

Barreiras de Segurança para um Sistema Offshore: Definição, Seleção e Avaliação

Daniela da Camara Pacheco¹, PEA/UFRJ, PETROBRAS
Assed Naked Haddad², PEA/UFRJ

1. INTRODUÇÃO

Barreiras de segurança vêm sendo usadas para proteção de pessoas e propriedades contra inimigos e desastres naturais desde o início da humanidade. Posteriormente, durante a industrialização das tarefas, as barreiras de segurança foram implementadas para evitar os perigos provenientes de erro humano. Com a evolução do conceito, as barreiras de segurança passaram da definição adotada no modelo de acidente sequencial, onde a barreira age como um bloqueio entre a fonte de energia (ou perigo) e a vítima (ou alvo vulnerável), ao modelo epidemiológico, que é utilizado nos dias atuais. O conceito de barreiras de segurança é introduzido no modelo epidemiológico. As barreiras de segurança têm a função de evitar as consequências indesejadas, podendo, inclusive, interromper a cadeia de eventos que levam ao acidente [1, 2].

O exemplo mais conhecido deste modelo é o a analogia do “queijo suíço”, proposto por Reason. Em sistemas ideais, todas as barreiras de segurança são íntegras, intactas, não permitindo que o acidente cumpra sua trajetória através delas. Porém, nos sistemas reais, cada barreira, representadas na analogia do queijo suíço por camadas, tem suas fraquezas e lacunas [3]. A analogia do queijo suíço é apresentada na Figura 1.

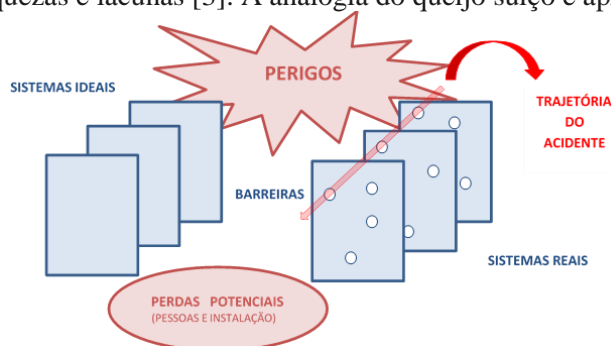


Figura 1: Sistemas ideais, sistemas reais e suas barreiras de segurança [adaptado de 3].

As barreiras ou camadas de segurança estão em constante fluxo, entrando e saindo de cena a depender das condições ambientais, de manutenção e calibração ou de resultados de erros e violações. É importante entender o mecanismo de como essas falhas nas barreiras são criadas. Elas estão diretamente relacionadas com as falhas ativas (ato inseguro ou desvio de função) e falhas latentes. A trajetória do acidente se dá a partir do alinhamento dos diversos tipos de falhas nas barreiras de segurança. Esse alinhamento pode ser considerado raro, por causa da multiplicidade das barreiras e da mobilidade das falhas [3].

1.1 PERDA DE CONTENÇÃO PRIMÁRIA E MAJOR ACCIDENTS

A perda de contenção primária é a liberação de substância tóxica e/ou inflamável para o ambiente. Ela está diretamente relacionada com os *major accidents*, que normalmente começam com uma perda de contenção, assumindo a forma de um incêndio, explosão ou liberação de substância tóxica. *Major accidents*, ou em Português, acidentes ampliados, podem resultar em sérios danos a pessoas ou ao meio ambiente, ambos podem, inclusive, atingir limites externos ao cenário do acidente [4, 5].

Os maiores acidentes industriais dos últimos anos se concentram, principalmente, na indústria de óleo e gás, nos segmentos de exploração e produção (*upstream*) e refino (*downstream*). Os setores de petroquímica, processamento e distribuição de gás correspondem a frações bem menores [6]. As fontes de *major accidents* na planta de processamento offshore estão relacionadas aos inventários de materiais inflamáveis nas linhas de escoamento do fluido de produção (*risers*), nas tubulações associada aos reservatórios e a equipamentos como vasos separadores, torres contactoras e trocadores de calor [7, 8].

1.2 SEGURANÇA DE PROCESSO

Segurança do Processo pode ser definida como um programa estruturado para gerenciar a integridade dos sistemas operacionais e dos processos que lidam com substâncias perigosas, aplicando bons princípios de projeto, engenharia e práticas operacionais. O programa trata da prevenção e controle de incidentes com potencial para liberar materiais perigosos ou energia (perda de contenção). Tais incidentes tem o potencial para causar acidentes, com efeitos tóxicos, incêndios ou explosões e, em última instância, podem resultar em ferimentos graves, danos materiais, perda de produção e impacto ambiental [9].

1 M.Sc, Eng Química; Eng de Segurança de Processo; Consultora – PETROBRAS

2 D.Sc, Engenheiro Civil; PEA/POLI/UFRJ

A Segurança de Processos propõe uma abordagem baseada no conceito de múltiplas barreiras de segurança (ou defesa em profundidade), onde as plantas industriais são projetadas com inúmeras camadas de proteção, de forma que, para a ocorrência de um acidente, várias dessas camadas devem falhar, seguindo o modelo do queijo suíço de Reason. Estas camadas podem compreender várias ações em ordem descendente de hierarquia. Um projeto inerentemente mais seguro deve ser a primeira ação a ser considerada na hierarquia, seguida de sistemas de prevenção, sistemas de mitigação e resposta a emergências. O sucesso dessas ações depende do entendimento fundamental dos processos envolvidos e dos perigos e riscos associados. Desta forma, consequências catastróficas e crônicas de perda de contenção de substâncias tóxicas, asfixiantes e /ou inflamáveis podem ser reduzidas e até mesmo evitadas [5, 10, 11]. Esta abordagem está ilustrada na Figura 2.

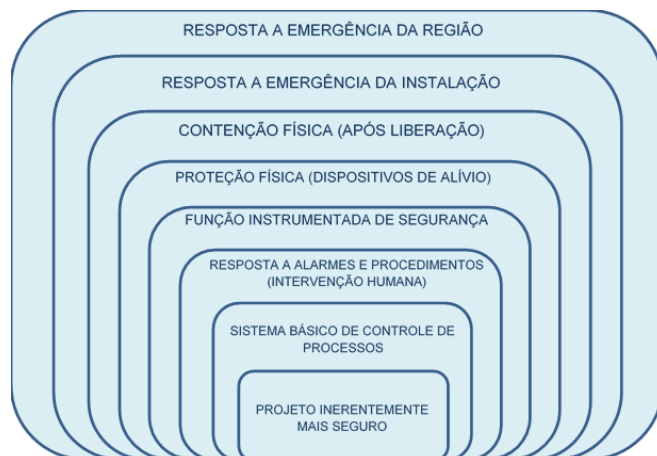


Figura 2: Camadas de proteção contra um possível acidente [9].

1.3 BOW-TIE

Como o próprio nome sugere, o diagrama de bow-tie tem a aparência de um laço, onde no centro está definido o evento topo. Ele é uma representação de todos os iniciadores, ameaças (ou causas) e todas as consequências de um cenário em particular, juntamente com as barreiras de segurança que existem para prevenir, controlar ou mitigar o evento. Tais barreiras são referenciadas como camadas de proteção [13].

O uso do diagrama de bow-tie para análise de barreiras de segurança fornece uma representação gráfica dos cenários acidentais e as correlações entre as causas e as potenciais consequências, conectando-as com o evento indesejado e os eventos básicos [15]. Existem dois tipos de bow-tie, o qualitativo e o quantitativo. Os diagramas quantitativos utilizam a técnica de árvore de falhas (FTA), juntamente com a técnica árvore de eventos (ETA) e barreiras de segurança para realizar o cálculo do risco. Diagramas de bow-tie qualitativos utilizam cenários simplificados de causa e efeito com barreiras, de forma a evidenciar e conhecer o risco. No entanto, o foco do bow-tie é nas barreiras entre as causas e o evento e o evento e as consequências [12, 14].

O Diagrama se estende para ambos os lados, à esquerda são colocadas as causas e à direita são colocadas as consequências. As causas são os motivos fundamentais que resultam em falhas, maus funcionamentos de sistemas, ou no erro humano. Tanto para as causas, quanto para as consequências, são colocadas barreiras que tem o objetivo de eliminar ou prevenir o evento topo, ao lado esquerdo, e de recuperar ou mitigar as consequências, quando colocadas do lado direito [12, 16]. A Figura 3 ilustra o digrama de bow-tie.

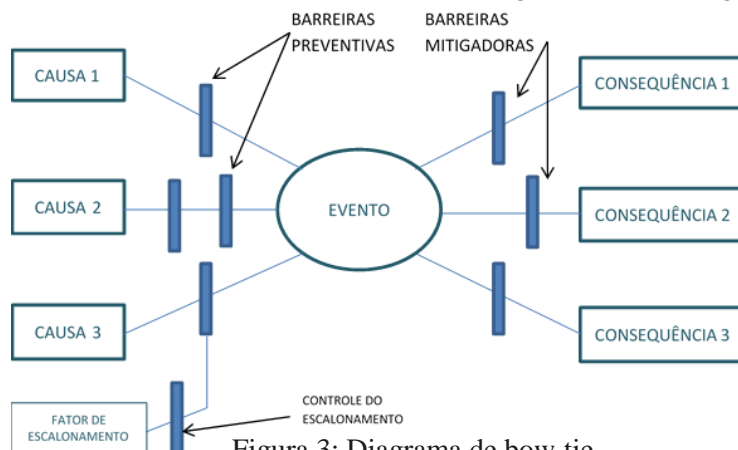


Figura 3: Diagrama de bow-tie.

1.4 BARREIRAS DE SEGURANÇA

O modelo de defesa em profundidade combina diferentes tipos de barreiras que atuam como camadas de proteção de modo a reduzir o risco de um evento acidental, sejam atuando preventivamente (diminuindo a frequência de ocorrência) ou atuando de forma mitigadora (diminuindo a severidade das consequências). Essas camadas de proteção devem ser independentes entre si, pois evita que as barreiras estejam suscetíveis a uma mesma falha. Em adição, as camadas de proteção devem ser efetivas, cumprindo seu papel de prevenção ou mitigação, conforme dimensionadas; e auditáveis, de forma a validar a sua eficácia [10, 17].

Os sistemas de barreiras podem ser classificados em várias dimensões como, por exemplo, passivas ou ativas, e físicas, técnicas, ou humanas/operacionais. Ainda, há diferenças entre a “função” barreira de segurança e o sistema de uma barreira. Um sistema determina como uma função de barreira de segurança é atendida ou realizada, e pode ser definido como um sistema que foi projetado e implementado para atender uma ou mais funções de barreiras de segurança. Em alguns casos, podem ser necessários mais de um sistema para que uma única função de barreira de segurança seja atendida. Estes sistemas compreendem elementos físicos/tecnológicos (hardware, software); ações executadas por pessoas; e/ou uma combinação destas. Barreiras ativas geralmente compreendem um sensor, um processo de tomada de decisão, e uma ação, e todos esses sistemas são necessários para atender à função da barreira [18].

As barreiras físicas se destinam a bloquear ou responder a uma perda de contenção primária e outros tipos de eventos que impactem a integridade de ativos ou a segurança de processo e mitigar qualquer potencial consequência desses eventos. Elas podem ser classificadas como ativas (por exemplo, sistemas de comandos dados por detectores), ou passivas (por exemplo, anteparas corta-fogo, sistema de prevenção de corrosão), de acordo com a necessidade de requererem alguma ação para realizarem suas funções [17].

As barreiras humanas se baseiam em ações de pessoas capazes de executar atividades destinadas a prevenir a perda de contenção e outros eventos que envolvam a integridade de ativos ou a segurança de processo e mitigar as consequência desses eventos. O modelo de barreira humana requer um conjunto desejável de comportamentos coletivos e individuais que garantam a continuidade da efetividade das barreiras, sem abreviar procedimentos, cumprindo os requisitos de gerenciamento de mudanças e mantendo o processo dentro dos parâmetros seguros de operação. Ações humanas devem ser interpretadas de formas bastante abrangentes, incluindo a observação baseadas nos cinco sentidos; comunicação; forma de pensar; atividade física; assim como o conhecimento e interpretação de regras e diretrizes e o nível de cultura de segurança [16, 19].

2. DESCRIÇÃO

2.1 DEFINIÇÃO DO SISTEMA

O sistema analisado faz parte do Sistema de Processamento de Óleo e consiste na Separação e Tratamento do Óleo. Ele é composto pelo separador de produção (SG-01), aquecedores de produção (P-01 e P-02), tratadores eletrostáticos (TO-01 e TO-02) com degaseificadores a montante de cada um (V-TO-01 e V-TO-02) e bomba (B-001) que encaminha o óleo tratado para ser resfriado (P-03) e armazenado nos tanques de carga. Os limites do sistema são os bloqueios a montante do SG-01 e em cada saída de óleo, água e gás, até o tanque de carga. O fluido processado é bifásico (óleo e gás), inflamável e pode conter gases tóxicos e/ou asfixiantes, como CO_2 e H_2S , em concentrações nas correntes tais que quando o gás é liberado para a atmosfera, as nuvens geradas podem atingir concentrações que representam risco às pessoas expostas.

SDVs segregam o sistema em trechos isoláveis em termos de inventário [20]. Os vasos têm camadas de controle e camadas de intertravamento independentes para nível e pressão. Os permutadores têm camadas de controle e camadas de intertravamento independentes para temperatura. Um sistema de parada de emergência automática é previsto. Válvulas de alívio de pressão (PSV) são previstas para os trechos isoláveis. Um sistema de depressurização e redução de inventário é previsto.

Na área onde o sistema de Separação e Tratamento do Óleo está instalado há sistema de detecção de incêndio e gás. Os detectores têm ação automática que aciona o sistema de isolamento de inventário e parada de emergência da planta, assim como o sistema de depressurização, em caso de incêndio confirmado.

Para os equipamentos que processam fluidos inflamáveis nas condições de operação, há sistema de combate a incêndio automático por dilúvio de água. Para combate a incêndio em poça de fluidos inflamáveis, há sistema manual de aplicação de espuma na bacia de contenção do equipamento. Os equipamentos de processo, assim como a área onde o sistema de Separação e Tratamento do Óleo está instalado no módulo de processo, são guarnecidos com sistema de contenção e drenagem de líquidos. A área do convés principal conta com contenção por braçolas, sistema de dilúvio de espuma e aplicação manual de espuma por canhões

monitores fixos. São previstos sistemas de detecção de incêndio e gás no convés principal, caso estudos de dispersão de gases indique a necessidade. A Figura 4 ilustra o sistema descrito.

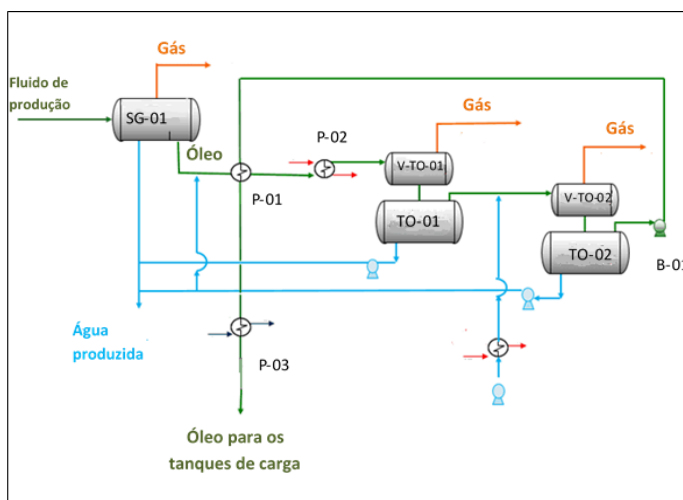


Figura 4: Desenho esquemático do processamento de óleo: separação e tratamento

O sistema proposto é dividido em quatro subsistemas, como mostra a Tabela 1. A separação foi realizada devido às diferentes possibilidades de salvaguardas para os cenários, como intertravamento de segurança específicos para os casos de sobrepressão, temperatura excessiva (P-02) e descontrole de nível nos vasos (SG-01, TO-01, TO-02). Também foi considerada a localização dos subsistemas, que ora estão no módulo, ora estão no convés principal. Foi considerada como remota a possibilidade de temperatura excessiva no P-01, pois ele troca calor com fluidos do processo. E o P-03 é um resfriador.

Tabela 1: Divisão do Sistema Proposto.

SS	LOCAL	DESCRIÇÃO
1.	Módulo de Processo	Consiste no manifold de produção (chegada do fluido de produção) e no separador de produção (SG-01), até seus limites: - SDV na corrente de saída do óleo; - LV na corrente de saída da água; - SDV na corrente de saída do gás.
2.	Módulo de Processo	Consiste nos aquecedores de produção P01 e P02 desde a SDV na corrente de saída do óleo até a LV a jusante dos permutadores (nível do separador SG-01).
3.	Módulo de Processo	Consiste nos tratadores eletrostáticos (TO-01 e T-02) e degaseificadores a montante (V-TO-01 V-TO-02), desde a LV a jusante dos permutadores, até os bloqueios nas correntes de gás e água. A corrente de óleo segue pelos permutadores P-01 e P-03, até o limite de bateria entre o módulo de processo e o convés principal.
4.	Convés Principal, sobre os tanques de carga	Encaminhamento do óleo para os tanques de carga.

2.2 ANÁLISE DOS SUBSISTEMAS E CONFECÇÃO DO DIAGRAMA DE BOW-TIE

O perigo considerado foi “fluido inflamável, tóxico e/ou asfíxiante”. Os eventos topo considerados foram dois. Para os subsistemas localizados no módulo de processo: “liberação de fluido inflamável, tóxico e/ou asfíxiante (perda de contenção) no módulo de processo”. Para o subsistema localizado no convés principal: “liberação de fluido inflamável (perda de contenção) no convés principal / sobre enchimento do tanque de carga”, pois se assume que o óleo está tratado e qualquer vapor emanado estará livre de contaminantes tóxicos e/ou asfíxiante. Do lado esquerdo estão as ameaças, com suas salvaguardas preventivas, fatores de escalonamento e de controle de escalonamento. Do lado direito, estão as consequências, com suas salvaguardas mitigadoras, fatores de escalonamento e de controle de escalonamento.

Os subsistemas foram definidos com base na localização da instalação e nas possibilidades de salvaguardas existentes, de forma a diminuir a complexidade do diagrama de bow-tie e aumentar a capacidade de análise e entendimento do mesmo. Em relação à localização de instalação, as áreas da planta em cima do módulo de processo e as áreas do convés principal do navio estão sujeitas a ameaças diferentes, assim como têm salvaguardas (barreiras) diferentes.

3. RESULTADO

As planilhas de bow-tie para o subsistema 1 a 4 estão apresentadas no Anexo 1.

4. DISCUSSÃO

4.1 Analisando as Ameaças e Salvaguardas Preventivas

Sobrepessão

Enquanto nos SS1, SS2 e SS3, as perturbações nas variáveis de processo são potenciais explicações para a sobre pressão, no SS4, no entanto, por ser um sistema que trabalha com pressões perto da atmosférica, a sobrepessão pode ser causada por um bloqueio indevido, por exemplo. As salvaguardas preventivas para esta ameaça são as camadas independentes de controles de processo e intertravamentos de segurança. Esta última aciona o sistema de parada de emergência no nível de processo.

Um dos maiores fatores de escalonamento é o by-pass ou inibição de dispositivos de controle de processo ou intertravamento de segurança, tornando sua atuação nula. Um dispositivo de segurança só é efetivo quando está em operação. O by-pass deve evitar a parada automática da planta, mas não deve inibir os alarmes associados aos dispositivos. Todos os by-passes do sistema devem ser gerenciados por pessoa autorizada na hierarquia de operação da planta, como supervisores ou coordenadores de produção, podendo chegar até o nível do gerente da unidade. Deve haver um procedimento que categorize as permissões para by-pass. Ela deve conter informações acerca do gerenciamento, como pessoal autorizado, números de by-pass concomitantes permitidos e duração máxima aceitável. Deste modo, pode-se considerar que o procedimento adequado, com o operador treinado e a supervisão atenta à tarefa são fatores de controle do escalonamento da ameaça.

A PSV é uma camada de proteção secundária. Um plano de manutenção adequado associado à existência de um dispositivo reserva, podem evitar que ela esteja fora de operação quando demandada.

Corrosão e Erosão

A corrosão pode causar falhas no material, fragilizando-o, de forma que, em graus mais severos, pode levar a uma pequena perda de contenção localizada e até ruptura de linhas e equipamentos. Para a prevenção da corrosão, é de suma importância que as variáveis de processo e o tipo de fluido que é processado no sistema sejam considerados para determinação dos materiais e espessuras de equipamentos e linhas adequados ao sistema. Qualquer alteração nessas variáveis ou no fluido processado (como a consideração ou não de contaminantes como H_2S e CO_2 , por exemplo) deve ser registrada e os impactos analisados, em um procedimento de gestão de mudanças.

Sistemas que são passíveis de sofrer erosão, como aqueles que processam fluidos com areia, devem ser dimensionados para tal. Elevadas velocidades de escoamento nas tubulações podem também levar a fragilização do material.

De forma a minimizar os erros acerca da especificação de materiais, avaliações do projeto devem ser conduzidas para identificar os problemas que por ventura podem existir. Ao longo da vida útil da planta, um plano de inspeção e manutenção pode atenuar os efeitos da corrosão e da erosão e identificar a necessidade de substituição de tubulação, acessórios e equipamentos.

Equipamento ou Materiais Defeituosos: Os equipamentos de pressão devem ser dimensionados considerando as normas construtivas e de materiais existentes. Porém, erros podem ser cometidos, tanto durante o projeto desses equipamentos, como durante sua instalação e comissionamento. Da mesma forma, procedimentos de comissionamento devem estar sempre atualizados e devem ser seguidos. Para isso, a supervisão eficiente das atividades é fundamental. E análises de projeto podem auxiliar na identificação das falhas.

Vibração / Fadiga: Vibração é uma das causas de fadiga em equipamento e tubulação. O monitoramento e controle das variáveis de vibração são de suma importância para identificar e solucionar tal problema para equipamentos rotativos. Para tubulação, a vibração deve ser monitorada e o suporte destas deve ser dimensionado para tal.

Impacto: A queda de cargas e objetos pode ser considerada como ameaça que leva à perda de contenção. Como salvaguarda, um procedimento de movimentação de carga que prevê os raios e os limites de alcance dos guindastes e as limitações de por onde essa movimentação pode passar. É boa prática que cargas não sejam movimentadas acima de tubulações contendo gás. Ao mesmo tempo, procedimentos que descrevem como as cargas devem ser tratadas e condicionadas, definem as pessoas autorizadas a realizar a movimentação, especificam das cintas que amarram as cargas, dentre outros, devem ser seguidos e a atividade acompanhada por supervisão eficaz. Barreiras físicas dimensionadas de forma adequada para proteção de alguns sistemas e áreas da plataforma contra o impacto de cargas caídas é uma solução para se evitar o dano maior.

Erro Humano

Muitas causas básicas para acidentes de processo, onde há a perda de contenção de fluidos inflamáveis, estão fundamentadas no erro ou intervenção humana. Entre 40 e 50% dos acidentes no setor de óleo e gás ocorrem por intervenção manual em sistemas normalmente pressurizados. Erros causados por pessoas podem ocorrer durante a operação normal da planta, tais como válvulas deixadas abertas após amostragem e drenagem de equipamento. Erros também podem ser introduzidos durante a manutenção, como falhas latentes (acondicionamento inadequado de equipamento), ou podem ocorrer durante a manutenção, como falha de isolamento, drenagem, depressurização e purga antes da execução das atividades propriamente ditas [18, 21].

Três acidentes têm causas básicas em comum: explosão na casa de bombas no FPSO Cidade de São Mateus; *blowout* de Macondo; e o vazamento de gás em Heimdal, Noruega. Todas elas estão diretamente ligadas com a falha humana [21]: falha em seguir práticas de trabalho; falha em atender à documentação vigente da instalação, tais como procedimentos; falha em realizar análises de risco pertinentes; falha no entendimento do risco (cultura de segurança pobre).

Sobre enchimento do tanque de carga: A operação de enchimento dos tanques de carga, dependendo da filosofia de operação, pode não ser automatizada e munida de intertravamentos de segurança. Muitas vezes, o que ocorre é um alarme de nível alto nos tanques de carga, necessitando de o operador realizar alguma manobra para cessar o problema. Caso o tanque encha acima da sua capacidade, pode haver derrame de óleo estabilizado na área do convés principal.

4.2 ANALISANDO AS CONSEQUÊNCIAS E SALVAGUARDAS MITIGADORAS

Incêndio em jato, poça e nuvem. Explosão

Quando há perda de contenção de fluido inflamável pressurizado e a ignição deste fluido é imediata, há a ocorrência de jato de fogo. Quando a perda de contenção de fluido inflamável gera uma poça no piso, limitada ou não por contenção, e ocorre a ignição dos vapores na superfície deste fluido, há a ocorrência de incêndio em poça. O incêndio em nuvem acontece quando a massa de gás contida na nuvem e seu grau de confinamento não são suficientes para causar uma explosão. Uma nuvem de gás inflamável com concentrações dentro dos limites de explosividade e em áreas confinadas ou bastante congestionadas é passível de explodir, gerando sobrepressões que danificam equipamentos, tubulação, estruturas e causam ferimentos em pessoas.

Uma salvaguarda para o jato de fogo é a parada de emergência automática, acionada pelo sistema de detecção de incêndio, com o bloqueio e depressurização do trecho trapeado e consequente redução do inventário e da pressão. Ainda, a parada de emergência desliga todos os equipamentos elétricos e eletrônicos em áreas abertas e que não necessitam estar em operação durante um cenário de emergência. Esta ação auxilia no controle de ignição. Ela também é salvaguarda para os cenários de incêndio em poça e em nuvem.

Ao mesmo tempo, o sistema de detecção de gás, levando ao bloqueio e redução do inventário vazado pode evitar que a nuvem chegue a dimensões maiores e, consequentemente, a explosões mais severas. Porém, é necessário que os detectores de gás estejam operacionais. By-passes indevidos do sistema representam um fator de escalonamento e podem comprometer a barreira detecção, conforme já discutido.

Sistemas de proteção ativa e passiva são esperados. O dilúvio com água é utilizado com taxa de aplicação para resfriamento dos equipamentos vizinhos, evitando colapso e escalonamento do cenário. Salvaguardas para o incêndio em poça: contenção e drenagem; e aplicação de espuma de baixa expansão na bacia de contenção, causando a extinção do incêndio por abafamento e resfriamento das chamas. Na área do convés principal, há aplicação de espuma através de canhões monitores e por dilúvio automático.

Proteção passiva contra incêndio é dimensionada para o tipo e duração do incêndio. Ela precisa estar íntegra para conferir o grau de proteção desejado, necessitando de inspeções e manutenção.

Liberação de gases tóxicos e/ou inflamáveis: Se o gás liberado contém altos teores de substâncias tóxicas e asfixiantes, esta nuvem pode impactar as pessoas, podendo gerar desde intoxicações leves, até o óbito. Neste caso, o sistema de detecção de gás é uma salvaguarda que evita que esta nuvem tome proporções tais que atinja áreas seguras da unidade, como o módulo de acomodações, as tomadas de ar de ambientes fechados e habitados ou cause impedimento das rotas de fuga.

Danos a pessoas (geral): Este item compila todas as injúrias que podem impactar as pessoas a bordo, decorrente do desdobramento dos cenários acidentais discutidos. Para mitigar esses efeitos, toda unidade tem seu plano de atendimento a emergências, que inclui a evacuação, abandono e resgate das pessoas. Brigadas de combate a emergências são treinadas para responder o mais rápido possível e garantir o controle da emergência e/ou a evacuação segura e ordenada da unidade. Porém, vários cenários acidentais podem comprometer o funcionamento das barreiras de segurança previstas para a evacuação, como impedimento das rotas de fuga, inoperabilidade das baleeiras, dentre outros. Como controle do escalonamento, os equipamentos de salvatagem

são dimensionados para 100% das pessoas a bordo, em cada bordo. Além disso, as baleeiras são posicionadas na popa da embarcação, local afastado dos cenários acidentais da planta de processo. Rotas de fuga são previstas, uma em cada bordo e uma terceira no meio da embarcação, todas alcançando as distâncias entre proa/popa. Caso algum cenário acidental interrompa a função de segurança fuga, um refúgio temporário na proa da embarcação, dotado de equipamentos de salvatagem e comunicação, além de balsas infláveis, podem acolher as pessoas isoladas naquela região e dar prosseguimento ao escape seguro da unidade.

Derramamento de óleo no mar: Quando a perda de contenção é localizada na área do convés principal, existe a possibilidade de derramamento de óleo no mar. O navio é provido de contenção, braçolas, e de kit SOPEP para contingenciar o derramamento de óleo no mar.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS BARREIRAS DE SEGURANÇA

As barreiras de segurança são classificadas e categorizadas de acordo com as funções de segurança a que se propõe atender, nas dimensões físicas e humanas. A Figura 5 ilustra como será feita a classificação.



Figura 5: Fluxograma para classificação de funções de barreiras e sistemas de barreiras.

As Tabelas 2 e 3 aplicam o sugerido pela Figura 5.

Tabela 2: Classificação das funções de barreiras e sistemas de barreiras dos subsistemas analisados

SS	FUNÇÃO	AMEAÇAS	SISTEMA DE BARREIRA	CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA
SALVAGUARDAS PREVENTIVAS					
1,2,3	Controle	Sobrepessão	Sistema de monitoramento e controle de pressão e nível	Física - detecção	Sistema de detecção
1,2,3	Prevenir	Sobrepessão	Intertravamento de segurança: PIT com PSHH fechando as SDVs e alarmando.	Física - ativa	Parada de Processo
2,3	Prevenir	Sobrepessão	Intertravamento de segurança: LIT no SG-01 com LSLl fechando as SDVs e alarmando	Física - ativa	Parada de Processo
2	Prevenir	Sobrepessão	Intertravamento de segurança: TIT com TSHH fechando o fornecimento de calor e alarmando.	Física - ativa	Parada de Processo
1,2,3	Controle	Sobrepessão	Sistema de alívio de pressão - PSV	Física - passiva	Contenção Primária
1,2,3, 4	Prevenir	Sobrepessão	Sistema de parada de emergência (no nível do processo)	Física - ativa	Parada de Processo
1,2,3, 4	Prevenir	Corrosão	Plano de manutenção e inspeção.	Humana	Organizacional
		Erosão			
1,2,3, 4	Evitar	Corrosão	Materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	Física - passiva	Projeto inerentemente mais seguro
		Material defeituoso ou degradado			

1,2,3,4	Prevenir	Erosão	Dimensionamento correto das linhas.	Física - passiva	Projeto inerentemente mais seguro
1,2,3,4	Prevenir	Equipamento Defeituoso	Equipamento dimensionado conforme normas e boas práticas de engenharia.	Física - passiva	Projeto inerentemente mais seguro
1,2,3,4	Prevenir	Viração / Fadiga	Monitoramento e controle de vibração	Humana	Organizacional
1,2,3,4	Prevenir	Impacto	Procedimento de movimentação de cargas	Humana	Organizacional
1,2,3,4	Evitar	Impacto	Proteção mecânica para impacto	Física - passiva	Integridade Estrutural
1,2,3,4	Prevenir	Erro Humano	Análise de risco da tarefa / preparação do trabalho / planejamento / procedimento	Humana	Organizacional
4	Controle	Sobre enchimento do tanque de carga	Monitoramento de nível nos tanques de carga	Física - detecção	Sistema de detecção

Tabela 3: Classificação das funções de barreiras e sistemas de barreiras dos subsistemas analisados

SS	FUNÇÃO	CONSEQUÊNCIAS	SISTEMA DE BARREIRA	CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA
SALVAGUARDAS MITIGADORAS					
1,2,3	Controle	Incêndio em jato, poça, nuvem	Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)	Física - ativa	Sistema de Proteção
1,2,3,4	Mitigar / Limitar	Incêndio em jato, poça, nuvem	- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Física - detecção	Sistema de detecção
1,2,3,4	Mitigar / Limitar	Incêndio em jato, poça, nuvem	Sistema de proteção passiva	Física - passiva	Sistema de Proteção
1,2,3,4	Prevenir	Incêndio em jato, poça, nuvem.	Controle de ignição por classificação de áreas	Física - passiva	Controle de fontes de ignição
		Explosão			
1,2,3	Mitigar / Limitar	Incêndio em jato, poça, nuvem	Sistema despressurização e redução de inventário	Física - ativa	Sistema de parada do processo
1,2,3,4	Mitigar	Incêndio em poça	Sistema de combate a incêndio por espuma	Física - ativa	Sistema de Proteção
1,2,3,4	Controle	Incêndio em poça	Sistema de contenção e drenagem	Física - passiva	Sistema de Proteção
1,2,3	Mitigar / Limitar	Explosão	Estrutura dimensionada para as cargas de explosão de projeto	Física - passiva	Projeto inerentemente mais seguro
1,2,3,4	Mitigar / Limitar	Explosão	- Sistema de detecção de gás - Sistema de parada de emergência por gás confirmado	Física - detecção	Sistema de detecção
		Liberação de gás tóxico / inflamável			
1,2,3,4	Mitigar / Limitar	Dano a pessoas	Plano de resposta a emergências	Física - passiva	Resposta a emergências
1,2,3,4	Mitigar / Limitar	Dano a pessoas	Sistema de escape/evacuação/resgate.	Física - ativa	Sistema de salvação
4	Mitigar / Limitar	Derramamento de óleo no mar	SOPEP (<i>Shipboard Oil Pollution Emergency Plan</i>)	Física - passiva	Sistema de Proteção

As salvaguardas que constituem os fatores de controle do escalonamento, tanto para as salvaguardas preventivas, quanto para as salvaguardas mitigadoras são do tipo humanas organizacionais.

Uma vez que as salvaguardas se repetem para os cenários e subsistemas, a inoperabilidade das salvaguardas deve ser analisada e o impacto na proteção dos diversos cenários avaliados. Barreiras de segurança nem sempre irão funcionar como planejadas ou projetadas. A performance das barreiras deve ser analisada para determinar o quão eficazes as barreiras são [18]. É recomendado estudar os seguintes atributos para definição da performance: (i) funcionalidade/efetividade; (ii) confiabilidade/disponibilidade; (iii) tempo de resposta; (iv) robustez; e (v) evento/condição demandante de atuação da barreira.

Cada sistema de barreira deverá ser reduzido e analisado no nível de seus elementos e os requerimentos de performance devem ser definidos para cada. Os requisitos devem refletir suas propriedades e podem ser qualitativos ou quantitativos, determinísticos, baseados em boas práticas, normas técnicas, e critérios de dimensionamento dos sistemas; ou probabilísticos, estabelecidos, por exemplo, por métodos de análise de riscos semi-quantitativa, como a LOPA e um critério de tolerabilidade de riscos [17].

5. CONCLUSÃO

A ferramenta *bow-tie*, atrelada à classificação das funções de barreiras e sistemas de barreiras mostrou-se bastante eficaz para avaliação dos cenários acidentais. Nesse sentido, o *bow-tie* representa a relação que existe entre perigos, ameaças, barreiras preventivas, barreiras mitigadoras, e consequências.

A classificação proposta para as barreiras de segurança do estudo de caso se mostrou bastante pertinente e auxilia na avaliação dos cenários e tomada de decisão durante o gerenciamento das barreiras de segurança. Foi identificada a necessidade de avaliação aprofundada de todos os sistemas da plataforma, assim como desenvolver uma avaliação de performance das barreiras, de forma a subsidiar a gestão de risco da unidade.

É importante enfatizar que as barreiras de segurança não substituem a adoção de um projeto inerentemente mais seguro, que é capaz de eliminar alguns possíveis cenários. Elas complementam este importante princípio da Segurança de Processo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] SKLET, S. "Safety Barriers: Definition, Classification, and Performance". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 19, n. 5, p. 494–506, (2006);
- [2] HOLLNAGEL, E. *Barriers and Accident Prevention*. Aldershot: Ashgate Publishing Limited (2004).
- [3] REASON, J. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. [s.l.] Ashgate Publishing Limited (1997).
- [4] LEES, F. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*. 4. ed. Oxford: Elsevier (2012).
- [5] VINNEM, J. E.; RØED, W. "Root Causes of Hydrocarbon Leaks on Offshore Petroleum Installations". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 36, p. 54–62 (2015).
- [6] COCO, J. C. "The 100 Largest Losses 1972–2001 - Large property damage losses in the hydrocarbon - Chemical industries". (20th ed.). Texas: Marsh's Risk Consulting Practice, n. March, (2003).
- [7] KHAN, F. I.; AMYOTTE, P. R. "Inherent Safety in Offshore Oil and Gas Activities: A Review of The Present Status and Future Directions". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 15, n. 4, p. 279–289, (2002).
- [8] SHIMAMURA, Y. "Review article FPSO/FSO : State of the Art". *Marine Science and Technology*, v. 7p.59–70 (2002).
- [9] CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. Glossary. Disponível em: <<https://www.aiche.org/ccps/resources/glossary/process-safety-glossary/loss-primary-containment-lopc>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- [10] CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. *Layer of Protection Analysis – Simplified Process Risk Assessment*. New York: Center for Chemical Process Safety, (2001).
- [11] CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. *Inherently Safer Chemical Processes - A Life Cycle Approach*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, (2009).
- [12] DE RUIJTER, A.; GULDENMUND, F. "The Bowtie Method: A review". *Safety Science*, v. 88, p. 211–218, (2015).
- [13] HSE - HEALTH & SAFETY EXECUTIVE. "Guidance on Risk Assessment for Offshore Installations". HSE Information sheet, n. 3, p. 7–31, (2006).
- [14] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC/ISO 31010. Risk Management – Risk Assessment Techniques. Genebra, (2009).
- [15] FERDOUS, R. et al. "Analyzing System Safety and Risks Under Uncertainty Using a Bow-Tie Diagram: an Innovative Approach". *Process Safety and Environmental Protection*, v. 91, n. 1–2, p. 1–18 (2013).
- [16] DE DIANOUS, V.; FIÉVEZ, C. "ARAMIS Project: A More Explicit Demonstration of Risk Control Through the Use of Bow-Tie Diagrams And The Evaluation of Safety Barrier Performance". *Journal of Hazardous Materials*, v. 130, n. 3 SPEC. ISS., p. 220–233 (2006).
- [17] JOHANSEN, I. L.; RAUSAND, M. "Barrier Management in the Offshore Oil and Gas Industry". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 34, p. 49–55 (2015).
- [18] SKLET, S. "Hydrocarbon Releases on Oil and Gas Production Platforms: Release Scenarios and Safety Barriers". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 19, n. 5, p. 481–493 (2006).
- [19] VINNEM, J. E. "Offshore Risk Assessment Principles, Modelling and Applications of QRA Studies". 2. ed. Londres.
- [20] API - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *Analysis, Design, Installation and Testing of Safety Systems for Offshore Production Facilities - API Recommended Practice 14C*, Washington, API Publishing Services, (2017).
- [21] VINNEM, J. E. "FPSO Cidade de São Mateus Gas Explosion – Lessons Learned". *Safety Science*, v. 101, n. May 2017, p. 295–304 (2018).

7. ANEXOS

ANEXO 1: Diagrama de bow-tie desenvolvido para o subsistema 1

AMEAÇAS	SALVAGUARDAS PREVENTIVAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO	EVENTO TOPO: liberação de fluido inflamável, tóxico e/ou asfixiante (perda de contenção) no módulo de processo	CONSEQUÊNCIAS	SALVAGUARDAS MITIGADORAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO	
Sobrepresão	Sistema de monitoramento e controle de pressão e nível	Sistema by passado de forma inadequada ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.		Incêndio em jato, resultando em impacto a pessoas e instalação	Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)			
	PIT com PSHH fechando as SDVs e alarmando	Sistema by passado de forma inadequada ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
	Sistema de alívio e pressão - PSV	PSV fora de operação	- PSV reserva - Plano de manutenção			Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva	
	Sistema de parada de emergência (no nível do processo)					Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
Corrosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			Sistema despressurização e redução de inventário			
	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material	revisão de projeto (Hazop)		Incêndio em poça, resultando em impacto a pessoas e instalação	Sistema de combate a incêndio por espuma			
		alterações equivocadas no projeto	gestão de mudanças			Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)			
Erosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
	Dimensionamento correto das linhas	projeto inadequado	- revisão de projeto (Hazop) - revisão dos procedimentos de cálculo			Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva	
Equipamento defeituoso	equipamento dimensionado conforme normas e boas práticas de engenharia	projeto inadequado	revisão de projeto (Hazop)			Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
		Comissionamento inadequado	revisão nos procedimentos		Sistema de contenção e drenagem				
Material defeituoso ou degradado	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material	revisão de projeto (Hazop)		Sistema despressurização e redução de inventário				
Vibração / fadiga		alterações equivocadas no projeto	gestão de mudanças		Incêndio em nuvem, resultando em impacto a pessoas e instalação	Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)			
	monitoramento e controle de vibração		- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado			Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.		
Impacto	procedimento de movimentação de cargas	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva	
	proteção mecânica para impacto					Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
Erro humano	Análise de risco da tarefa / preparação do trabalho / planejamento / procedimento	Procedimento inadequado	revisão periódica dos procedimentos			Sistema despressurização e redução de inventário			
		fiscalização inadequada	- Auditorias comportamentais - supervisão eficiente		Explosão resultando em impacto a pessoas e instalação	Estrutura dimensionada para as cargas de explosão de projeto			
		competência / treinamento insuficientes	plano de desenvolvimento de recursos humanos / garantia de treinamento			Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
					Liberação de gás tóxico / inflamável	- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por gás confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
					Danos a pessoas (no geral)	Plano de resposta a emergências			
						sistema de escape, evacuação e resgate.	impedimento das rotas de fuga e meios de refúgio e escape pelos cenários acidentais	- salvatagem dimensionada por regra para 100% POB em cada bordo. - sistemas de salvatagem principais (baleeiras) posicionadas em áreas mais seguras da plataforma, na popa. - Balsas infláveis como meio de escape secundário. - rotas de fuga redundantes; - refúgio temporário localizada na área mais segura da paltforma (acomodações), na popa. - refúgio temporário e salvatagem (balsas) redundantes, localizados na proa da embarcação.	

ANEXO 2: Diagrama de bow-tie desenvolvido para o subsistema 2

AMEAÇAS	SALVAGUARDAS PREVENTIVAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO	EVENTO TOPO: liberação de fluido inflamável, tóxico e/ou asfixiante (perda de contenção) no módulo de processo	CONSEQUÊNCIAS	SALVAGUARDAS MITIGADORAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO	
Sobrepresão devido à: - Gas blow by devido a perda de nível no SG-01. - Rompimento de tubo no permutador. - Aquecimento excessivo no permutador.	Sistema de monitoramento e controle de pressão e nível (no SG-01)	Sistema by passado de forma inadequada ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.		Incêndio em jato, resultando em impacto a pessoas e instalação		Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)		
	PIT com PSHH fechando as SDVs e alarmando	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.				- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.
	LIT no SG-01 com LSLL fechando as SDVs e alarmando	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.				Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva
	TIT com TSHH fechando o fornecimento de calor e alarmando.	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.				Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - Certificação
	Sistema de alívio e pressão - PSV	PSV fora de operação	- PSV reserva - Plano de manutenção				Sistema despressurização e redução de inventário		
	Sistema de parada de emergência (no nível do processo)								
Corrosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.		Incêndio em poça, resultando em impacto a pessoas e instalação		Sistema de combate a incêndio por espuma		
	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material	revisão de projeto (Hazop)				Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)		
		alterações equivocadas no projeto	gestão de mudanças				- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.
Erosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.				Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva
	Dimensionamento correto das linhas	projeto inadequado	- revisão de projeto (Hazop) - revisão dos procedimentos de cálculo				Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - Certificação
							Sistema despressurização e redução de inventário		
Equipamento defeituoso	equipamento dimensionado conforme normas e boas práticas de engenharia	projeto inadequado	revisão de projeto (Hazop)			Sistema de contenção e drenagem			
		Comissionamento inadequado	revisão nos procedimentos						
Material defeituoso ou degradado	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material	revisão de projeto (Hazop)		Incêndio em nuvem, resultando em impacto a pessoas e instalação		Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)		
		alterações equivocadas no projeto	gestão de mudanças				- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.
			Sistema de proteção passiva			Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva		
			Sistema despressurização e redução de inventário						
			Controle de ignição por classificação de áreas			equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega; - Certificação.		
Vibração / fadiga	monitoramento e controle de vibração								
Impacto	procedimento de movimentação de cargas	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.				Estrutura dimensionada para as cargas de explosão de projeto		
	proteção mecânica para impacto								
Erro humano	Análise de risco da tarefa / preparação do trabalho / planejamento / procedimento	Procedimento inadequado	revisão periódica dos procedimentos		Explosão resultando em impacto a pessoas e instalação		Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega; - Certificação.
		fiscalização inadequada	- Auditorias comportamentais - supervisão eficiente				- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por gás confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.
		competência / treinamento insuficientes	plano de desenvolvimento de recursos humanos / garantia de treinamento				- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por gás confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.
					Liberação de gás tóxico / inflamável				
					Danos a pessoas (no geral)				
						Plano de resposta a emergências			
						sistema de escape, evacuação e resgate.	impedimento das rotas de fuga e meios de refúgio e escape pelos cenários acidentais	- salvatagem dimensionada por regra para 100% POB em cada bordo. - sistemas de salvatagem principais (baleeiras) posicionadas em áreas mais seguras da plataforma, na popa. - Balsas infláveis como meio de escape secundário. - rotas de fuga redundantes; - refúgio temporário localizada na área mais segura da paltaforma (acomodações), na popa. - refúgio temporário e salvatagem (balsas) redundantes, localizados na proa da embarcação.	

ANEXO 3: Diagrama de bow-tie desenvolvido para o subsistema 3

AMEAÇAS	SALVAGUARDAS PREVENTIVAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO	EVENTO TOPO: liberação de fluido inflamável, tóxico e/ou asfixiante (perda de contenção) no módulo de processo	CONSEQUÊNCIAS	SALVAGUARDAS MITIGADORAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO	
Sobrepresão devido à: - Gas blow by devido a perda de nível no SG-01.	Sistema de monitoramento e controle de pressão e nível (no SG-01)	Sistema by passado de forma inadequada ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.		Incêndio em jato, resultando em impacto a pessoas e instalação	Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)			
	PIT com PSHH fechando as SDVs e alarmando	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
	LIT no SG-01 com LSLI fechando as SDVs e alarmando	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva	
	Sistema de alívio e pressão - PSV	PSV fora de operação	- PSV reserva - Plano de manutenção			Sistema despressurização e redução de inventário			
	Sistema de parada de emergência (no nível do processo)					Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
Corrosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.		Incêndio em poça, resultando em impacto a pessoas e instalação	Sistema de combate a incêndio por espuma			
	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material	revisão de projeto (Hazop)			Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)			
		alterações equivocadas no projeto	gestão de mudanças			- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
Erosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva	
	Dimensionamento correto das linhas	projeto inadequado	- revisão de projeto (Hazop) - revisão dos procedimentos de cálculo			Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
Equipamento defeituoso	equipamento dimensionado conforme normas e boas práticas de engenharia	projeto inadequado	revisão de projeto (Hazop)		Sistema despressurização e redução de inventário				
		Comissionamento inadequado	revisão nos procedimentos		Sistema de contenção e drenagem				
Material defeituoso ou degradado	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material	revisão de projeto (Hazop)		Incêndio em nuvem, resultando em impacto a pessoas e instalação	Sistema de combate a incêndio por dilúvio com água (para resfriamento do equipamentos vizinhos)			
		alterações equivocadas no projeto	gestão de mudanças			- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
Vibração / fadiga	monitoramento e controle de vibração					Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva	
Impacto	procedimento de movimentação de cargas	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			Sistema despressurização e redução de inventário			
	proteção mecânica para impacto					Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
Erro humano	Análise de risco da tarefa / preparação do trabalho / planejamento / procedimento	Procedimento inadequado	revisão periódica dos procedimentos		Explosão resultando em impacto a pessoas e instalação	Estrutura dimensionada para as cargas de explosão de projeto			
		fiscalização inadequada	- Auditorias comportamentais - supervisão eficiente			Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação	
		competência / treinamento insuficientes	plano de desenvolvimento de recursos humanos / garantia de treinamento			- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por gás confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
					Liberação de gás tóxico / inflamável	- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por gás confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.	
					Danos a pessoas (no geral)	Plano de resposta a emergências sistema de escape, evacuação e resgate.	impedimento das rotas de fuga e meios de refúgio e escape pelos cenários acidentais	- salvatagem dimensionada por regra para 100% POB em cada bordo. - sistemas de salvatagem principais (baleeiras) posicionadas em áreas mais seguras da plataforma, na popa. - Balsas infláveis como meio de escape secundário. - rotas de fuga redundantes; - refúgio temporário localizada na área mais segura da paltaforma (acomodações), na popa. - refúgio temporário e salvatagem (balsas) redundantes, localizados na proa da embarcação.	

ANEXO 4: Diagrama de bow-tie desenvolvido para o subsistema 4

AMEAÇAS	SALVAGUARDAS PREVENTIVAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO	EVENTO TOPO: liberação de fluido inflamável, tóxico e/ou asfíxiante (perda de contenção) no convés principal / sobre enchimento do tanque de carga	CONSEQUÊNCIAS	SALVAGUARDAS MITIGADORAS	FATOR DE ESCALONAMENTO	CONTROLE DO ESCALONAMENTO
Sobre enchimento do tanque de carga	Sistema de parada de emergência (no nível do processo)				Derramamento de óleo no mar	SOPEP (Shipboard Oil Pollution Emergency Plan)		
	Monitoramento de nível nos tanques de carga					Sistema de contenção e drenagem		
Sobrepresão na área do convés principal	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	projeto inadequado	- revisão de projeto (Hazop) - revisão dos procedimentos de cálculo		Incêndio em poça, resultando em impacto a pessoas e instalação	Sistema de combate a incêndio por espuma		
Corrosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			- Sistema de detecção de fogo e gás (se pertinente) - Sistema de parada de emergência por incêndio confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.
	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material	revisão de projeto (Hazop)			Sistema de proteção passiva	Proteção passiva deteriorada	plano de inspeção e manutenção de proteção passiva
		alterações equivocadas no projeto	gestão de mudanças			Controle de ignição por classificação de áreas	equipamento fornecido não conforme	- Acompanhamento de fabricação e inspeção na entrega - certificação
Erosão	plano de manutenção e inspeção	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.			Sistema de contenção e drenagem		
	Dimensionamento correto das linhas	projeto inadequado	- revisão de projeto (Hazop) - revisão dos procedimentos de cálculo		Liberação de gás inflamável (se pertinente)	- Sistema de detecção de fogo e gás - Sistema de parada de emergência por gás confirmado	Sistema by passado ou fora de operação	- Procedimento para realização de by pass; - operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.
Equipamento defeituoso	equipamento dimensionado conforme normas e boas práticas de engenharia	projeto inadequado	revisão de projeto (Hazop)		Danos a pessoas (no geral)	Plano de resposta a emergências		
		Comissionamento inadequado	revisão nos procedimentos			Sistema de escape, evacuação e resgate.	impedimento das rotas de fuga e meios de refúgio e escape pelos cenários acidentais	- salvatagem dimensionada por regra para 100% POB em cada bordo. - sistemas de salvatagem principais (baleeiras) posicionadas em áreas mais seguras da plataforma, na popa. - Balsas infláveis como meio de escape secundário. - rotas de fuga redundantes; - refúgio temporário localizada na área mais segura da paltaforma (acomodações), na popa. - refúgio temporário e salvatagem (balsas) redundantes, localizados na proa da embarcação.
Material defeituoso ou degradado	materiais especificados para o serviço, de acordo com as variáveis do processo.	especificação incorreta do material alterações equivocadas no projeto	revisão de projeto (Hazop) gestão de mudanças					
Vibração / fadiga	monitoramento e controle de vibração							
Impacto	procedimento de movimentação de cargas	falha ao seguir o procedimento	- operador treinado no procedimento; - supervisão eficiente.					
	proteção mecânica para impacto							
Erro humano	Análise de risco da tarefa / preparação do trabalho / planejamento / procedimento	Procedimento inadequado	revisão periódica dos procedimentos					
		fiscalização inadequada	- Auditorias comportamentais - supervisão eficiente					
		competência / treinamento insuficientes	plano de desenvolvimento de recursos humanos / garantia de treinamento					