parte dos socorristas e ao tempo de inatividade dos trabalhadores, à medida que as operações ficam paralisadas. Adicionalmente, incorrem em custos para substituição de agentes extintores de sistemas de supressão de incêndio e paralisação do processo. Colocar os detectores em locais mais apropriados, alterar sua configuração de sensibilidade e aumentar seu atraso pode atenuar alarmes falsos.

- **Fatores Ambientais**

Detectores de chama em plantas de processos devem operar em uma ampla faixa de temperatura, principalmente em locais de limite elevado de temperatura para dispositivos instalados dentro de compartimentos de compressores ou turbinas. Além disso, chamas e reflexos de *flare* podem afetar certos tipos de detectores de chama, como infravermelho multiespectral e ultravioleta/IR (UV/IR) — especialmente durante a purga para descartar com segurança o excesso de combustível gases ou líquidos em um *flare*.

- **Campo de Visão**

A maioria dos detectores de chama tem uma faixa de 90° a 120° campo de visão horizontal. Amplos campos de visão geralmente são desejáveis para proteger módulos fechados onde obstruções podem limitar a área cobertura em longas distâncias.

Os diferentes tipos de instrumentos disponíveis, sua aplicabilidade e limitações, é o que diferencia a tecnologia usada no dispositivo. Dessa maneira, apresenta-se abaixo os principais tipos de tecnologia usadas na indústria *offshore*.

- **Capacidades de Comunicação**

O papel dos detectores de chama é iniciar respostas adequadas, como ações de controle automático. Isto depende de uma comunicação eficaz de saídas como sinais analógicos de 4–20 mA ou contatos de relé para alarme remoto ou indicação de falha. Protocolos de comunicação bidirecionais como o HART podem tornar as informações pertinentes para parâmetros, configuração do dispositivo e diagnóstico do dispositivo disponível para controle central ou sistemas de monitoramento [*HART Protocol*].

Além de considerar variáveis de desempenho, os detectores de chama utilizados, devem estar aprovados para uso em áreas perigosas ou áreas classificadas e para os ambientes específicos em que eles irão operar. Certificação sob desempenho regulatório padrões como FM 3260, EN 54-10 atestam a adequação do produto, uma vez que os sistemas de detecção passam por conjunto de testes reproduzíveis para certificar seu desempenho na implantação.

- **Detectores de Chama IR**

Esses dispositivos encontram ampla utilização em plantas de processo. Eles são bastante utilizados porque os comprimentos de onda de emissão fixos da chama no espectro IR podem ser separados da maioria das fontes não-chamas e analisado em vários domínios (JACOBSON, 2011).

Os detectores de chama IR podem detectar chamas de hidrocarboneto ou hidrogênio. As configurações de hidrocarbonetos são adequadas para instalações que

processam gás ou líquidos de hidrocarbonetos - mas são totalmente inadequados para detectar chamas de hidrogênio ou chamas de outros materiais inorgânicos. A radiação modulada de superfícies quentes, gases de exaustão quentes, luz solar, luz de chamas e reflexos solares e de chamas podem afetar certos detectores de chama IR.

Detectors de chama IR multiespectrais são recomendados para muitos usos, incluindo tanques de petróleo bruto, instalações de armazenamento de diesel e compartimentos fechados de compressores de gás. Eles são os mais versáteis dos tipos de detectores disponíveis e têm a detecção de mais longo alcance, bem como forte imunidade a alarmes falsos. Esses detectores podem caracterizar as chamas de forma mais completa devido ao seu grande número de sensores. Em vez de confiar em uma única extensão espectral, eles usam várias para estabelecer a presença de uma chama. Como resultado, os instrumentos não produzem um alarme falso quando apenas uma faixa espectral indica uma chama. Além disso, alguns sensores monitoram a presença de fontes de alarme falso.

- **Detectors de Chama UV**

Esses dispositivos são adequados para instalações onde as únicas fontes de combustível são o hidrogênio e o gás hidrocarboneto porque a fumaça de incêndio de líquidos dispersa a luz UV em uma extensão muito maior do que faz o IR. Para evitar alarmes falsos, é necessário inibir os detectores UV em trabalho a quente com chama exposta. Para tanto, não é aconselhável usar detectores UV em áreas onde possa ver radiação direta ou refletida.

Os detectores UV são inadequados para detectar incêndios hidrocarbonetos líquidos ou incêndios em espaços altamente congestionados. Incêndios líquidos produzem pouca luz UV e a fumaça densa desses incêndios reduz bastante a cobertura de detecção. Além disso, como a luz UV é mais prevalente na base de uma chama aberta, os dispositivos podem não detectar prontamente incêndios em espaços gestados que bloqueiem a linha de visão até a base do incêndio.

Outra consideração para detectores UV é a presença de óleo ou poeira porque depósitos de película de óleo ou poeira podem reduzir severamente a sensibilidade de resposta à chama. Portanto, detectores UV funcionam melhor ao detectar chamas limpas (ou seja, aquelas de gás natural, etano puro ou butano).

- **Detectors de Chama UV/IR**

Esses dispositivos combinam características de UV e IR para fornecer um detector para hidrocarbonetos em geral. Eles geram um sinal de alarme somente se uma chama for

detectada em ambas as bandas. Os detectores UV/IR são mais adequados para chamas limpas porque poucas fontes de luz emitem tão fortemente em ambos os espectros.

- **Detectores de Chamas em Circuito Fechado de Televisão (CFTV)**

Esses dispositivos processam imagens de vídeo e resolvem características de chama. Eles são mais adequados para áreas altamente perigosas e normalmente não vigiadas, onde a intervenção manual pode levar muito tempo, tornando a prevenção de perdas mais difícil. Esses detectores transmitem um sinal de vídeo para a sala de controle, eles podem permitir uma avaliação rápida da situação global no caso de alarme de incêndio e confirmar a presença e a magnitude do incêndio.

2.5.2. Detectores de Gás

A seleção do detector de gás é uma tarefa crítica para o projeto de engenharia. A escolha correta do detector, juntamente com o posicionamento e alocação adequados, sustentam a eficácia do sistema de incêndio e gás. Um detector de gás mal selecionado, por mais confiável e adequado em número e cobertura de detecção, pode não fornecer um aviso antecipado sobre a liberação de um material perigoso (NARANJO, 2017).

Dentre as principais tecnologias utilizadas, temos as tecnologias infravermelha (IR), catalítica e eletrolítica, que podem detectar gases combustíveis.

Os detectores de gás IR detectam um único tipo de hidrocarboneto ou misturas simples. Por não serem afetados pelos níveis de oxigênio, esses detectores são ideais para processos anaeróbicos, operações com altas concentrações de agentes corrosivos e áreas com fundo constante de gases combustíveis (NARANJO, 2017).

Os detectores de gás catalítico são a melhor escolha para monitorar misturas de hidrogênio ou hidrocarbonetos. Como os detectores catalíticos requerem concentrações de gás oxigênio superiores a 10% em volume para operar, eles são adequados apenas para situações em que o oxigênio está sempre presente. Além disso, os detectores de gás catalítico apresentam melhor desempenho em aplicações onde o gás alvo normalmente está ausente (NARANJO, 2017).

Para monitorar vazamentos de gases tóxicos em espaços congestionados, os detectores eletroquímicos e de estado sólido são os dispositivos utilizados. Os detectores eletroquímicos podem ser aplicados onde o gás alvo normalmente não está presente e em ambientes com umidade relativa (UR) acima de 15%. Por outro lado, os detectores de estado sólido devem ser usados para aplicações em temperaturas extremamente altas ou

baixa umidade ou onde as condições ambientais são estáveis. A deficiência de oxigênio é melhor monitorada usando detectores eletroquímicos de gás localizados perto da zona de respiração. Quanto a espaços abertos ou não congestionados, os detectores de infravermelho próximo ou ultravioleta de caminho aberto oferecem a cobertura mais ampla por dispositivo (NARANJO, 2017).

As tecnologias de detecção tradicionais incluem sistemas de detecção pontual e dispositivos de monitoramento de área e perímetro. Os detectores catalíticos geralmente servem como instrumentos pontuais para medir gases combustíveis no ar em baixas concentrações. À medida que o gás combustível oxida na presença de um catalisador, o calor da combustão faz com que a temperatura suba, o que aumenta a resistência dos sensores. Um circuito de ponte de *Wheatstone* padrão transforma a tensão de deslocamento causada pelo aumento da temperatura em um sinal de sensor (NARANJO, 2017).

Embora os detectores catalíticos pareçam simples no *design*, eles têm muitas vantagens. Os detectores catalíticos são robustos, duradouros, econômicos e confiáveis. Eles também compensam fatores atmosféricos, incluindo umidade, pressão e temperatura. Além disso, são fáceis de usar, instalar e calibrar e funcionarão bem durante anos praticamente sem manutenção. Eles exigem apenas calibrações periódicas de gás para validar a operação. Os detectores catalíticos são extremamente flexíveis e podem medir uma ampla gama de gases selecionados em uma ampla gama de aplicações, sendo uma vantagem incomparável com outros tipos de detectores (NARANJO, 2017).

Por outro lado, os detectores de gás catalítico precisam de oxigênio para funcionar, o que pode ser um ponto fraco. O processo catalítico exige que o gás hidrocarboneto seja oxidado de forma eficiente, mas os níveis de oxigênio podem afetar a eficiência da oxidação, afetando a precisão e a confiabilidade do sensor. Além disso, a exposição ao cloro, compostos halogêneos, silicões, enxofre ou metais pesados pode envenenar ou danificar o catalisador ou torná-lo não funcional. A poeira em um corta-chamas ou a exposição a óleos e graxas pesadas também podem danificar o sensor (NARANJO, 2017).

Nos detectores eletroquímicos, as moléculas do gás alvo reagem no eletrodo sensor para gerar uma corrente. Os dispositivos são precisos e confiáveis e respondem rapidamente a gases tóxicos como sulfeto de hidrogênio (H_2S), cloreto de hidrogênio e monóxido de carbono. A corrente gerada pela célula se correlaciona linearmente com a quantidade de gás presente na atmosfera. As células eletroquímicas consistem em

eletrodos de detecção, contador e referência dentro de um único invólucro que também contém uma pequena quantidade de eletrólito (a solução condutora). O eletrodo de referência mantém o eletrodo de trabalho funcionando em níveis ideais (NARANJO, 2017).

2.5.3. Lógica de Votação

A lógica de votação é uma abordagem muito utilizada nas indústrias de petróleo e gás visando a tolerância à falha espúria, isto é, evitar a ocorrência de desligamentos da planta de processo sem que tenha havido demanda real ou que a função tenha sido forçada intencionalmente para esta condição. Normalmente, essas situações ocorrem devido à falha de um ou mais sensores que compõem o laço de votação.

Quanto à segurança, é importante notar que nem todo desligamento espúrio pode ser categorizado como uma falha segura, haja vista que atuações espúrias podem ser causas iniciadoras de cenários de risco. Entende-se por falha segura aquela que apresenta potencial de causar atuação da função de segurança quando esta não é requerida. Assim, com a lógica de votação, uma única falha segura geralmente não é suficiente para causar um ESD espúrio (IEC 61511-1:2016)

O FPSO é fornecido com um sistema independente de F&G totalmente integrado ao Sistema Integrado Sistema de Controle e Segurança (ICSS) para monitoramento contínuo das condições de incêndio e gás.

A lógica de votação para detecção de incêndio e gás é 2ooN, e a confirmação por dois detectores irá iniciar ações de desligamento e alarme. A ativação do acionador manual pode iniciar alarmes através do sistema de Alarme Geral (PAGA).

O Sistema F&G iniciará as seguintes operações automáticas:

- Monitorar de forma rápida, contínua, e automáticas incêndios incipientes, incluindo incêndios únicos ou detecção coincidente;
- Avaliar sinais recebidos de equipamentos de campo usando técnicas de votação quando necessário;
- Iniciar a ativação automática de sistemas de combate a incêndios apropriados;
- Monitorar e detectar automaticamente acúmulos de gás combustível antes que eles atinjam níveis potencialmente perigosos (incluindo detecção única);
- Retransmitir para o sistema de desligamento após a detecção de F&G e iniciar automaticamente o processo apropriado de desligamento, isolamento e purga;

- Interface com os sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC) para ativar os *dampers* e desligar os sistemas de HVAC;
- Iniciar alarmes sonoros e indicação do *status* do FPSO através do sistema PAGA e todos os recursos visuais de alarmes.

2.5.4. Falhas no sistema de detecção de F&G

A norma NFPA 72 *National Fire Alarm and Signaling Code* define diversos requisitos, medidas e orientações para o sistema de detecção de F&G. Dentre as falhas que podem ocorrer no sistema, a norma destaca os seguintes tipos:

- **Falha de Detecção:** o sistema pode falhar em detectar a presença de fogo ou gases inflamáveis, resultando em atraso ou a não ativação do alarme e das ações para mitigação;
- **Falha de Comunicação:** o sistema pode falhar em transmitir um sinal de alarme para o local apropriado, como um painel de controle central ou uma estação de monitoramento remoto;
- **Falha de Energia:** se o sistema depende de energia elétrica para funcionar e ocorrer uma falha de energia, o sistema pode ficar inoperante, a menos que haja fontes de energia alternativas, como baterias de *backup*;
- **Falha de Manutenção:** se o sistema não passar por manutenções adequadamente, componentes críticos podem falhar, tais como baterias de *backup* descarregadas, detectores sujos, obstruídos ou descalibrados e cabos de sinais danificados.

Para lidar com essas falhas, a NFPA 72 estabelece critérios para assegurar a disponibilidade do sistema e inclui requisitos para redundância de sistemas auxiliares tais como fontes de alimentação *backup* e múltiplos canais de comunicação para que o sistema seja robusto e confiável. Em geral, quando o sistema de detecção de F&G apresenta falha, as medidas típicas podem incluir:

- **Identificação da Falha:** determinar a causa da falha pode envolver uma inspeção detalhada do sistema, incluindo seus componentes, cabeamento, sensores e alarmes, por exemplo;
- **Reparo ou Substituição:** consertar ou substituir qualquer componente ou parte do sistema que tenha falhado, incluindo, por exemplo, sensores defeituosos, cabos danificados e painéis de controle com falha;

- **Teste e Verificação:** realizar testes de funcionalidade dos componentes reparados ou substituídos para garantir o correto desempenho;
- **Manutenção Regular:** implementar um programa de manutenção preventiva para garantir o funcionamento adequado do sistema de detecção de F&G ao longo do tempo. Isso pode incluir inspeções periódicas, testes de rotina, limpeza de sensores e substituição de baterias;
- **Atualizações e Melhorias:** Avaliar periodicamente o sistema de detecção de fogo e gás para identificar oportunidades de atualização ou melhoria, tais como a instalação de tecnologias mais avançadas, atualização de *software* e ajustes de configuração para melhorar a eficácia.

As falhas no sistema de detecção de F&G levam à degradação de barreiras de segurança. As medidas de contingência devem ser avaliadas para verificar se atendem ou não ao nível de risco original. A Tabela 1 apresenta, como exemplo, uma lista de contingências para as falhas comuns listadas acima.

Tabela 1: Lista de contingências para as falhas comuns.

Natureza da falha	Contingência
Falha de detecção	Parada do equipamento protegido pela área de cobertura/ operação de equipamento <i>standby</i>. Implementar procedimentos alternativos de detecção, como rondas regulares portando detectores portáteis para identificar sinais de fumaça ou gases. Instalar detectores portáteis em áreas críticas. Restringir serviços com potencial para gerar ignição na área impactada. Limitar a condição de operação em relação às variáveis de processo (pressão, temperatura, fluxo e nível). Aquisição de recursos externos.
Falha de comunicação	Estabelecer comunicação alternativa incluindo sistemas via rádio, monitoramento local pelo operador do sistema e por CFTV
Falha de energia	Implementar fontes de energia <i>backup</i> , como geradores de emergência ou baterias para garantir a operação contínua dos sistemas de detecção de F&G durante falhas de energia.
Falha de manutenção	Adequar planos de manutenção preventiva para garantir o funcionamento adequado dos sistemas de detecção, incluindo inspeções periódicas, limpeza e substituição de componentes desgastados.

Fonte: Adaptado de NFPA 72, 2022

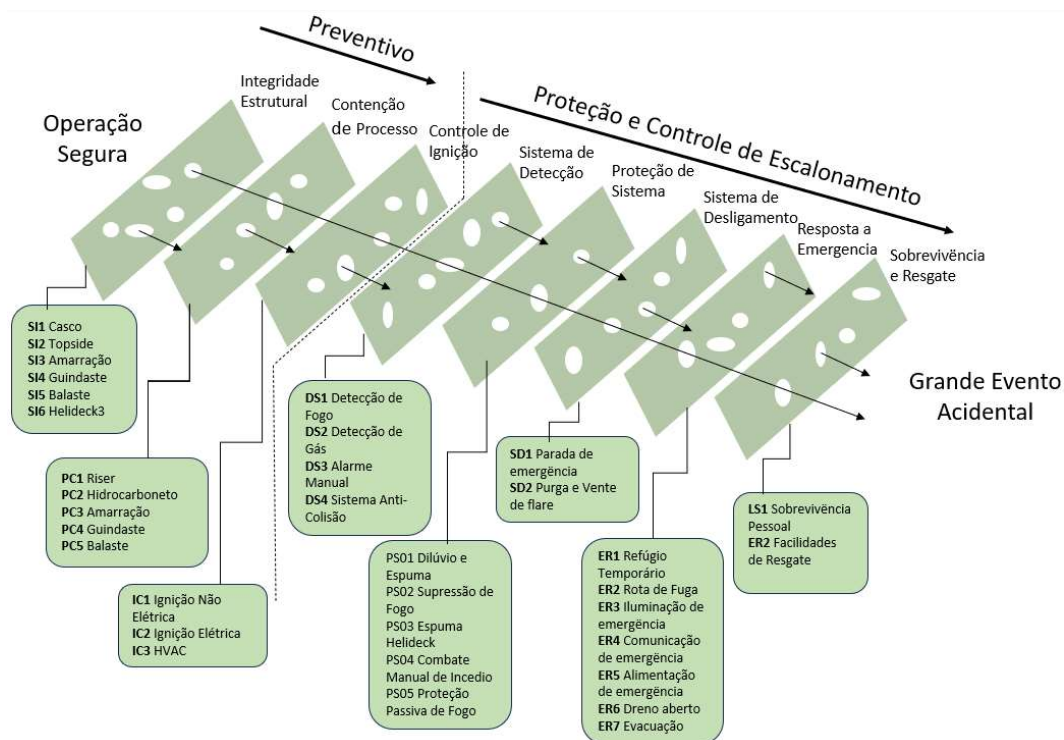
2.6. Gerenciamento de Barreiras

O Gerenciamento de Barreira tem o objetivo de garantir que os riscos de um Evento Acidental Grave (MAE) sejam adequadamente avaliados e conectados com as suas respectivas barreiras. Para Abia et al. (2019), “as barreiras são, portanto, utilizadas para reduzir a frequência de um acidente grave e para eliminar ou limitar a gravidade do acidente que, no entanto, pode ocorrer.”

De acordo com a Prática de gestão N. 1.12 e 11.2 do SGSO temos que “O Operador da Instalação deverá identificar e descrever as características essenciais e as funções dos elementos críticos de segurança operacional”, que foram classificados no item 2.4 do presente trabalho.

Na Figura 4, temos o Modelo Acidental do Queijo Suíço de James Reason, no qual temos um modelo de camadas de defesa sucessivas. As Barreiras Críticas são os Equipamentos, Sistemas e Procedimentos Críticos projetados ou executados para impedir ou mitigar acidentes [CCPS], que atendem aos critérios definidos pelo Operador para serem considerados como Elementos Críticos. Com isso, as Barreiras Críticas são representadas pelas fatias do queijo, e quanto mais buracos (falhas latentes) existirem nas fatias do queijo/barreiras, mais fácil será do perigo se tornar um acidente.

Figura 4: Barreiras e os correspondentes subsistemas de um FPSO.



Fonte: Adaptado de James Reason, 1990.

2.6.1. *Status* de Barreiras

A Funcionalidade da barreira será a capacidade de desempenhar sua função conforme projetada, incluindo a sua confiabilidade e premissas estabelecidas nas análises e estudos de risco [NOTA TÉCNICA N° 4/2022/SSM-CSO/SSM/ANP-RJ].

- **Barreira Disponível:** Barreira projetada ou elaborada, conforme as normas pertinentes e disponível fisicamente de acordo com o projeto e capaz de desempenhar sua função de segurança quando solicitada;
- **Barreira Degradada:** Operando, porém, não atendendo aos critérios de segurança definidos no projeto;
- **Barreira Degradada Contingente:** Não atende aos critérios de segurança, porém o plano de contingência recuperou o nível de risco original;
- **Barreira Indisponível:** Perdeu a função de segurança e existe um plano de contingência em vigor. Nível de risco não recuperado. Este *status* impede que o sistema continue a operar;
- **Barreira Fora de Operação:** Barreira cuja função de segurança deixa de ser necessária quando o equipamento ou sistema a ser protegido estiver fora de operação ou desativado, extinguindo o cenário de risco para o qual foi projetada.

A confiabilidade de uma barreira é garantida através de inspeção, testagem, manutenção e no constante gerenciamento dos fatores influenciadores de desempenho humano, como por exemplo treinamento e gerenciamento da fadiga, efetivo mínimo e sobrecarga dos trabalhadores.

2.6.2. Auditoria de Barreiras

O objetivo da Auditoria de Barreiras é estimular a proatividade na gestão da segurança, visto que o Operador deve, fora do ambiente de fiscalização, identificar e tratar os desvios dos Sistemas de Gestão e das suas Instalações [NOTA TÉCNICA N° 4/2022/SSM-CSO/SSM/ANP-RJ].

- A identificação e tratamento de desvios está ligada às boas práticas de governança: Moralidade (obrigação moral);
- Economicidade (evitando multas, interdições, perdas de produção em virtude de incidentes, custos com respostas a grandes emergências, e investigações de acidentes);

- Legalidade (obrigações legais, de modo a facilitar obtenção e renovação de licenças operacionais e evitar processos administrativos e criminais);

2.6.3. Barreira Procedimental

Procedimentos críticos referem-se às práticas ou passos operacionais essenciais para garantir a segurança e a eficiência em ambientes industriais, especialmente na indústria de petróleo e gás. Esses procedimentos são desenvolvidos para lidar com situações de alto risco ou críticas, onde falhas podem resultar em impactos significativos para a segurança, meio ambiente e integridade dos processos. Os procedimentos críticos incluem:

- **Identificação de Tarefas Críticas:** Identificação de atividades ou operações que são consideradas críticas para o funcionamento seguro e eficiente das instalações;
- **Especificação Detalhada:** Detalhamento preciso dos passos a serem seguidos, incluindo equipamentos a serem usados, parâmetros a serem monitorados e ações a serem tomadas em diferentes cenários;
- **Treinamento:** Garantir que os operadores estejam devidamente treinados para entender e executar esses procedimentos de maneira adequada;
- **Revisão e Atualização:** Periodicamente revisar e, se necessário, atualizar os procedimentos para garantir que estejam alinhados com as melhores práticas e regulamentações mais recentes;
- **Controle de Mudanças:** Implementar procedimentos robustos de controle de mudanças para garantir que qualquer alteração nos processos seja devidamente avaliada quanto ao impacto nos procedimentos críticos.

De acordo com 11.3.1 do RT SGSO da ANP, o Operador da Instalação deve estabelecer procedimentos de contingência e definir um sistema de aprovação e de controle dos mesmos, a ser utilizado quando Equipamentos ou Sistemas Críticos de Segurança Operacional estejam em condições degradadas ou fora de operação.

Os procedimentos de *Override* tem como objetivo planejar, implementar, manter, registrar e controlar *overrides* (substituições) para sistemas de segurança. Já os procedimentos de contingência atuam com o objetivo de monitorar as avaliações e tratamento das necessidades de contingenciamento dos elementos críticos de segurança operacional.

2.6.4. Barreira *Hardware*

As barreiras *Hardware* são acessadas no Padrão de Desempenho quantitativamente e qualitativamente, definindo os requerimentos dos sistemas/equipamentos e relacionando com os critérios de performance que podem ser expressos em funcionalidade, disponibilidade, confiabilidade e capacidade de sobrevivência.

2.7. Conceito de Padrão de Desempenho (*Performance Standard*) e sua aplicabilidade ao Sistema Crítico de Detecção de Fogo e Gás

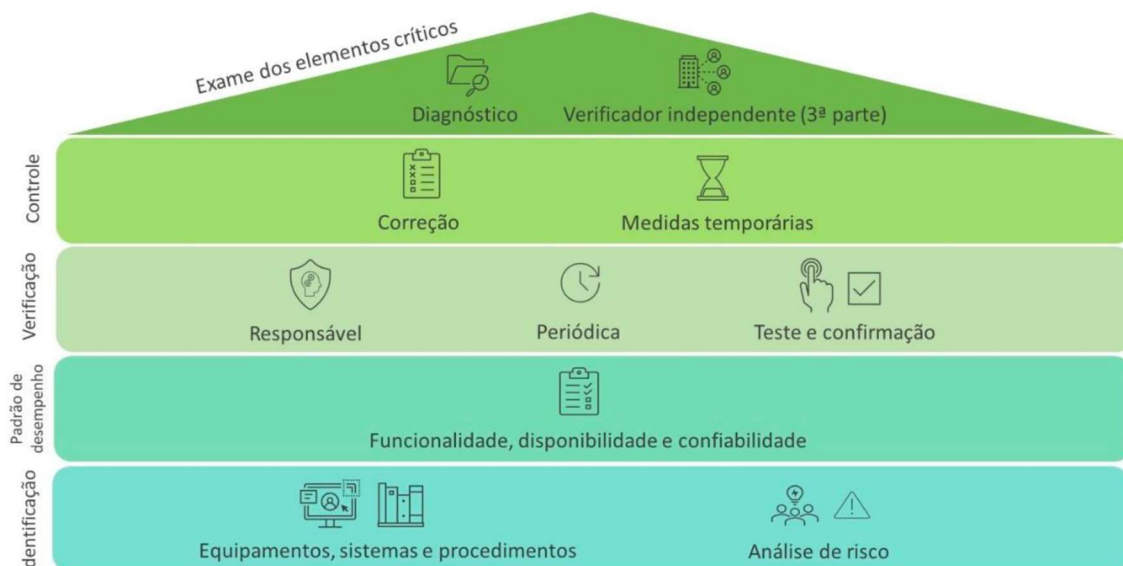
Para que o sistema crítico de detecção de F&G atenda à finalidade para a qual ele foi projetado, é necessário que se definam padrões de desempenho que garantam a sua eficácia. Apesar do estabelecimento de um padrão de desempenho para elementos ou sistemas críticos de segurança operacional estar presente em regulamentos e orientações internacionais, até o momento não estava explícito como um requisito no SGSO. Em sua última revisão, com consulta pública aberta até 24/04/24, o SGSO define o que é um padrão de desempenho e como ele se aplica no gerenciamento de elementos críticos (SGSO, minuta 2024).

Conforme a minuta de revisão do SGSO (2024), um padrão de desempenho "especifica requisitos para medição de desempenho de Elementos Críticos de Segurança Operacional, que garantam atendimento aos critérios de projeto e ao Critério de Risco, durante o ciclo de vida da Instalação". Na Prática de Gestão N° 11: Elementos Críticos de Segurança Operacional, a implementação do padrão de desempenho é a segunda camada dos seus fundamentos como mostra a Figura 5.

Discorrendo ainda sobre os conceitos, um padrão de desempenho é entendido como "uma declaração mensurável, expressa em termos qualitativos ou quantitativos, do desempenho exigido de um sistema, item de equipamento, pessoa ou procedimento, e que é considerada como base para a gestão de um perigo" (IOGP *Report* 415, 2018). Complementando este conceito, o regulador de atividades *offshore* australiano, NOPSEMA, por meio de sua nota de orientação quanto à avaliação de riscos diz que o padrão de desempenho é um padrão estabelecido pelo operador para gerenciar o risco de um evento acidental grave (NOPSEMA, N-04300-GN0165). De forma mais específica, "os padrões de desempenho são os parâmetros em relação aos quais os controles de um

evento de acidente grave são avaliados para reduzir o risco para ALARP" (NOPSEMA, N-04300-GN0271).

Figura 5: Fundamentos da Prática de Gestão nº 11.



Fonte: Minuta de revisão 2024 do SGSO.

A nota de orientação Medidas de Controle e Padrões de Desempenho do regulador australiano NOPSEMA, diz que ao estabelecer medidas de controle, sejam elas técnicas ou administrativas, deve-se considerar a sua funcionalidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade de sobrevivência, dependência e compatibilidade. Desta forma, "os padrões de desempenho permitem ao operador medir, monitorar e testar a eficácia de cada medida de controle e tomar ações corretivas com base em desvios ou tendências" (NOPSEMA, N-04300-GN0271).

Acerca das dimensões a serem consideradas nas medidas de controle de um padrão de desempenho, pode-se dizer que quanto à:

- a. **Funcionalidade:** refere-se ao que uma medida de controle deveria alcançar. É importante estabelecer parâmetros operacionais críticos (COP, do inglês *critical operating parameters*) que definam os limites superior e inferior de desempenho. Os COP asseguram o monitoramento e gestão destes parâmetros e sua documentação deve ser acessível e fornecer orientações claras sobre como responder aos desvios. Se um COP for violado, uma investigação, incluindo avaliação de risco, deverá ser conduzida e documentada;

- b. **Disponibilidade:** é a probabilidade de uma medida de controle estar disponível para desempenhar sua função quando for necessário, sendo a razão entre o tempo em que a medida de controle está disponível e o tempo total;
- c. **Confiabilidade:** é a probabilidade da medida de controle funcionar corretamente por um período de tempo especificado e é geralmente medida pelo Tempo Médio entre Falhas (MTBF). Testes de funcionamento devem ser feitos com frequência suficiente para detectar falhas antes que elas causem problemas;
- d. **Capacidade de Sobrevivência:** diz respeito à aptidão de uma medida de controle permanecer ativa diante de um evento potencialmente prejudicial, como um incêndio ou explosão. A capacidade de sobrevivência deve ser considerada para sistemas críticos como o de detecção de F&G;
- e. **Dependência:** trata-se do quanto uma medida de controle depende de outros sistemas para funcionar corretamente. Se, por exemplo, um único mecanismo de falha puder desabilitar várias medidas de controle ou se a falha de uma medida de controle puder causar a falha de outras, então elas não são independentes;
- f. **Compatibilidade:** leva em consideração como medidas de controle adicionais podem interagir com outros controles e com o restante da instalação (NOPSEMA, N-04300-GN0271).

Além disso, é importante que o padrão de desempenho, alguns dos quais podem estar contidos em códigos e exigências legais, não sejam genéricos. Recomenda-se que eles não sejam abertos a interpretações amplas, que sejam baseados em medidas quantitativas tais como contagens diretas, porcentagens e razões, estejam alinhados com o objetivo geral da medida de controle, sejam alcançáveis, contudo desafiadores e que sejam desenvolvidos e disponibilizados em tempo hábil. A orientação está de acordo com o conceito SMART, acrônimo em inglês dos termos *Specific, Measurable, Attainable, Realistic, Timely* (NOPSEMA, N-04300-GN0271).

Corroborando com a nota de orientação NOPSEMA N-04300-GN0271, a minuta de revisão do SGSO inclui os seguintes requisitos para o desenvolvimento de um padrão de desenvolvimento:

- a. características essenciais e funções do sistema;
- b. requisitos de verificação periódica da funcionalidade, examinando a capacidade do sistema atuar conforme especificação de projeto;
- c. requisitos de verificação periódica da integridade, garantindo a disponibilidade e a confiabilidade do sistema para atuar quando demandado;

- d. requisitos de verificação periódica de vulnerabilidade, garantindo o funcionamento sob cargas externas decorrentes de uma grande emergência e as dependências com outros Elementos Críticos de Segurança Operacional (Minuta de revisão SGSO, 2024).

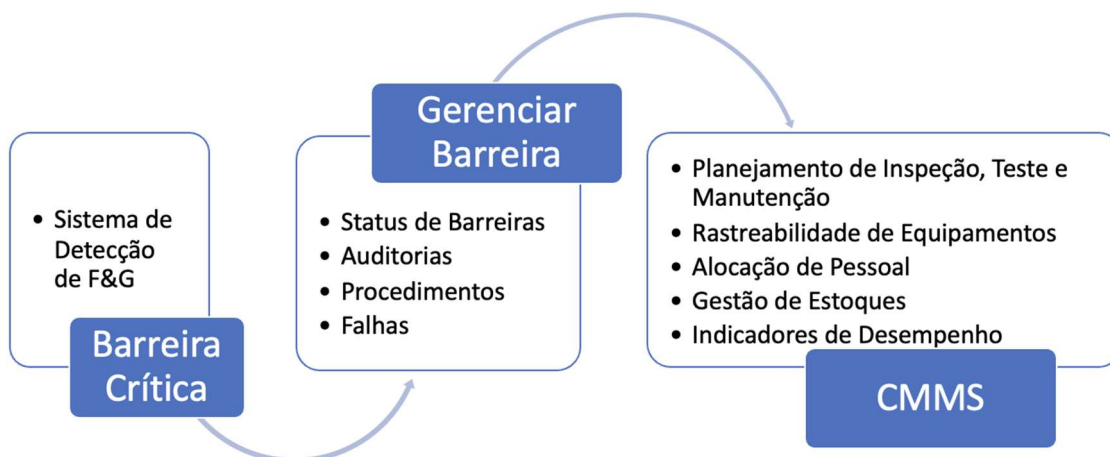
Embora muito se tenha alcançado pela indústria de petróleo e gás em termos de redução de risco para pessoas, meio ambiente e ativos através das boas práticas relacionadas ao gerenciamento de elementos e sistemas críticos, acidentes continuam a acontecer. O gerenciamento dos elementos e sistemas críticos de segurança envolve a identificação de perigos de acidentes graves (*MAHs*), além do alinhamento de rotinas de manutenção, inspeção e testes, histórico de desempenho e outras tarefas necessárias para manter o elemento ou sistema crítico em condições adequadas.

O monitoramento contínuo do estado das barreiras e das tarefas de garantia de desempenho (*performance-assurance tasks*) permite que o pessoal operacional e a gestão analisem a conformidade através da utilização dos seus padrões de desempenho (DHAR, 2011).

2.8. Sistema Computadorizado de Gestão de Manutenção (CMMS)

A confiabilidade de uma barreira crítica é assegurada por meio de inspeção, teste e manutenção. O sistema de detecção de F&G, como um sistema crítico de segurança operacional e, portanto, uma barreira crítica, deve possuir um programa de manutenção adequadamente definido para manter a sua integridade em todas as fases do ciclo de vida do FPSO, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Correlação das Barreiras Críticas com o Gerenciamento ao longo do ciclo de vida do FPSO.



Fonte: Própria, 2024.

O Capítulo 14 da NFPA 72, edição 2022, aborda os requisitos para inspeção, teste e manutenção de sistemas de alarme de incêndio. Nele são definidos os procedimentos necessários para que esses sistemas funcionem adequadamente e tenham confiabilidade ao longo do tempo. Alguns dos tópicos mais relevantes deste capítulo incluem: inspeções periódicas visuais para identificar problemas de funcionamento, danos ou desgaste; testes funcionais para garantir que eles estejam operando corretamente e de acordo com as especificações do fabricante; manutenção preventiva incluindo limpeza, ajustes e substituição de peças desgastadas; e documentação, enfatizando a necessidade de manter registros detalhados incluindo datas, resultados e ações corretivas (NFPA 72 Capítulo 14, 2022)

Da mesma forma, a API RP 14C recomenda que os sistemas de segurança *offshore*, o que inclui o sistema de detecção de fogo e gás, sejam submetidos a programas de manutenção adequados, sendo desenvolvidos com base nas melhores práticas da indústria e nas recomendações do fabricante dos equipamentos, incluindo inspeções regulares, testes funcionais, calibração e substituição de componentes desgastados, além de enfatizar também a importância de documentar e registrar todas as atividades de manutenção realizadas (API RP 14C, 2018)

Portanto, é crucial destacar que as atividades de manutenção são fundamentais para manter a integridade de uma barreira crítica. Enquanto a manutenção preventiva pode prevenir a degradação ou redução do desempenho dos elementos da barreira, como o desgaste ou o envelhecimento, a manutenção corretiva realiza reparos conforme a criticidade, assegurando que a barreira seja corrigida e mantida disponível. Nesse sentido,

a utilização de um Sistema Computadorizado de Gestão de Manutenção (CMMS) demonstra eficácia na gestão dos elementos críticos.

O CMMS é uma ferramenta de *software* utilizada para gerenciar todas as atividades relacionadas à manutenção de equipamentos e instalações em uma organização. Ele permite o planejamento, programação e controle de tarefas de manutenção preventiva e corretiva, incluindo a alocação de recursos, o registro de histórico de manutenção, o monitoramento de indicadores de desempenho e a gestão de estoques de peças e materiais. A importância de um CMMS reside na sua capacidade de otimizar a eficiência operacional, reduzir custos, minimizar tempo de inatividade, prolongando a vida útil dos equipamentos e garantindo a conformidade com normas e regulamentos de segurança e qualidade (ABECOM, 2023).

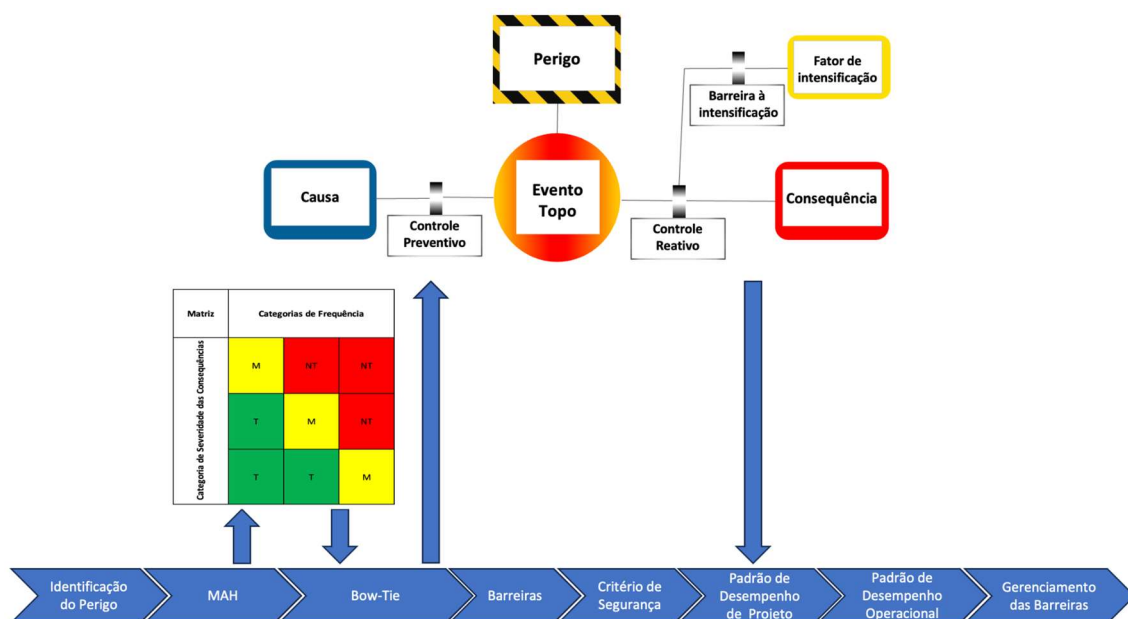
3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaborar este trabalho contou com levantamento de referencial bibliográfico como: artigos científicos, normas e regulamentos nacionais e internacionais, lições aprendidas em auditorias do SGSO e da experiência adquirida ao longo de anos dos integrantes do grupo atuando na área de Óleo e Gás. A metodologia foi desenvolvida de modo a realizar:

- a) A identificação do Perigo através da Análise de Risco do *HAZID*;
- b) A identificação do cenário *MAH* através da Matriz de Tolerabilidade de Risco e avaliação do ranking de risco no *HAZID*;
- c) A avaliação do cenário *MAH* no *Bow-tie*;
- d) O levantamento das barreiras procedimentais e *hardware* no *Bow-tie* como controle preventivo e reativo a possíveis causas e consequências do Evento Topo;
- e) O desenvolvimento do Padrão de Desempenho Operacional, a fim de garantir a funcionalidade, confiabilidade, disponibilidade e capacidade de sobrevivência do sistema de detecção de F&G durante todo o ciclo de vida do FPSO;
- f) O gerenciamento de barreiras;
- g) A associação das barreiras críticas com o gerenciamento do CMMS.

A Figura 7 ilustra o fluxo de processos da metodologia.

Figura 7: Fluxo da metodologia.



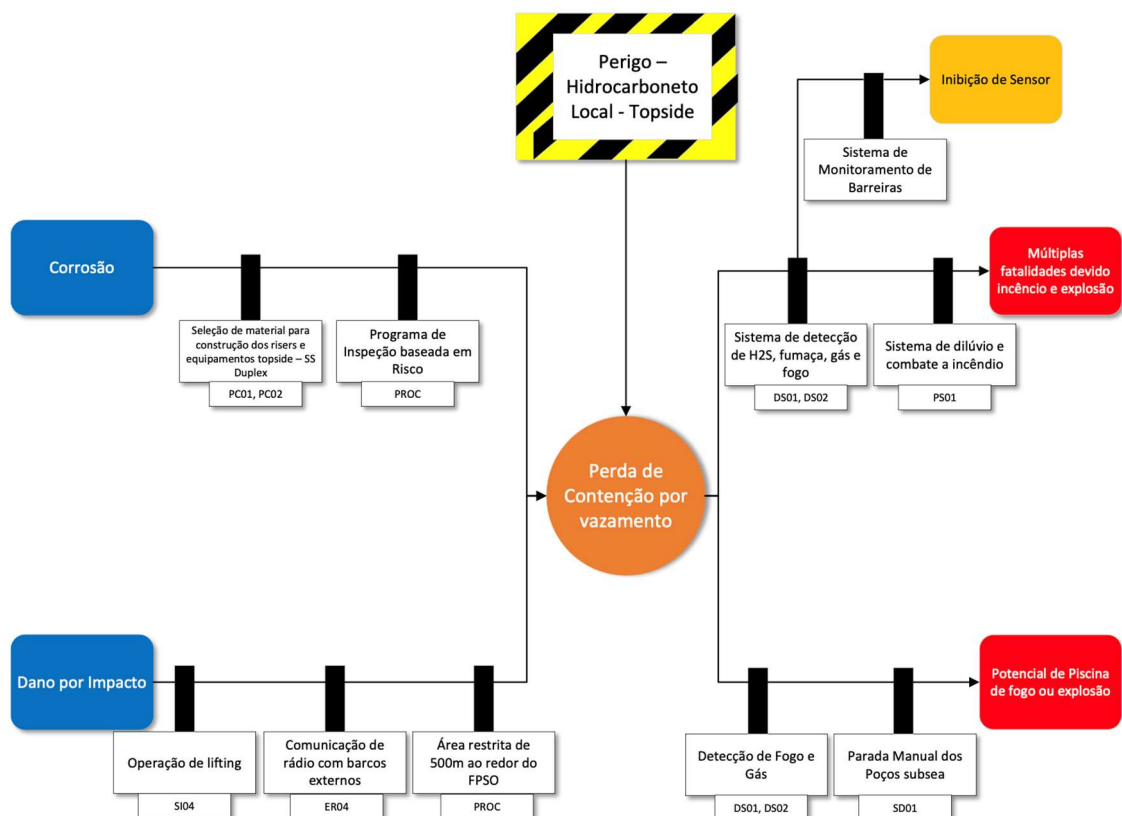
Fonte: Própria, 2024.

Na análise *Bow-tie* foi considerado o hidrocarboneto como perigo e o Evento Topo a perda de contenção de hidrocarbonetos no *topside* do FPSO. O sistema de detecção de F&G é apresentado como a primeira barreira de controle do escalonamento do incidente, e também como barreiras corretivas, como pode ser visto a seguir na Figura 8.

Para o controle de escalonamento foi identificada uma barreira procedimental com o intuito de que o procedimento crítico de contingência atue de modo a monitorar as necessidades de contingenciamento dos elementos críticos de segurança operacional. Para o caso em questão, o procedimento crítico será o de *safety override* de modo que ele seja uma contingência em caso da barreira de sistema de F&G estar degradada. Os procedimentos de *override* tem como objetivo planejar, implementar, manter, registrar e controlar as inibições (*overrides*) dos detectores de F&G.

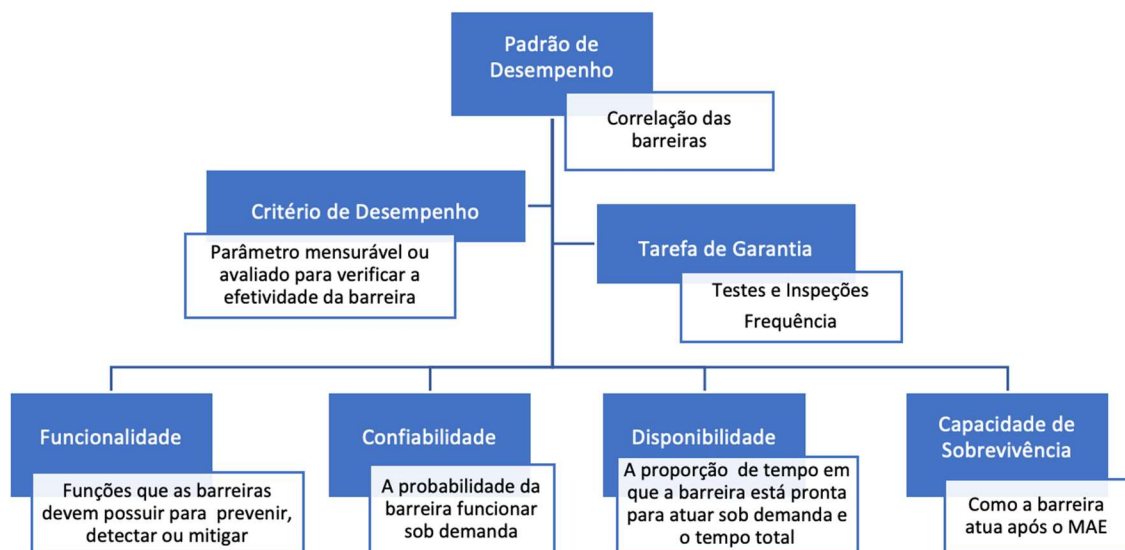
Conforme a Figura 8, como barreira corretiva ao evento topo, perda de contenção primária, foram identificadas as barreiras DS01 – Sistema de Detecção de Fogo e DS02 – Sistema de Detecção de Gás. Tendo essas definições, critérios e requisitos em vista propõe-se um Padrão de Desempenho Operacional para os elementos críticos DS01 e DS02. A Figura 9 mostra a metodologia utilizada para a construção do Padrão de Desempenho DS01 e DS02 de modo a correlacioná-lo com o ciclo operacional do FPSO.

Figura 8: Avaliação do cenário MAH no *Bow-tie* correlacionando as barreiras do sistema de F&G.



Fonte: Própria, 2024.

Figura 9: Método para a construção do Padrão de Desempenho Operacional.



Fonte: Própria, 2024.

O Padrão de Desempenho Operacional aborda a funcionalidade, a confiabilidade, a disponibilidade e a capacidade de sobrevivência e, para cada dimensão, é levantado o requisito, o critério de desempenho, a atividade de garantia, o critério de aceitação e as respectivas referências, conforme o exemplo mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Modelo para detalhar as dimensões do Padrão de Desempenho Operacional.

Requisito	Critério de Desempenho	Atividade de Garantia	Referência	Critérios de Aceitação	Frequência
Indicação do objetivo e/ ou função principal da barreira	Descrição do desempenho e das medidas de controle esperadas	Lista de atividades que irão garantir a função da barreira	Normas, padrões e melhores práticas	Lista de condições que indiquem disponibilidade da barreira	Tempo entre testes ou verificações em dias, meses ou anos

Fonte: Própria, 2024.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Funcionalidade

A funcionalidade do sistema de F&G é descrita na Tabela 3, onde temos as funções que os elementos críticos de segurança e meio ambiente devem possuir para prevenir, detectar ou mitigar um evento perigoso ou proteger pessoas ou o meio ambiente.

Como Atividade de Garantia ao Critério de Desempenho temos o plano de inspeção visual dos detectores de chama, recalibração, quando necessário, e teste funcional do sistema.

Os Critérios de Aceitação às Atividades de Garantias devem ser seguidos e estarem no Plano de Manutenção da unidade através de uma instrução de trabalho, que é associado a uma ordem de serviço.

As Referências são um guia de boas práticas de como definir os Critérios de Aceitação, como também as frequências.

O requisito destacado se refere à detecção automática de fogo e gás (F&G) com o propósito de alertar o pessoal a bordo e iniciar ações de combate a incêndio. Isso sugere que o sistema deve ser capaz de identificar sinais de fogo em estágios iniciais, bem como a presença de gases que possam potencialmente causar danos significativos se houver ignição. Essa detecção automática é crucial para garantir a segurança das pessoas a bordo

e para iniciar rapidamente as medidas de resposta a emergências, ajudando a minimizar os riscos e os danos em caso de incêndio ou vazamento de gases.

Tabela 3: Dimensão “Funcionalidade” do Padrão de Desempenho Operacional.

Requisito	Critério de Desempenho	Atividade de Garantia	Referência	Critérios de Aceitação	Frequência
Detecção automática de fogo para alertar o pessoal a bordo e desencadear ações de combate a incêndio	O sistema deve ser capaz de detectar a presença de fogo em estágios iniciais e iniciar ações automáticas de controle da emergência	Inspeção visual de todos os detectores de chama	API RP 14C, Anexo I, I.3.2	- Cobertura dos detectores de chama sem obstruções	3 meses
		Recalibração, se aplicável, de acordo com o requerido pela norma API RG 14G	API RP 14G, Item 7.8 ISO 13702:2015, Tabela C.7		
		Teste funcional para confirmar que os dispositivos estão funcionando corretamente	API RP 14G, Item 7.8	Nenhum dano visual no detector ou cabo de sinal	3 meses
		Recalibração dos detectores de chama	ISO 13702:2015, Tabela C.7	Teste funcional indicando corretamente e (sinal visual e sonoro) na Interface Humana Máquina (IHM)	3 meses

Fonte: Própria, 2024.

(Continuação Tabela 3): Dimensão “Funcionalidade” do Padrão de Desempenho Operacional.

Requisito	Critério de Desempenho	Atividade de Garantia	Referência	Critérios de Aceitação	Frequência
Sistema de detecção de F&G que emite um alarme no CCR e inicia ações executivas após a recepção dos sinais adequados dos sensores	O sistema de detecção de F&G está integrado no Sistema Integrado de Controle e Segurança (ICSS), de modo a fornecer alarmes e, em certos casos, ações executivas adequadas em caso de incêndio ou de liberação de hidrocarbonetos gasosos	Realizar testes de simulação no sistema de controle F&G para garantir que a lógica do PLC funciona de acordo com a matriz de causa e efeito, confirmando que o sistema de controle F&G inicia o alarme e as ações executivas adequadas	API RP 14G, Item 7.8 NFPA 72, Ch 14 Tabela 14.3.2 API RP 14C, Annex I, I.3.2	Teste de Simulação A lógica do PLC funcionou corretamente de acordo com a Matriz de Causa e Efeito [S/N] O PLC recebeu o sinal de saída do detetor de incêndio e de fumo[S/N] Os detectores anunciaram as zonas adequadas e ativaram os alarmes adequados O alarme no CCR foi ativado [S/N]	12 m (NFPA 72)

Fonte: Própria, 2024.

(Continuação Tabela 3): Dimensão “Funcionalidade” do Padrão de Desempenho Operacional.

Requisito	Critério de Desempenho	Atividade de Garantia	Referência	Critérios de Aceitação	Frequência
Monitorar as áreas da instalação quanto ao acúmulo perigoso de gases inflamáveis para que se possa tomar as medidas para minimizar a ameaça à vida, ao meio ambiente ou à instalação	O sistema deve ser capaz de detectar a presença de gases inflamáveis, sua concentração, localização aproximada e fornecer alarme no CCR. Dependendo das concentrações detectadas, iniciar as ações de controle da emergência	Realizar testes de detecção de gás e verificação da calibração	API RP 14C, Anexo I, I.3.2 API RP 14G, Item 7.8 ISO 13702:2015 Tabela C.7 NFPA 72	Ativação do alarme no CCR indicando a detecção de gás e início das ações executivas para o controle da emergência O sistema de detecção de gases inflamáveis não é capaz de monitorar as áreas quanto à presença de H ₂ S ou outros grupos de gases	3 meses

Fonte: Própria, 2024.

O critério de desempenho estabelece as expectativas para o sistema de detecção automática de F&G em termos de sua capacidade de identificar situações críticas relacionadas ao fogo e aos gases no estágio inicial. Ele amplia o requisito inicial, detalhando que o sistema não só deve detectar a presença de fogo em estágios iniciais, mas também identificar volumes de gás suficientes que possam levar a danos significativos caso haja ignição. Além disso, enfatiza a importância de iniciar ações automáticas de combate a emergências, o que implica que o sistema não apenas alerta, mas também ativa os procedimentos necessários para conter ou extinguir o incêndio ou controlar o vazamento de gases. Esse critério destaca a necessidade de uma detecção precisa e ágil, juntamente com uma resposta imediata para mitigar os riscos e proteger a segurança das pessoas e das instalações a bordo.

As atividades de garantia listadas têm como objetivo assegurar que os detectores de chama, parte essencial do sistema de detecção automática de F&G, estejam operando de forma eficaz e confiável.

1. Inspeção visual de todos os detectores de chama: Esta atividade envolve uma verificação visual de todos os detectores de chama para garantir que não haja danos físicos visíveis, como quebras, rachaduras ou corrosão. Isso é importante para garantir que os detectores estejam em boas condições de funcionamento e prontos para detectar qualquer sinal de fogo.
2. Recalibração, se aplicável de acordo com o requerido pela norma API RG 14G: Esta atividade refere-se à recalibração dos detectores de chama, se necessário, de acordo com os padrões e requisitos estabelecidos pela norma API RG 14G. A recalibração é importante para garantir que os detectores estejam detectando com precisão os sinais de fogo e gás, conforme necessário para a segurança das operações.
3. Teste funcional para confirmar que os dispositivos estão funcionando corretamente: Esta atividade envolve a realização de testes funcionais em todos os dispositivos para confirmar que estão operando conforme o esperado. Isso pode incluir testes de resposta aos sinais de fogo simulados ou testes de comunicação com o sistema de controle para verificar a integração adequada.
4. Recalibração dos detectores de chama: Esta atividade reitera a importância da recalibração dos detectores de chama, ressaltando sua relevância para garantir a precisão contínua da detecção ao longo do tempo. A recalibração periódica é fundamental para manter a confiabilidade do sistema de detecção de incêndio e gás.

Os critérios de aceitação são fundamentais para garantir que os detectores de chama estejam operando de forma eficaz e confiável. Vamos comentar sobre cada um deles:

1. Cobertura dos detectores de chama sem obstruções: Este critério assegura que os detectores de chama estejam posicionados de maneira que sua capacidade de detecção não seja comprometida por obstruções físicas.
2. Nenhum dano visual no detector ou cabo de sinal: Este critério garante que não haja danos físicos visíveis nos detectores de chama ou em seus cabos de sinal durante a inspeção.
3. Teste funcional indicando corretamente (sinal visual e sonoro) na Interface Humana Máquina (IHM): Este critério de aceitação valida a funcionalidade dos detectores de chama, verificando se eles emitem sinais visuais e sonoros corretamente na Interface

Humana Máquina (IHM). Isso confirma que os detectores estão comunicando efetivamente suas detecções e estão prontos para alertar o pessoal a bordo em caso de emergência.

O requisito estabelece que um sistema de detecção de incêndios deve ser capaz de emitir um alarme no Centro de Controle de Reações (CCR) e iniciar ações executivas após receber sinais dos sensores de incêndio. Isso significa que o sistema não só deve detectar incêndios precocemente, mas também alertar a equipe responsável e iniciar procedimentos automáticos para lidar com a emergência.

O Critério de Desempenho estabelece que o sistema de detecção de F&G deve estar integrado ao Sistema Integrado de Controle e Segurança (ICSS), para fornecer alarmes e, em determinadas situações, iniciar ações executivas apropriadas em caso de incêndio ou vazamento de hidrocarbonetos gasosos. Essa integração assegura uma resposta eficaz e coordenada diante de emergências, contribuindo para a segurança das instalações e das pessoas.

A atividade de garantia consiste em realizar testes de simulação no sistema de controle F&G para verificar se a lógica do PLC (Controlador Lógico Programável) opera conforme a matriz de causa e efeito estabelecida. Isso é feito para confirmar que o sistema de controle F&G é capaz de iniciar alarmes e ações executivas apropriadas em resposta a eventos de emergência, assegurando assim a eficácia e a confiabilidade do sistema.

Os critérios de aceitação estabelecem as condições que devem ser atendidas durante o teste de simulação para garantir que o sistema de controle F&G esteja operando conforme o esperado. Vamos comentar sobre cada um deles:

1. A lógica do PLC funcionou corretamente de acordo com a Matriz de Causa e Efeito [S/N]: Este critério verifica se a lógica do Controlador Lógico Programável (PLC) operou corretamente, conforme definido na matriz de causa e efeito. Isso garante que o sistema responda adequadamente a diferentes cenários de emergência.
2. O PLC recebeu o sinal de saída do detector de incêndio e de fumo [S/N]: Este critério confirma se o PLC recebeu corretamente os sinais de saída dos detectores de incêndio e fumaça. A recepção adequada desses sinais é fundamental para que o sistema de controle F&G inicie as ações necessárias em caso de detecção de incêndio.
3. Os detectores anunciaram as zonas adequadas e ativaram os alarmes adequados: Este critério avalia se os detectores de incêndio anunciaram as zonas corretas e ativaram os alarmes apropriados conforme a localização e a gravidade do evento detectado. Isso garante uma resposta precisa e direcionada em caso de emergência.

4. O alarme no CCR foi ativado [S/N]: Este critério verifica se o alarme foi ativado com sucesso no Centro de Controle de Reações (CCR). A ativação do alarme no CCR é importante para alertar a equipe de resposta a emergências e coordenar as ações necessárias para lidar com a situação.

4.2.Confiabilidade

A confiabilidade do sistema de F&G é descrita na Tabela 4, onde é identificado a probabilidade de falha dos elementos críticos de segurança e meio ambiente funcionando sob determinada demanda. O sistema de F&G deve possuir característica de falha segura, isto é, executar as ações de segurança em caso de falha de acordo com a descrição do Critério de Desempenho. Notar que as verificações de rotina e manutenção descritos na Atividade de Garantia, possuem um Critério de Aceitação rigoroso.

O requisito indica a importância da confiabilidade do sistema de detecção de fogo e gás (F&G), conforme definido pela dimensão "Confiabilidade" do Padrão de Desempenho Operacional. A confiabilidade é crucial para garantir que o sistema opere de maneira consistente e eficaz ao longo do tempo, fornecendo detecção confiável de incêndios e gases perigosos. Isso implica que o sistema deve ser projetado, instalado e mantido de acordo com os mais altos padrões para garantir sua capacidade de funcionar corretamente em todas as situações, minimizando assim o risco de falhas ou falsos alarmes. Em resumo, o requisito enfatiza a necessidade de confiança no sistema de detecção de F&G para proteger vidas e propriedades contra incêndios e emergências relacionadas a gases.

Tabela 4: Dimensão “Confiabilidade” do Padrão de Desempenho Operacional.

Requisito	Critério de Desempenho	Atividade de Garantia	Referência	Critérios de Aceitação	Frequência
O sistema de detecção de F&G deve atender ao critério de confiabilidade definido	O sistema deve possuir a característica de falha segura, isto é, executar as ações de segurança em caso de falha Os cartões do executor de lógica devem possuir recursos de testes internos automáticos e externos manuais Falhas de sistema e de <i>hardware</i> devem ser Imediatamente identificadas e reportadas na Interface Humana Máquina (IHM)	Verificações de rotina e manutenção corretiva a fim de manter as configurações de projeto	API RP 14C, Anexo I, I.3.2 API RP 14G, Item 7.8 ISO 13702:2015 Tabela C.7	O sistema deve ter confiabilidade mínima de 99,99% Fornecer auto-diagnóstico de falha de componentes e indicação sonora e visual da ocorrência após o evento	3 meses
	Oferecer redundância do PLC e o controlador ser projetado com certificação SIL 2	De acordo com o padrão de desempenho do projeto – Classificação e Verificação SIL	IEC 61508 e 61511	O sistema deve oferecer redundância do PLC	3 meses

(Continuação Tabela 4): Dimensão “Confiabilidade” do Padrão de Desempenho Operacional.

Monitorar as áreas da instalação quanto ao acúmulo perigoso de gases inflamáveis com mais de um tipo de detector e com precisão para se determinar a concentração dos mesmos	Oferecer uma combinação de detectores de gás dos tipos linha de visada e pontual nas áreas cobertas com tempo de resposta apropriado ao controle da emergência	Inspeção visual dos detectores de gás tipo linha de visada para verificar possíveis obstáculos no raio do feixe eletromagnético	API RP 14C, Anexo I, I.3.2 API RP 14G, Item 7.8 ISO 13702:2015 Tabela C.7 NFPA 72	Sensores dos tipos linha de visada e pontual sem obstáculos ou obstruções que interfiram na detecção	3 meses
		Inspeção visual dos detectores de gás tipo pontual para verificar possíveis obstruções do sensor (ex.: presença de sacos plásticos ou lonas cobrindo o sensor)		O sistema de detecção de gás não é adequado para a detecção de gases mais pesados que o ar pois os sensores fixos não estão localizados em níveis mais baixos.	
		Realizar testes periódicos de resposta dos detectores com aquisição e registro dos tempos pelo PLC do momento da detecção do gás até o início das ações executivas		O tempo alvo de resposta entre o gás atingir um detector até o alarme e/ou início das ações executivas dever ser < 10s.	3 meses
	Fornecer a concentração de gases inflamáveis na área coberta com alarme no CCR em níveis de 20%LEL e de 60%LEL	Realizar calibrações periódicas dos detectores e ajuste dos níveis de alarme, se aplicável		Indicação dos níveis de concentração de gás durante os testes coerente com os alarmes configurados no PLC	3 meses

Fonte: Própria, 2024.

Os critérios de desempenho são essenciais para garantir a confiabilidade do sistema de detecção de F&G:

1. Característica de falha segura: Este critério assegura que o sistema seja projetado para ser seguro em caso de falhas. Isso significa que, mesmo se ocorrer uma falha no sistema, ele deve ser capaz de executar as ações de segurança necessárias para proteger vidas e propriedades. Essa característica é fundamental para garantir que o sistema permaneça confiável mesmo em situações de emergência.
2. Recursos de testes internos automáticos e externos manuais nos cartões do executor de lógica: Esses recursos garantem que os cartões do executor de lógica sejam testados regularmente para identificar e corrigir possíveis falhas. Os testes automáticos internos permitem uma verificação contínua do funcionamento do hardware, enquanto os testes externos manuais permitem uma verificação mais abrangente por parte dos operadores. Isso ajuda a garantir que o sistema esteja sempre funcionando corretamente.
3. Identificação imediata e relatório de falhas de sistema e hardware na Interface Humana Máquina (IHM): Esse critério garante que qualquer falha no sistema ou no hardware seja identificada e relatada imediatamente na Interface Humana Máquina (IHM). Isso permite uma resposta rápida por parte dos operadores, que podem tomar medidas para resolver o problema antes que ele afete a segurança do sistema.
4. Redundância do PLC e certificação SIL 2 do controlador: A redundância do PLC e a certificação SIL 2 do controlador fornecem uma camada adicional de segurança e confiabilidade ao sistema. A redundância do PLC garante que, se um PLC falhar, outro possa assumir suas funções sem interrupção no funcionamento do sistema. Enquanto isso, a certificação SIL 2 do controlador garante que ele atenda a padrões rigorosos de integridade e confiabilidade, contribuindo para a segurança global do sistema de detecção de F&G.

A atividade de garantia demonstra um compromisso com a confiabilidade do sistema de detecção de F&G por meio de verificações de rotina e manutenção corretiva. Aqui estão alguns pontos que destacam a confiabilidade dessa atividade:

1. Verificações de rotina: Realizar verificações de rotina é essencial para identificar e corrigir quaisquer problemas ou desvios nas configurações de projeto do sistema. Essas verificações regulares ajudam a garantir que o sistema opere de acordo com as especificações estabelecidas e que qualquer desvio seja corrigido prontamente, minimizando assim o risco de falhas inesperadas.

2. Manutenção corretiva: A manutenção corretiva é realizada em resposta a falhas ou problemas identificados durante as verificações de rotina ou durante a operação normal do sistema. Essa abordagem proativa ajuda a resolver rapidamente quaisquer problemas que possam comprometer a confiabilidade do sistema, garantindo que ele permaneça operacional e seguro.
3. Manutenção de acordo com o padrão de desempenho do projeto – Classificação e Verificação SIL: O fato de a atividade de garantia ser conduzida de acordo com o padrão de desempenho do projeto, incluindo a classificação e verificação SIL (Safety Integrity Level), destaca um compromisso com a conformidade com padrões rigorosos de segurança e confiabilidade. Isso garante que a manutenção seja realizada de acordo com as melhores práticas da indústria, contribuindo para a confiabilidade geral do sistema de detecção de F&G.

Os critérios de aceitação definidos demonstram um forte foco na confiabilidade do sistema de detecção de F&G. Aqui está uma análise sobre a confiabilidade de cada um desses critérios:

1. Confiabilidade mínima de 99,99%: Este critério estabelece um padrão elevado de confiabilidade para o sistema, exigindo que ele opere com uma taxa de sucesso muito alta de 99,99%. Isso significa que o sistema é projetado para funcionar praticamente sem falhas, garantindo uma detecção confiável de incêndios e gases perigosos.
2. Fornecer auto-diagnóstico de falha de componentes e indicação sonora e visual da ocorrência após o evento: Esse critério aumenta a confiabilidade do sistema ao fornecer recursos de auto-diagnóstico que identificam falhas de componentes automaticamente. Além disso, a indicação sonora e visual das falhas após o evento permite uma resposta imediata por parte dos operadores, garantindo que qualquer problema seja rapidamente identificado e resolvido, minimizando assim o tempo de inatividade do sistema.
3. Oferecer redundância do PLC: A redundância do PLC aumenta significativamente a confiabilidade do sistema, garantindo que, mesmo se um PLC falhar, outro possa assumir suas funções sem interrupção no funcionamento do sistema. Isso ajuda a garantir uma operação contínua e confiável do sistema de detecção de F&G, mesmo em situações de falha.

4.3. Disponibilidade

A disponibilidade do sistema de F&G é descrita na Tabela 5, no qual os elementos críticos devem estar disponíveis para prevenir, detectar ou mitigar um evento perigoso ou proteger pessoas ou o meio ambiente.

Tabela 5: Dimensão “Disponibilidade” do Padrão de Desempenho Operacional.

Requisito	Critério de Desempenho	Atividade de Garantia	Referência	Critérios de Aceitação	Frequência
Garantir que todas as áreas cobertas por detectores de fogo e de gases inflamáveis sejam permanentemente monitoradas	Oferecer redundância pelo uso de múltiplos detectores de fogo e de gás nas áreas de cobertura Os circuitos de detecção de fogo e de gases inflamáveis devem possuir autodiagnóstico de falha com alarme no CCR	Verificações de rotina e manutenção corretiva a fim de manter as configurações de projeto	API RP 14C, Anexo I, I.3.2 API RP 14G, Item 7.8 ISO 13702:2015 Tabela C.7 IEC 61508 e 61511	Testes realizados com o sistema de detecção de F&G totalmente operacional, mas com realização de inibição do sensor de fogo ou de gás a ser testado para evitar ações executivas indesejadas Falhas de cartões devem ser corrigidas num prazo máximo de 12h e falhas de detectores de fogo ou de gás em até 24h	3 meses

Fonte: Própria, 2024.

Na disponibilidade do sistema de detecção de F&G, temos que os elementos críticos devem estar sempre prontos para prevenir, detectar ou mitigar eventos perigosos e proteger pessoas e o meio ambiente. Dessa maneira, está diretamente relacionada ao requisito de monitorar permanentemente todas as áreas cobertas por detectores de F&G. Esse requisito assegura que o sistema esteja constantemente vigilante, detectando

qualquer sinal de perigo assim que ocorrer, contribuindo para a eficácia e confiabilidade do sistema em responder rapidamente a emergências e garantir a segurança das instalações e das pessoas.

O Critério de Desempenho destacado enfatiza a importância da redundância e da prontidão na identificação e comunicação de falhas no sistema de detecção de incêndios e gases perigosos. Ao oferecer redundância por meio do uso de múltiplos detectores em áreas de cobertura, o sistema se torna mais robusto e confiável, garantindo que haja sempre uma cobertura adequada para detectar qualquer sinal de perigo. Isso aumenta a eficácia do sistema, reduzindo o risco de falhas e garantindo uma detecção confiável em todas as circunstâncias.

Além disso, a prontidão na identificação e comunicação de falhas de sistema e de hardware é essencial para uma resposta rápida e eficaz a emergências. Ao serem imediatamente identificadas e reportadas na Interface Humana Máquina (IHM), as falhas podem ser tratadas de forma adequada, minimizando o tempo de inatividade do sistema e garantindo sua disponibilidade contínua para proteger vidas e propriedades.

A atividade de garantia envolve verificações regulares e manutenção preventiva para garantir que as configurações de projeto do sistema de detecção de incêndios e gases perigosos sejam mantidas, assegurando sua operação eficiente e contínua ao longo do tempo.

Os critérios de aceitação exigem que os testes sejam conduzidos com o sistema de detecção de F&G totalmente operacional, permitindo a inibição do sensor a ser testado para evitar ações executivas indesejadas. Além disso, estabelecem prazos rigorosos para a correção de falhas: as falhas de cartões devem ser corrigidas em até 12 horas e as falhas de detectores em até 24 horas, garantindo uma resposta rápida para manter a eficácia do sistema.

4.4.Capacidade de Sobrevivência

A Capacidade de Sobrevivência do sistema de F&G é descrita na Tabela 6, onde é mostrado como os elementos críticos irão sobreviver no cenário de incêndio e explosão.

Tabela 6: Dimensão “Capacidade de Sobrevivência” do Padrão de Desempenho Operacional.

Requisito	Critério de Desempenho	Atividade de Garantia	Referência	Critérios de Aceitação	Frequência
O sistema de detecção de F&G deve ser capaz de permanecer operacional em caso de incêndio ou explosão	Fornecer meios suficientes de detecção em uma área de cobertura a fim de garantir que o sistema seja capaz de atuar mesmo após eventos de presença de gás, incêndio e explosão A perda de detectores de fogo e/ou de gás em qualquer zona não prejudicará as operações do sistema de detecção de F&G	Verificações de rotina e manutenção corretiva a fim de manter as configurações de projeto	API RP 14C, Anexo I, I.3.2 API RP 14G, Item 7.8 ISO 13702:2015, Tabela C.7	A localização e a proteção do painel do sistema de detecção F&G devem garantir que ele continue funcional durante uma emergência Detectores de fogo e de gás não danificados em áreas adjacentes devem funcionar normalmente Não é esperado que os detectores tendo sido sensibilizados e iniciadas as ações apropriadas sobrevivam a uma explosão	3 meses

Fonte: Própria, 2024.

A Capacidade de Sobrevivência do sistema de F&G, que descreve como os elementos críticos do sistema resistirão a cenários de incêndio e explosão, está intimamente relacionada ao requisito de que o sistema de detecção de F&G deve ser capaz de permanecer operacional em caso de incêndio ou explosão. Isso significa que o sistema

deve ser projetado e construído para resistir às condições extremas desses eventos, garantindo que continue funcionando adequadamente para detectar e responder a emergências, mesmo sob circunstâncias adversas. Essa interligação ressalta a importância da robustez e confiabilidade do sistema para a segurança das instalações e das pessoas.

O Critério de Desempenho exige fornecer meios adequados de detecção em uma área de cobertura para garantir a operacionalidade contínua após eventos de presença de fogo, gás, incêndio e explosão. Além disso, a garantia de que a perda de detectores em qualquer zona não afetará as operações do sistema de detecção de F&G (considerando que a cobertura da área é garantida), reforça a capacidade de sobrevivência do sistema, assegurando que ele permaneça eficaz e operacional mesmo em cenários desafiadores. Essa relação ressalta a importância da robustez e confiabilidade do sistema para proteger pessoas e ativos em situações de emergência.

A atividade de garantia descrita envolve realizar verificações regulares e manutenção preventivas para preservar as configurações de projeto do sistema de detecção de incêndios e gases perigosos. Essas verificações e manutenções são essenciais para garantir que o sistema opere em conformidade com a norma. Além disso, a manutenção pode estar identificando e corrigindo quaisquer desvios ou problemas que possam surgir durante sua operação. Essa abordagem proativa contribui para a confiabilidade e eficácia contínuas do sistema, mantendo-o preparado para responder a situações de emergência e proteger vidas e propriedades.

Os Critérios de Aceitação para a capacidade de sobrevivência do sistema de detecção de incêndios e gases perigosos são direcionados para garantir que o sistema permaneça funcional e eficaz mesmo em cenários de emergência.

O primeiro critério destaca a importância da localização e proteção adequadas do painel do sistema, assegurando que ele continue operacional durante uma emergência, garantindo assim uma resposta contínua e eficiente do sistema.

O segundo critério enfatiza que os detectores não danificados em áreas adjacentes devem continuar funcionando normalmente, garantindo que o sistema mantenha sua capacidade de detecção e resposta em todo o ambiente afetado pela emergência.

O terceiro critério reconhece que, embora não seja esperado que os detectores sensibilizados sobrevivam a uma explosão, sua função é iniciar ações apropriadas para mitigar os danos causados pela emergência. Isso destaca a função crítica dos detectores em acionar respostas de segurança mesmo em situações extremas.

Esses critérios, em conjunto, garantem que o sistema de detecção de F&G mantenha sua funcionalidade e capacidade de resposta diante de cenários desafiadores, reforçando assim a segurança das instalações e das pessoas.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho explorou conceitos fundamentais para a indústria de óleo e gás, enfatizando a relevância do sistema de detecção de Fogo e Gás (F&G) e estabelecendo correlações entre esses conceitos para demonstrar sua aplicabilidade ao ciclo de vida do FPSO.

A familiarização do time de operações com a identificação de perigos, análise de riscos, cenários *MAH*, Matriz de Tolerabilidade de Risco e barreiras procedimentais e de *hardware* desempenha um papel importante na eficácia do sistema de detecção de Fogo e Gás (F&G). Esses conhecimentos permitem uma compreensão abrangente dos potenciais perigos presentes nas instalações de óleo e gás, capacitando a equipe a tomar medidas preventivas e reativas, incluindo o uso adequado do sistema de detecção de F&G, para mitigar os riscos e garantir a segurança das operações. A correlação entre esses aspectos evidencia a importância da integração entre o treinamento do pessoal de operações e o funcionamento eficiente do sistema de detecção de F&G para garantir a segurança e a proteção das instalações e das equipes.

Além disso, deve-se entender as informações contidas no Padrão de Desempenho Operacional, uma vez que ele traz informações de grande valor da fase de projeto e associa ao dia a dia operacional, provendo os *inputs* para o gerenciamento do CMMS e garantindo a funcionalidade, confiabilidade, disponibilidade e capacidade de sobrevivência do sistema que, para o presente estudo, teve foco no sistema de detecção de F&G.

A partir dos dados coletados dos Critérios de Aceitação do Padrão de Desempenho Operacional, a sua aplicação durante todo o ciclo de vida do FPSO contribui para a redução do risco de ocorrência de Acidentes Graves (*MAH*) devido à indisponibilidade ou falha no gerenciamento.

Aspectos fundamentais relacionados ao sistema de F&G foram examinados e correlacionados com o Padrão de Desempenho Operacional, sendo avaliado através das dimensões da funcionalidade, disponibilidade, confiabilidade e capacidade de sobrevivência. A funcionalidade do sistema foi destacada como essencial para sua

capacidade de detecção precoce e resposta eficaz a emergências, enquanto a disponibilidade assegura que o sistema esteja pronto para operar a qualquer momento, mesmo em condições adversas. A confiabilidade foi identificada como um elemento central para garantir o desempenho consistente do sistema, com prontidão na identificação e correção de falhas. Além disso, a capacidade de sobrevivência do sistema foi enfatizada como crucial para sua resistência a cenários extremos de incêndio e explosão, garantindo sua operacionalidade contínua em situações críticas.

Conclui-se que esses aspectos destacam a importância da integração sistêmica de funcionalidade, disponibilidade, confiabilidade e capacidade de sobrevivência para garantir a eficácia e segurança do sistema de detecção de F&G na proteção dos FPSOs. Essa compreensão oferece *insights* conceituais para a aplicabilidade, desenvolvimento e aprimoramento contínuo do sistema de detecção de F&G.

O presente trabalho verificou também a importância do tema fatores humanos como uma barreira efetiva contra cenários MAHs. Uma vez que os procedimentos operacionais críticos são atribuídos às barreiras procedimentais, a Análise de Confiabilidade Humana (HRA) identifica as tarefas críticas e os potenciais eventos de falha humana nesses procedimentos. Assim, uma sugestão de trabalho futuro seria realizar a análise de confiabilidade humana de procedimentos críticos operacionais como o *Safety Override* (que foi identificado como uma barreira procedimental no presente trabalho), pela razão de analisar as ações humanas como barreiras em acidentes graves no FPSO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECOM. O que é CMMS? Uma visão geral do software de gerenciamento de manutenção. Disponível em: <https://www.abecom.com.br/cmms-software-de-manutencao/>. Acesso em: 27 fev. 2024.

ABIA, D; IWEGBU, M; ONOFEHARA, C; ANOZIE, I. Effective Barrier Risk Management in Process Safety Utilizing the Bow-tie Methodology. Paper presented at the SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Lagos, Nigeria, August 2019.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 14C: Recommended Practice for Analysis, Design, Installation, and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms. 8th ed. Washington D.C.: API, 2018.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 14G: Recommended Practice for Fire Prevention and Control on Fixed Open-type Offshore Production Platforms. 4th ed. Washington D.C.: API, 2007.

ANP, 2007. REGULAMENTO TÉCNICO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA OPERACIONAL DAS INSTALAÇÕES MARÍTIMAS DE PERFURAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL. https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/regulamento_sgso.pdf. Acesso em: 03 de mar. de 2024.

ANP. Minuta de Revisão do Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional das Instalações Marítimas de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/2022/consulta-e-audiencia-publicas-28-2022> Acesso em 25 fev. 2024.

ANP. Nota Técnica Nº 4/2022/SSM-CSO/SSM/ANP-RJ: Metodologia para a realização de Autodiagnóstico/Auditoria de Barreiras, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/nota-tecnica-ssm-cso-4-2022.pdf/view>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ANP. Relatório de Investigação de Incidente da P-20, março/2018. 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/plataforma-p-20/relatorio-p-20_final.pdf. Acesso em: 20 fev. 2024.

ANP. Relatório de Investigação de Incidente da P-48, setembro/2018. 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/plataforma-p-48/p-48_relatorio-rev-final.pdf. Acesso em: 20 fev. 2024.

ANP, 2021. Relatório Anual de Segurança Operacional 2021. https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/raso/v0_2021_relatorio-anual-de-seguranca-operacional.pdf. Acesso em: 05 de mar. de 2024.

ANP, 2022. Relatório Anual de Segurança Operacional 2022. <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: 05 de mar. de 2024.

AUSTRÁLIA. NATIONAL OFFSHORE PETROLEUM SAFETY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AUTHORITY. NOPSEMA. Guidance Note for Risk assessment. N-04300-GN0165. NOPSEMA, 2020.

AUSTRÁLIA. NATIONAL OFFSHORE PETROLEUM SAFETY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AUTHORITY. NOPSEMA. Guidance Note for Control measures and performance standards. N-04300-GN0271. NOPSEMA, 2020.

BNAMÉRICAS, 2023. Frota de FPSO do Brasil crescerá mais de 40%. <https://www.bnamericas.com/pt/analise/frota-de-fpsos-do-brasil-crescera-mais-de-40> Acesso em: 12 de dez. de 2023.

DHAR, R. "Performance Standards For Safety Critical Elements - Are We Doing Enough?." Paper presented at the SPE European Health, Safety and Environmental Conference in Oil and Gas Exploration and Production, Vienna, Austria, February 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.2118/140727-MS>. Acesso em: 20 fev. 2024.

EN 54-10: Fire Detection and Fire Alarm Systems, Part 10, European Committee for Standardization, Brussels (2002)

FM 3260: Radiant Energy-Sensing Fire Detectors for Automatic Fire Signaling,” Factory Mutual Global, Johnston, R.I. (2000)

Guidance on ALARP Decisions in COMAH (Control of Major Accident Hazard). HSE UK. https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/ Acesso em: 06 mar. 2024.

Health & Safety Executive, Offshore Hydrocarbon Releases Statistics and Analysis, Hid Statistics Report, 2002..HELSON, R.B. The HART Protocol – A Solution Enabling Technology. HART Communication Foundation, Austin, Texas,1996. Disponível em:

HSE. Prevention of fire and explosion, and emergency response on offshore installations. Reino Unido, 2016. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/l65.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.HYPERLINK "https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/2022/consulta-e-audiencia-publicas-28-2022" \h

IBP. Retomada do setor de O&G, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/analises/retomada-do-setor-de-oleo-e-gas-apos-a-pandemia-de-coronavirus/>. Acesso em 07 jan. 2024.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS. Asset integrity: the key to managing major incident risks. Report 415. Londres: IOGP, 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61508: functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. 7 parts. Geneva: IEC, 2010.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61511-1:2016: Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and software requirements. 2ª ed. Geneva: IEC, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13702:2015: Petroleum and natural gas industries — Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations — Requirements and guidelines. Geneva: ISO, 2015.

JACOBSON, E; SPECTOR, O. Optical Flame Detectors: Immunity to False Alarms, pp. 46–49, FS-World, 2011.

N-2782. Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais. Petrobras. Rio de Janeiro, 2015.

N-2914. Critérios de Segurança para projeto de Sistema de Detecção e Alarme de Incêndio e Gás em Instalação Terrestre. Petrobras. Rio de Janeiro, 2023.

NARANJO, E. Effectively Detect Hazardous Gas Leaks - Selecting and integrating the right technologies is crucial. Chemical Processing, July 25, 2017. Disponível em <https://www.chemicalprocessing.com/safety-security/fire-explosion-protection/article/11316038/effectively-detect-hazardous-gas-leaks-chemical-processing>. Acesso em: 20 fev. 2024.

NFPA. NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code, Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022.

REASON, J. Human error: models and management. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

SCHWARTZ, T.; FIX, H. "Performance Standards: Bridging the Gap between Safety Cases and Safety Critical Equipment." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, May 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4043/26043-MS>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SHIMAMURA, Y. FPSO/FSO: State of the Art. Journal of Marine Science and Technology, Tóquio, JP, September 2002.

SILVEIRA, E. Caracterização dos Fluxos Energéticos e Gases de Efeito Estufa em Instalações "Offshore". Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2015.