

Pós-Graduação

Segurança de Processos



FATORES HUMANOS NO GERENCIAMENTO DE BARREIRAS DE SEGURANÇA DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

Bárbara de F. S. Pinheiro, Claudio C. Henriques, Diana F. Picoli, Ian A. Costa, Leony dos S. Robadey

RESUMO

A produção do petróleo envolve perigos com potencial de acidentes catastróficos que podem ser evitados com a implementação de controles de risco. Para que cumpram sua função, estes controles devem ser identificados, plenamente implementados, mantidos íntegros e principalmente confiáveis. Ainda que as plantas de processo contem com sistemas e equipamentos projetados para atuar na prevenção das perdas de controle e na mitigação dos efeitos destas perdas, não há abordagem possível que possa desconsiderar os fatores humanos no gerenciamento destes controles. Pessoas são parte intrínseca nos mecanismos de controle onde ora desempenham diretamente as funções das barreiras de proteção, ora são responsáveis por garantir a disponibilidade e integridade delas. Nota-se então que o desempenho humano é determinante no sucesso do gerenciamento dos controles. Espera-se que o desempenho humano seja confiável quando demandado em sua função, mas também é necessário que os controles sejam suficientemente robustos quando sujeitos a variabilidade do desempenho humano. Cada vez mais, a indústria tem se preocupado com os fatores que influenciam a confiabilidade humana na gestão de riscos. Este trabalho pretende contribuir com o aprimoramento da abordagem e entendimento do papel e influência do ser humano em um modelo típico aplicado nas operações de uma unidade de produção de óleo do tipo FPSO (Floating, Production, Storage, Offloading). Apresentar as melhores práticas de gestão de barreiras conforme descritas na literatura, seguido por uma análise das práticas comuns aplicadas em um sistema de gestão de segurança adotado em uma FPSO, com o intuito de identificar preocupações e explorar oportunidades para aprimorar a administração dos elementos do sistema de barreiras que são influenciados ou podem ser afetados pelo desempenho humano.

Palavras-chave: barreiras, bowtie, FPSO, gestão de barreiras, desempenho humano

ABSTRACT

Oil production involves hazards with potential for catastrophic accidents that can be avoided by implementing risk controls. To fulfill their function, these controls must be identified, fully implemented, maintained intact and, above all, reliable. Even though process plants have systems and equipment designed to prevent control losses and mitigate the effects of these losses, there is no possible approach that can disregard human factors in the management of these controls. People are an intrinsic part of the control mechanisms where they either directly perform the functions of protective barriers or are responsible for ensuring their availability and integrity. It can be seen then that human performance is decisive in the success of control management. Human performance is expected to be reliable when required in its role, but it is also necessary that controls are sufficiently robust when subject to variability in human performance. Increasingly, the industry has become concerned about the factors that influence human reliability in risk management. This work aims to contribute to improving the approach and understanding of the role and influence of the human being in a typical model applied in the operations of an FPSO (Floating, Production, Storage, Offloading) oil production unit. To present best barrier management practices as described in the literature, followed by an analysis of common practices applied in a safety management system adopted on an FPSO, with the aim of identifying concerns and exploring opportunities to improve the administration of barriers system elements that are influenced or can be affected by human performance.

Keywords: *barriers, bowtie, FPSO, barrier management, human performance*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Objetivo Geral.....	8
1.2. Objetivos Específicos.....	8
1.3. Metodologia.....	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1. O Conceito de Fatores Humanos.....	9
2.2. O Gerenciamento de Barreiras	10
2.2.1. Controles, Barreiras e Salvaguardas	13
2.2.2. Classificação e características dos controles.....	15
2.3. Sistemas sociotécnicos e a gestão de barreiras	18
2.4. O papel do ser humano na gestão de barreiras	22
2.5. A importância do contexto na confiabilidade dos controles	23
2.6. Estratégias de gestão de controles de proteção.....	24
2.6.1. A LOPA.....	24
2.6.2. O Bowtie.....	26
3. PRÁTICAS ADOTADAS NA GESTÃO DE BARREIRAS DE UMA FPSO	27
3.1. Contextualização.....	27
3.2. As Boas Práticas em Fatores Humanos na Produção de Petróleo.....	28
3.2.1. Engenharia de Fatores Humanos	29
3.2.2. Estabelecimento de efetivo / tripulação mínima	32
3.2.3. Análise de Confiabilidade Humana	32
3.2.4. Investigação de Acidentes	36
4. ABORDAGEM TÍPICA EM UMA UNIDADE FPSO	37
5. PRINCIPAIS PREOCUPAÇÕES NA APLICAÇÃO DOS FATORES HUMANOS NO GERENCIAMENTO DE BARREIRAS	50
6. RESUMO DA APLICAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS APRESENTADAS.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo do Queijo Suíço	10
Figura 2 - Modelo conceitual de gerenciamento de barreiras	13
Figura 3 - Resumo das relações entre os componentes de um sistema de barreiras	15
Figura 4 - Camadas de proteção contra um possível acidente	25
Figura 5 – Modelo Bowtie	26
Figura 6 - Campo de aplicação da APOA e Petro-HRA	34
Figura 7 - Ciclo de vida da gestão dos MAH's	38
Figura 8 – Gestão Técnica de Riscos de Projeto.....	40
Figura 9 - Matriz de Prioridades de SCT	47
Figura 10 - Exemplos de erros humanos modelados como ameaças Bowtie	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consequências da Falha Humana	46
Tabela 2 - Nível de Envolvimento Humano	46
Tabela 3 - Aplicação das Práticas mencionadas	57

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, avanços significativos na Segurança de Processos têm contribuído para um melhor controle dos perigos presentes nas plantas industriais. Isto se deve especialmente à aplicação de abordagens técnicas de gestão de riscos e ao uso de ferramentas de proteção tecnologicamente sofisticadas. Ainda assim, acidentes de processos continuam a ocorrer (CIEHF, 2016).

O ser humano sempre esteve presente nos processos industriais e, apesar disso, suas funções, tanto na prevenção quanto na causalidade dos incidentes, ainda são menos compreendidas e abordadas do que as mesmas funções atribuídas à parcela tecnológica destes sistemas sociotécnicos (CIEHF, 2016).

Parte da literatura disponível costumeiramente aborda de forma robusta os aspectos de engenharia, mas nem sempre apresenta sustentação para incorporar e lidar com a natureza do desempenho humano e dos fatores humanos que contribuem para a perda de confiabilidade das barreiras. Consequentemente, a forma como as atividades vem sendo desenvolvidas nem sempre tem apresentado consistência com as boas práticas em fatores humanos ou mesmo facilitado a visualização explícita destes fatores em seu sistema de gestão de segurança, especialmente no gerenciamento de barreiras. Este argumento pode ser sustentado, por exemplo, por resultados de investigações de acidentes, onde, muitas vezes, a falha humana foi apresentada como contribuinte dos eventos e tratada como algo inevitável, considerando a imprevisibilidade humana, o que parece inaceitável. (CIEHF, 2016).

A regulamentação brasileira do setor de óleo e gás, tem ampliado sua preocupação com os fatores que influenciam os padrões de confiabilidade humana na gestão de riscos. A ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis publicou recentemente a Nota Técnica 10/2023 /SSO-CSO/SSO/ANP-RJ com o objetivo de servir de guia para a interpretação da prática de gestão associada a fatores humanos e, ao mesmo tempo, disseminar as melhores práticas a serem aplicadas aos sistemas de gestão de segurança operacional das plataformas de produção e exploração *offshore*, o que demonstra que parece fundamental que os sistemas de gestão de segurança reconheçam a necessidade de avanço na busca de que o desempenho humano seja confiável quando demandado e que controles implementados sejam suficientemente robustos para manter sua confiabilidade quando sujeitos a variabilidade inerente do desempenho humano.

1.1. Objetivo Geral

A intenção do trabalho é contribuir com o aprimoramento da abordagem, e entendimento do papel e influência do desempenho humano em um modelo típico de barreiras aplicado no projeto e operação de uma unidade de produção de óleo e gás do tipo FPSO (*Floating, Production, Storage, Offloading*).

1.2. Objetivos Específicos

Através da apresentação de boas práticas de gerenciamento de barreiras disponíveis na literatura e da posterior análise das práticas usuais e atuais aplicadas a um sistema de gestão de segurança adotado em uma FPSO e que usa o modelo *Bowtie* como uma de suas ferramentas de gerenciamento de barreiras, o trabalho pretende:

- Identificar áreas do sistema de gestão onde haja oportunidade de incremento na consideração do desempenho humano necessário para a efetividade do gerenciamento de barreiras.
- Identificar preocupações e propor melhorias no gerenciamento dos elementos que dependam do desempenho humano, ou que possam ser degradados por ele, ao longo do ciclo de vida da unidade.

1.3. Metodologia

Visitar as boas práticas em fatores humanos aplicáveis ao gerenciamento de barreiras disponíveis na literatura e analisar um sistema de gestão de segurança típico aplicado a unidades FPSO quanto a consistência e dimensão da aplicação destas práticas. Propor melhorias em busca de incremento na eficácia do sistema quando identificadas lacunas, preocupações ou oportunidades que possam aprimorar a forma como os fatores humanos e especialmente o desempenho humano são abordados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O Conceito de Fatores Humanos

O termo “Fatores Humanos” tem implicações ergonômicas e organizacionais. Trata-se de uma disciplina preocupada em projetar equipamentos, operações e ambientes de trabalho de maneira que correspondam às capacidades, limitações e necessidades humanas (CCPS, 2018).

A IOGP (*International Association of Oil and Gas Producers*) define Fatores Humanos de uma forma que incorpora os aspectos organizacionais (IOGP, 2016):

“Fatores Humanos é o termo usado para descrever a interação dos indivíduos uns com os outros, com instalações e equipamentos, e com sistemas de gestão. Essa interação é influenciada tanto pelo ambiente de trabalho quanto pela cultura das pessoas envolvidas”.

A HSE (*Health and Safety Executive*) define o termo como (HSE, 2019):

“Fatores humanos referem-se a fatores ambientais, organizacionais e de trabalho, e a características humanas e individuais que influenciam o comportamento no trabalho de uma forma que possa afetar a saúde e a segurança”.

As duas definições mencionam três importantes aspectos a serem considerados:

- Trabalho – A execução do trabalho deve ser adequada às limitações e aos pontos fortes do desempenho humano. Não somente os aspectos físicos antropométricos, mas também os aspectos mentais devem ser considerados para garantir uma contribuição eficaz do ser humano nos resultados das tarefas executadas. Incompatibilidades entre os requisitos dos trabalhos e a capacidade das pessoas proporcionam potencial de erro humano.
- Indivíduo - As pessoas carregam competências, hábitos, personalidade e atitudes capazes de influenciar o desempenho das tarefas de maneira significativa, tanto de forma positiva quanto negativa.
- Organização - Os fatores organizacionais têm grande influência no comportamento individual e de grupo e precisam também ser considerados na concepção do trabalho. A cultura organizacional deve promover o envolvimento e o comprometimento dos colaboradores, enfatizando que desvios dos padrões de saúde e segurança estabelecidos não é aceitável (HSE, 1999).

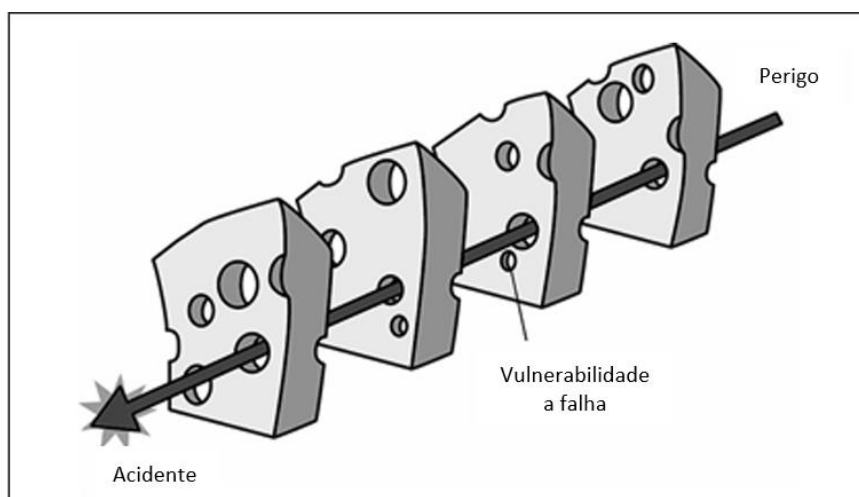
2.2. O Gerenciamento de Barreiras

Gerenciamento de Barreiras é a aplicação de técnicas e conhecimentos estruturados na obtenção de garantia de que os controles de riscos estejam não somente identificados como implementados, íntegros e principalmente sejam confiáveis em sua função de evitar acidentes ao longo de todo o ciclo de vida da instalação industrial (PSA, 2013).

As bases da gestão de barreiras podem ser identificadas no amplamente difundido “Modelo do Queijo Suíço” (REASON, 1990).

Eventos indesejados são evitados através da implementação de camadas de proteção entre os perigos ou ameaças e as consequências indesejadas. Estas camadas não são totalmente efetivas. Elas são representadas no modelo de Reason como fatias de queijo suíço, onde os furos representam vulnerabilidades ou fraquezas na sua capacidade de proteção e são chamados de fatores de degradação conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Modelo do Queijo Suíço



FONTE: adaptado de *Bow Ties in risk Management* (2018, p.5)

As vulnerabilidades ou furos das camadas de proteção sofrem mudanças de dimensionamento e posicionamento ao longo do tempo. Acidentes acontecem quando vulnerabilidades ou furos nas diferentes fatias do queijo se alinham, permitindo que o potencial do perigo, ao ser liberado, atinja as consequências indesejadas.

De acordo com Reason, as vulnerabilidades se apresentam em quatro diferentes níveis:

- 1) Influências organizacionais - incluem decisões inadequadas de gerenciamento, alocação de recursos, cultura e políticas.

- 2) Supervisão insegura – falha para prover orientação ou treinamento, operações planejadas de forma inadequada, falhas na correção de problemas conhecidos, violações de supervisão.
- 3) Pré-condições para atos inseguros – fatores que contribuem para criar um ambiente onde atos inseguros são mais propensos a ocorrer. Incluem fatores associados ao ambiente (iluminação ou ventilação inadequada, por exemplo), condições do operador (fadiga, estresse, entre outros) e pessoais como treinamento inadequado, fadiga, estresse ou comunicação deficiente.

Atos inseguros - qualquer ato que se afaste de uma forma segura geralmente reconhecida ou de um método específico de realizar um trabalho. Incluem os erros e violações (REASON, 1990).

As vulnerabilidades nas camadas podem ser latentes e ativas.

Vulnerabilidades são chamadas de ativas quando estão relacionadas com atos inseguros e são assim chamadas pelo fato de ocorrerem durante a fase de execução ativa do trabalho, ou seja, muito próximo em termos de tempo e localização do evento prejudicial. Estão ativamente envolvidas ou diretamente ligadas ao mau resultado. Outra razão para o nome é o fato de elas se modificarem ativamente durante a execução do trabalho. Os furos abrem e fecham constantemente ao longo da execução do trabalho à medida que, por exemplo, pessoas cometam erros e estes erros sejam detectados e corrigidos antes que algo indesejável aconteça. Este processo de detecção e correção de erros ocorre constantemente e, se fosse diferente, o número de acidentes seria provavelmente, incalculável (CIEHF, 2016).

Falhas ou vulnerabilidades ativas têm um impacto direto e geralmente de curta duração na integridade das defesas. Podem assumir as seguintes formas:

- Deslizes (falha de ação) - ocorrem quando não se atinge o objetivo na ação pretendida, e são provocados, geralmente por falta de atenção durante a realização de uma determinada tarefa.
- Lapsos (falha de memória) - ocorrem quando existe falha de memória da ação ou dos componentes para realizá-la.
- Erros baseados em regra - falhas no julgamento e/ou decisão na seleção de um objetivo ou na maneira que o alcança, mesmo que as ações do processo selecionado tenham sido executadas da maneira correta, ou seja, é a escolha da maneira errada para solucionar um problema.

- Erros baseados em conhecimento – ações não atingem o resultado esperado por falta de conhecimento, especialmente por falta de familiarização com a tarefa, o que não permite, por exemplo, identificar os perigos associados ao processo ou uma perturbação ou situação anormal.
- Violações - falhas intencionais do não cumprimento da regra, procedimento ou regulamento conhecido, compreendido e aceito (REASON, 2000).

As vulnerabilidades latentes têm características diferentes. Elas ocorrem em níveis mais elevados do sistema, quando comparadas aos atos inseguros. Estão relacionadas a falhas nos níveis de influência organizacional, supervisão insegura ou pré-condições para atos inseguros. São chamadas de latentes porque, quando ocorrem ou são abertas, muitas vezes passam despercebidas. Elas podem permanecer adormecidas no sistema por um longo período antes de serem reconhecidas. Diferente das falhas ativas, elas não se fecham ou desaparecem rapidamente. Muitas vezes não são sequer detectadas até que um evento indesejado ocorra (WIEGMANN, 2020).

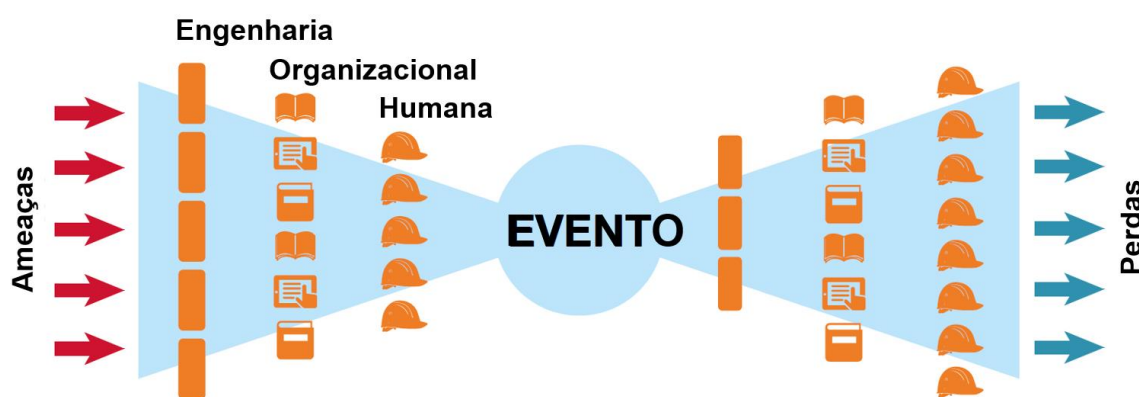
De forma geral, condições latentes surgem de decisões tomadas durante o projeto, construção, elaboração de procedimentos e gerenciamento de alto nível, ou seja, fora da execução ativa do trabalho. Afetam negativamente os sistemas ao criar condições que provocam erros no local de trabalho (por exemplo, pressão de tempo, fadiga, falta de pessoal ou pessoal inadequado, equipamento inadequado) ou ao criar fraquezas duradouras nas defesas (alarmes e indicadores não confiáveis, procedimentos impraticáveis, deficiências de projeto e construção).

James Reason (2000) utiliza a seguinte analogia para exemplificar as falhas ativas e latentes:

“Para usar outra analogia: as falhas ativas são como os mosquitos. Eles podem ser golpeados um por um, mas continuam vindo. Os melhores remédios são criar defesas mais eficazes e drenar os pântanos onde se reproduzem. Os pântanos, neste caso, são as condições latentes sempre presentes”.

Ainda que o “Modelo do Queijo Suíço” forneça as bases para a gestão de segurança de forma bastante didática, variações foram desenvolvidas e aprimoradas na intenção de atingir abordagens mais práticas de gerenciamento. O modelo conceitual apresentado na Figura 2 ilustra de forma mais elaborada os conceitos na aplicação dos controles e se aproxima bastante do modelo de *Bowtie*, que será detalhado mais a frente.

Figura 2 - Modelo conceitual de gerenciamento de barreiras



FONTE: adaptado de *Human Factors in Barrier Management* (2016, p.15)

No centro do diagrama temos a representação do evento topo, circunstância em que o controle do processo é perdido e o potencial de dano associado ao perigo é liberado.

O lado mais à esquerda representa as ameaças que podem levar a ocorrência do evento topo, enquanto o lado mais à direita representa o ponto em que o desenvolvimento do evento topo leva a uma perda, que pode ser, por exemplo, uma lesão ou fatalidade.

Ambos os lados apresentam controles implementados para conter o avanço das ameaças. À esquerda, estão localizados os controles que atuam na redução da parcela de probabilidade do risco, ou seja, quando eficazes, impedem a ocorrência do evento topo. À direita, é possível localizar os controles que atuam na mitigação do evento topo. Em alguns casos, eles podem quebrar a sequência desencadeada pela ocorrência do evento topo antes que a consequência indesejada ocorra. Porém, nem sempre isso ocorre. Em outros casos, eles não evitam que as consequências indesejadas ocorram, mas são capazes de reduzir a escala ou magnitude delas. (CCPS, 2018).

Os controles podem ser de três tipos com base na seguinte hierarquia: engenharia, organizacional e humano. Vale ressaltar que a eficácia de qualquer um destes controles pode ser afetada pelos fatores humanos (CIEHF, 2016).

2.2.1. Controles, Barreiras e Salvaguardas

Comumente, os termos “controles”, “barreiras” e “salvaguardas” são utilizados e tratados como sinônimos quando o assunto é gestão de riscos. O documento “*Human Factors in Barrier Management*” (CIEHF, 2016) propõe um esclarecimento e alinhamento na terminologia adotada pelo mercado, de forma a tornar claras as diferenças conceituais entre os termos de forma a aprimorar a abordagem no gerenciamento de barreiras. A intenção é estabelecer clara visibilidade da capacidade e especialmente da confiabilidade

que pode ser atribuída a diferentes controles aplicados no gerenciamento dos riscos de processos. Esta distinção se torna relevante na medida em que, muitas vezes, alguns controles implementados são erroneamente tratados como barreiras, mesmo não atendendo a todos os critérios para prover a robustez necessária para lidar com as ameaças identificadas. Parece importante que, ao gerenciar barreiras, haja clareza na consciência do que cada um destes elementos é capaz de prover em termos de segurança para que, com base em suas características e capacidades, possam ser tratados nos níveis adequados de confiança, relevância, criticidade, provisão de recursos e esforços.

O documento propõe que controles são quaisquer medidas aplicadas na prevenção de acidentes. Controles podem ser barreiras ou salvaguardas. Apesar das diferenças entre os termos, é importante considerar que um modelo de barreira é uma representação do conjunto total de controles – tanto barreiras como salvaguardas – que uma organização considera necessário e suficiente para fornecer o nível exigido de controle sobre o risco de acidentes graves (CIEHF, 2016). Além disso, não se deve aqui confundir os comumente chamados “controles” automáticos de variáveis da planta de processo (pressão, temperatura, volume, entre outras) que, como será apresentado mais adiante, são elementos das barreiras de intertravamento, com os controles de proteção aqui apresentados, que incluem as barreiras e salvaguardas.

Barreiras são controles que podem ser avaliados como suficientemente robustos e confiáveis a ponto de serem considerados como medidas primárias de controle contra incidentes. A robustez das barreiras é expressa através do atendimento a alguns critérios: ser independente, eficaz e auditável (CCPS, 2018).

Por outro lado, salvaguardas são controles que apoiam e sustentam a disponibilidade e o desempenho de barreiras, mas que não podem atender suficientemente aos padrões de robustez ou confiabilidade para que sejam confiados como uma medida de controle primária. Diversas medidas organizacionais e humanas são adotadas para prevenir a possibilidade de eventos indesejados ou mitigar as suas consequências. Entre outras, podemos citar: gestão de mudanças, padrões de competência, instruções de trabalho, sistemas de permissão de trabalho, planos de resposta a emergência, investigação de acidentes e mecanismos de lições aprendidas. Ainda que essas medidas sejam extremamente importantes no gerenciamento de riscos e, qualquer sistema de gestão de segurança deva ser capaz de reconhecê-las, nem todas atendem aos critérios necessários para que sejam considerados barreiras (CIEHF, 2016).

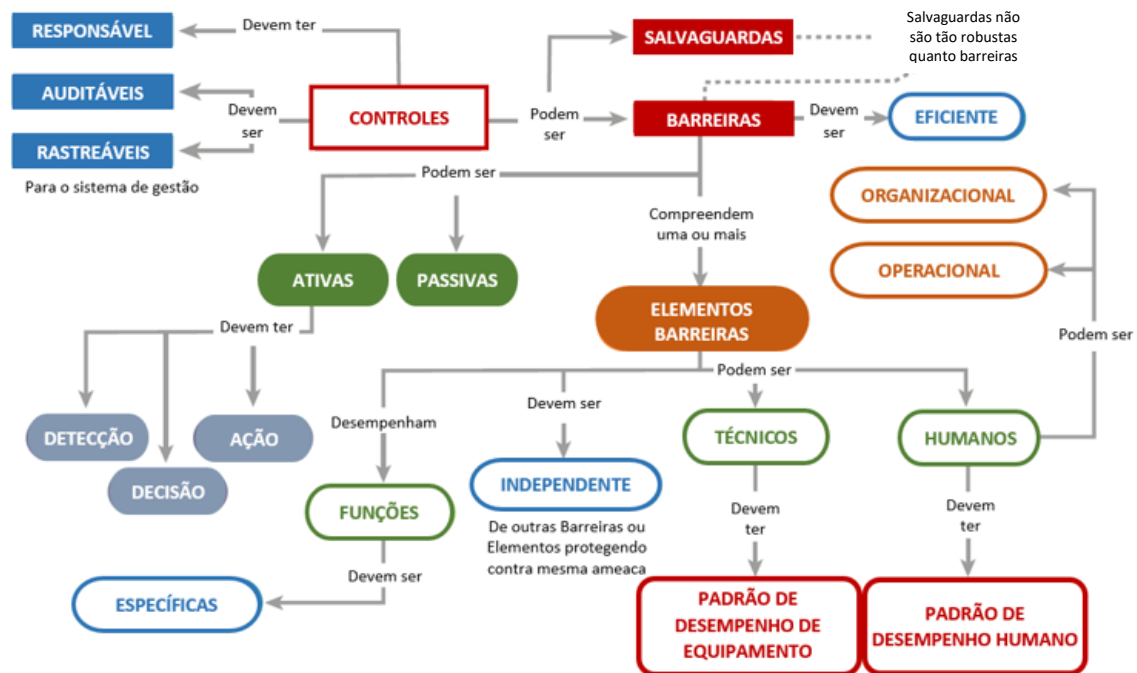
Salvaguardas destinadas a mitigar o risco de erro humano podem incluir desde sinalização, interface humana-máquina, passando por procedimentos operacionais ou listas de verificação. Estas medidas não necessariamente podem, e nem precisam, reduzir os riscos nos mesmos níveis de capacidade das barreiras, porém, devem ser compreendidas e consideradas, uma vez que salvaguardas ineficazes podem criar condições para falha ou degradação das barreiras (CIEHF, 2016).

Muitos dos elementos humanos e organizacionais dos sistemas de gestão da segurança implementados para assegurar elevados níveis de desempenho humano confiável e para evitar que o erro humano degrade ou elimine barreiras, são salvaguardas; eles raramente podem atender ao padrão necessário para serem considerados como barreiras, ainda que seja possível (CIEHF, 2016).

2.2.2. Classificação e características dos controles

A classificação dos controles e seus componentes não é homogênea entre os diferentes usuários e a literatura disponível. No entanto, os aspectos e conceitos abaixo fornecem uma abordagem que permite bom entendimento dos impactos dos fatores humanos na gestão dos riscos (CIEHF, 2016).

Figura 3 - Resumo das relações entre os componentes de um sistema de barreiras



FONTE: adaptado de *Human Factors in Barrier Management* (2016, p.21)

2.2.2.1. Barreiras Ativas e Passivas

Barreiras ativas dependem do desempenho, seja de um elemento técnico, humano ou, mais comumente, de uma combinação de ambos. Barreiras ativas tem funcionalidade baseada em detecção-decisão-ação – ou seja, elas devem compreender um ou mais elementos que permita: detectar a condição que se espera que inicie a atuação da função de barreira, decidir sobre quais ações precisam ser tomadas e tomar as ações necessárias. Como exemplo, a combinação de um alarme associado com uma resposta humana fornece uma barreira ativa que intervém quando as condições que causam o acionamento do alarme existem e um humano responde adequadamente a este alarme (CIEHF, 2016).

Barreiras passivas são geralmente características físicas ou estruturas capazes de bloquear o progresso de uma ameaça simplesmente pela sua existência. Elas não têm funcionalidade explícita de detecção-decisão-ação, embora dependam de manutenção para manter a sua eficácia. Podemos utilizar como exemplo, as proteções passivas contra incêndio, as anteparas de proteção contra efeitos de explosão e os diques de contenção de vazamentos (CIEHF, 2016).

2.2.2.2. Elementos das barreiras

Os elementos de barreira são o nível mais baixo na hierarquia da função de barreira. São medidas ou soluções técnicas, operacionais ou organizacionais que desempenham um papel na realização de uma função de barreira. Uma barreira pode compreender um ou mais elementos que executam uma das funções de detecção-decisão-ação (PSA, 2013). Elementos técnicos são baseados em engenharia, através da implementação de equipamentos e sistemas.

Os elementos humanos podem ser classificados como organizacionais ou operacionais. Elementos organizacionais são aqueles em que decisões e ações a serem tomadas são baseadas em instruções explícitas, havendo pouco espaço para autonomia ou julgamento do operador (CIEHF, 2016).

Elementos operacionais são aqueles em que não há uma instrução explícita sobre a maneira de decidir ou agir e dessa forma, a responsabilidade é deixada a indivíduos com competência necessária para que sejam capazes de tomar medidas adequadas e alinhadas com a orientação, políticas, princípio e restrições estabelecidos pela organização. São dependentes de competências e habilidades não só técnicas como também

comportamentais e interpessoais tais como resolução de problemas, tomada de decisão, coordenação e comunicação em equipe (CIEHF, 2016).

Seja no caso de elementos organizacionais ou operacionais, a função do indivíduo na garantia de desempenho da barreira se dá através de uma ou da soma das seguintes formas:

- a barreira depende do desempenho humano para atingir sua função de forma satisfatória ou;
- a barreira depende de desempenho humano para garantir sua disponibilidade, confiabilidade ou capacidade de sobrevivência (CIEHF, 2016).

2.2.2.3. Critérios de classificação dos controles

Controles, incluindo aqueles baseados em desempenho humano devem ser avaliados e espera-se que atendam aos critérios abaixo:

- Definição de Responsabilidade - todo controle, seja barreira ou salvaguarda deve ter um responsável definido de forma clara e sem ambiguidade. Esta função inclui suporte e manutenção para garantir disponibilidade e confiabilidade e gestão de mudanças associadas (CIEHF, 2016).
- Auditabilidade - todo controle deve ser uma solução que promova confiança na informação fornecida por ele. Esta informação deve ser rastreável e permitir analisar de maneira metódica e crítica as suas características e condições. Devem permitir a elaboração de uma trilha de auditoria que demonstre que a seleção, implementação e verificação de cada elemento seguiu boas práticas aceitas e qual a sua condição de funcionalidade com base em um padrão de desempenho estabelecido (CIEHF, 2016).
- Rastreabilidade - controles devem ser rastreáveis através de sua ligação com algum requisito, processo ou atividade prevista no sistema de gestão. Mudanças no sistema de gestão devem considerar o impacto nos controles. De maneira similar, mudanças na operação dos controles devem estar alinhadas com o sistema de gestão (CIEHF, 2016).

Salvaguardas devem cumprir os critérios elencados até aqui. Barreiras exigem, além destes, o atendimento a critérios adicionais:

- Especificidade - barreiras e elementos de barreiras devem desempenhar funções específicas. Tanto os elementos técnicos quanto os humanos devem ter padrões

definidos de desempenho esperado. Garantir a avaliação de eficácia destes elementos depende de compará-los com padrões que possam estabelecer de forma clara o que se espera quando eles sejam demandados. No caso do desempenho humano requerido, deve ser definido de forma que seja o mais específico possível para a ameaça que se espera prevenir ou mitigar. Inclui a definição de indivíduos específicos para desempenhar a função, objeto específico a ser operado e uma meta específica a ser atingida (CIEHF, 2016).

- Independência dos elementos - se uma única condição, evento ou modo de falha puder derrotar ou degradar seriamente o desempenho de mais de um elemento de barreira, então esses elementos não são independentes; na verdade, representam apenas uma única barreira ou elemento (CIEHF, 2016).
- Eficácia - cada barreira, individualmente, deve ser capaz de impedir que um evento conduza a uma consequência indesejável quando sua função for demandada. Isto quer dizer que, a depender de sua função de prevenção ou mitigação, se a barreira funcionar num prazo compatível com o desenvolvimento da ameaça, se atuar como esperado e quando necessário, ela terá sucesso na prevenção de que a ameaça leve ao evento topo ou reduza como esperado as consequências causadas pelo evento (CIEHF, 2016).
- Garantia - cada barreira, individualmente e os seus elementos devem ter características que forneçam indicações do seu estado, para que a sua existência e capacidade de desempenho possam ser garantidas. Também precisam ser capazes de funcionar conforme o esperado em uma ampla gama de situações em que a ameaça identificada possa ocorrer. A garantia pode assumir diversas formas, desde uma simples inspeção até testes ou revisão de registros (CIEHF, 2016).

2.3. Sistemas sociotécnicos e a gestão de barreiras

Dentro de um sistema sociotécnico, os contextos social, cultural e técnico impõem restrições e influências no desempenho das funções dos sistemas de barreiras e no que é considerado um sistema com desempenho aceitável (CIEHF, 2016).

Os sistemas incluem os seguintes elementos:

- pessoas;
- tarefas que as pessoas realizam;
- ambiente no qual estas pessoas estão trabalhando;

- a organização no qual estas pessoas estão trabalhando;
- a amplitude da cultura da indústria e localização em que estas pessoas estão inseridas.

Fatores humanos se caracteriza como uma disciplina em que todos estes elementos e a interação entre eles é considerada (GHANEM, 2021).

Os sistemas complexos podem ser expressos de forma hierárquica, compreendendo vários subsistemas que operam em diferentes níveis de controle (CIEHF, 2016).

Um operador sentado em frente ao painel da sala de controle de uma unidade de produção de óleo é parte de um subsistema que compreende os controles imediatos disponíveis para operar o processo e a informação de valores de variáveis recebidas do sistema de instrumentação da planta e transmitidas ao painel, indicando se é seguro prosseguir com a operação dentro dos valores das variáveis. Neste exemplo, a competência e aptidão do operador são controladas por um subsistema que pode incluir, entre outros, recrutamento, seleção, treinamento, exames de aptidão de saúde, controle de jornada de trabalho e planejamento de mão de obra. Além disso, outros fatores influenciadores de desempenho, como, por exemplo, *layout* e interface humana-máquina também podem ser identificados em outros subsistemas, podendo também afetar o desempenho do operador. Este exemplo serve para demonstrar que há influências presentes em diferentes subsistemas e que eles devem ser identificados e analisados em todos os níveis organizacionais (CIEHF, 2016). Subsistemas são controlados por sistemas de alto nível, incluindo políticas e normas, acordos comerciais e regulamentações governamentais.

A potencial falha do operador em atuar na resposta a um determinado alarme e controlar as variáveis do processo que poderiam levar a um acidente, não pode ser entendida apenas considerando as capacidades, ações e decisões do indivíduo ou aos alarmes e parâmetros sob o qual ele atua. Compreender a razão pela qual um acidente poderia acontecer e prevenir a ocorrência de futuros incidentes significa compreender como os fatores presentes em todos os níveis da hierarquia do sistema se juntaram para influenciar o desempenho do indivíduo operador nas circunstâncias e no momento específicos (CIEHF, 2016).

A falha de uma abordagem sistêmica faz com que, erroneamente, se considere um potencial acidente como efeito de eventos e condições presentes em um único subsistema levando-nos a propor ações de prevenção que fiquem contidas dentro dos limites do subsistema. No exemplo acima, seria uma deficiência, propor somente a garantia da capacitação do operador ou uma melhoria nas características do sinal de alarme no painel

da sala de controle, sem considerar que fatores em diferentes níveis do sistema são capazes de influenciar o desempenho do indivíduo. Um sistema de gestão de barreiras deve ser capaz de refletir sobre o papel que elementos em cada nível da hierarquia do sistema, incluindo fatores organizacionais, influenciam o desempenho ou degradação de controles (CIEHF, 2016).

Existem ferramentas disponíveis para compreender de forma sistêmica estas influências. Uma delas é o “Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos” (em inglês: *HFACS – Human Factors Analysis and Classification System*). Esta ferramenta, originalmente desenvolvida para investigação de acidentes na aviação, fornece um recurso prático para identificar, classificar e corrigir fatores organizacionais. Ela oferece um método sistemático para identificar tanto falhas ativas quanto latentes dentro de uma organização, podendo ser utilizada não só na investigação de acidentes, mas também de maneira preditiva (GRATTAN, 2017).

Uma adaptação da metodologia para utilização na indústria de óleo e gás foi proposta em 2017 com o nome de *HFACS-OGI* (do inglês *Human Factor Analysis and Classification System for the Oil and Gas Industry*) (THEOPHILUS; ESENOWO; AREWA; IFELEBUEGU; NNADI; MBANASO, 2017).

Atentar para o fato de que o HFACS não é uma metodologia com intenção de calcular a probabilidade de erro humano, já que, como mencionado anteriormente, ele foi criado originalmente para a investigação de acidentes. Porém, através de sua taxonomia, pode auxiliar na identificação de fatores, especialmente os organizacionais que podem influenciar o desempenho ou degradação dos controles.

Alguns estudos já têm sido desenvolvidos no intuito de utilizar o *HFACS* como uma ferramenta preditiva para informar sobre quais fatores nas pré-condições para atos inseguros, supervisão insegura e influências organizacionais predizem fatores dentro de atos inseguros. Supõe-se que exista uma relação causal ou, pelo menos, uma relação preditiva entre fatores nos níveis superiores e aqueles nos níveis inferiores e que, dessa forma, influências organizacionais afetam a probabilidade de supervisão insegura, o que por sua vez influencia as pré-condições para atos inseguros, o que por sua vez influencia a probabilidade de atos inseguros (ATSB, 2008).

Ainda que possa ser uma ferramenta interessante para se compreender os diferentes níveis hierárquicos das vulnerabilidades, parece que, para que possa ser utilizada efetivamente de maneira preditiva, alguns avanços nos métodos ainda são necessários. Um estudo realizado pelo *Australian Transport Safety Bureau*, órgão do governo Australiano,

avaliou esta possibilidade, utilizando dados da aviação e, apesar de identificar aspectos positivos, estabeleceu cautela na aplicação de forma preditiva:

“Apesar de encontrar validade preditiva limitada com a estrutura HFACS em níveis mais elevados da taxonomia, as associações encontradas neste estudo exploratório podem, no entanto, ajudar os investigadores a analisar os fatores associados quando são encontrados fatores contribuintes. Além disso, ao utilizar a taxonomia HFACS para identificar áreas de intervenção, os resultados deste estudo também podem orientar a intervenção em áreas associadas para uma abordagem holística e sistêmica à melhoria” (ATSB, 2010).

Para evidenciar a eficácia qualitativa das barreiras, é viável realizar uma Análise de Tarefas Críticas, a fim de identificar os elementos de degradação humanos e organizacionais, bem como os controles de degradação associados a essas barreiras. Já para evidenciar a eficácia quantitativa, é necessário empregar um método de Análise de Confiabilidade Humana. (em inglês: *HRA – Human Reliability Analysis*). Parece haver ainda na indústria, uma lacuna relacionada ao uso destas abordagens (GRATTAN, 2017). Existem muitos métodos de Análise de Confiabilidade Humana disponíveis para uso. Dois dos métodos mais recentes, o "*Petro-HRA*" usado juntamente com a "*APOA*" serão brevemente apresentados mais adiante

Em resumo, o *HFACS* fornece um quadro amplo para a compreensão dos erros humanos, reconhecendo que tais erros podem ocorrer em todos os níveis organizacionais, não se limitando aos ocorridos diretamente na execução de tarefas. A abordagem reconhece a importância de examinar os fatores organizacionais que podem influenciar o desempenho humano e contribuir para incidentes e acidentes. Isso permite uma abordagem abrangente na prevenção de eventos adversos, incluindo a implementação de mudanças nas políticas, procedimentos e cultura organizacional para promover a segurança e mitigar os riscos associados às operações. No entanto, ele é restrito no fornecimento de visualização e compreensão de outros fatores influenciadores de desempenho e precisa ser complementado. O *HRA* avalia especificamente a confiabilidade do desempenho humano na execução das tarefas, seu objetivo principal é identificar e entender como os fatores humanos podem contribuir para eventos indesejados ou falhas em sistemas. Isso é feito através da análise das ações e decisões dos operadores humanos dentro de um contexto operacional específico e considerando os fatores influenciadores do desempenho humano associados aos potenciais erros de forma sistemática.

2.4. O papel do ser humano na gestão de barreiras

Grande parte do foco da análise dos fatores humanos durante a gestão de barreiras se resume em buscar reduzir o potencial de erro humano capaz de levar a eventos topo, ou no papel das pessoas na detecção, diagnóstico e resposta aos eventos topo que ocorreram, evitando que eles se transformem em acidentes de maiores consequências.

Tradicionalmente, os humanos são vistos como o elo frágil na corrente de gestão de segurança de processos e o foco tem sido, por muito tempo, na eliminação ou redução dos erros. Porém, é preciso compreender que, mais que somente uma fonte de falhas, o humano é também um componente essencial do sistema, capaz de melhorar a efetividade e flexibilidade, especialmente onde se torna muito difícil, complexo ou custoso utilizar automação ou salvaguardas de engenharia.

Hollnagel, em seu trabalho “*Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*” propõe uma quebra de paradigma e a busca de uma nova perspectiva em relação ao papel do ser humano nos sistemas de segurança ao propor uma mudança da típica abordagem que ele chama de “*Safety I*”, baseada em garantir que o mínimo possível de coisas dê errado para uma abordagem “*Safety II*” baseada em garantir que tantas coisas quanto possível deem certo (HOLLNAGEL, 2014).

As pessoas são muitas vezes um elemento positivo em sistemas sociotécnicos complexos. Há um reconhecimento crescente de que as pessoas são muitas vezes a razão pela qual as operações correm bem, apesar dos transtornos e da variabilidade cotidiana que é normal em atividades complexas (HOLLNAGEL, 2014). No entanto, apesar de os seres humanos serem frequentemente capazes de recuperar o controle dos sistemas, isto não elimina o fato de que erros ocorrem e que podem ser minimizados através de uma análise sistemática das tarefas com objetivo de melhorar os fatores que influenciam o desempenho humano.

As operações devem ser concebidas com sistemas e estruturas de apoio que garantam o desenvolvimento das atividades e, ao mesmo tempo, permitam que pessoas sejam tão produtivas e adaptáveis quanto possível.

Os sistemas têm de ser tolerantes com a variabilidade humana natural e permitir que as pessoas recuperem falhas previsíveis sem consequências adversas para o sistema. Eles precisam maximizar a oportunidade para as pessoas contribuírem com o bom desempenho do sistema. Isso pode significar mudar de uma mentalidade que se concentra em garantir que o risco de erro humano seja *ALARP* – tão baixos quanto razoavelmente

praticáveis (do inglês: *as low as reasonable practicable*), para uma mentalidade que garanta que as operações e os sistemas de trabalho sejam projetados e operados de tal forma que a contribuição humana para a confiabilidade do sistema seja “tão alta quanto razoavelmente praticável”- *AHARP* (do inglês, *as high as reasonable practicable*). No entanto, esta mudança de mentalidade só é possível com a garantia de que os fatores influenciadores de desempenho humano sejam sistematicamente analisados e que os resultados possam ser considerados no projeto dos sistemas de trabalho para garantir a busca da redução da probabilidade de erro humano (HOLLNAGEL, 2014).

2.5. A importância do contexto na confiabilidade dos controles

A norma IEC 31010:2019 aponta a importância da compreensão do contexto na gestão de riscos:

“Ao realizar uma avaliação de riscos, os envolvidos devem estar cientes das circunstâncias mais amplas em que serão tomadas decisões e ações baseadas na sua avaliação. Isto inclui compreender as questões internas e externas que contribuem para o contexto da organização, bem como aspectos sociais e ambientais mais amplos. Qualquer declaração de contexto relevante deve ser revisada e verificada para verificar se é atual e apropriada.

Compreender o panorama geral é particularmente importante onde há uma complexidade significativa”.

Da mesma forma, a PSA – *Petroleum Safety Authority*, agência regulatória do setor de petróleo na Noruega reconhece a importância do contexto, de forma ainda mais específica na fase de planejamento do gerenciamento de barreiras (PSA, 2013).

Não é possível confiar em controles abstratos e genéricos. Se não estiverem inseridos num contexto operacional local, podem não ser capazes de funcionar de forma confiável quando demandados, sejam eles predominantemente tecnológicos ou, sejam eles altamente dependentes do ser humano.

A perda de capacidade dos controles em evitar que efeitos indesejáveis ocorram, se dá em circunstâncias muito específicas. Da mesma forma, os fatores que degradam ou prejudicam o desempenho humano são também sempre específicos da situação e do contexto. Um controle efetivo, seja ele uma barreira ou salvaguarda deve ser implementado levando em conta as circunstâncias locais associadas a fatores humanos: competência da mão de obra, comprometimento, rotatividade da força de trabalho, nível de cultura organizacional, entre outros.

Não se deve tratar controles como módulos que se encaixam em qualquer contexto e ao mesmo tempo esperar que eles possam ser confiáveis. Controles adotados em um determinado setor industrial, nem sempre serão eficazes quando inseridos num contexto organizacional completamente diferente. Isso pode ocorrer até mesmo entre organizações diferentes dentro de um mesmo setor (CIEHF, 2016).

2.6. Estratégias de gestão de controles de proteção

Os modelos mais disseminados atualmente para análise da estratégia de gestão de controles são a *LOPA* - Análise de Camadas de Proteção (do inglês: *Layers of Protection Analysis*) e a técnica de Análise *Bowtie*. Enquanto a *LOPA* se baseia na análise da probabilidade de erro de forma semiquantitativa, a análise de *Bowtie* é majoritariamente utilizada como uma técnica qualitativa, apesar de já existirem registros de seu uso de forma quantitativa, seja através da aplicação conjugada das técnicas de árvore de falha e árvore de eventos (DEBRAY, 2006), seja através da aplicação de redes Bayesianas na análise (LEGER; WEBER; LEVRAT; DUVAL; FARRET; IUNG, 2009) (MORAIS; ESTRADA-LUGO; TOLO; JACQUES; MOURA; BEER; PATELLI, 2021).

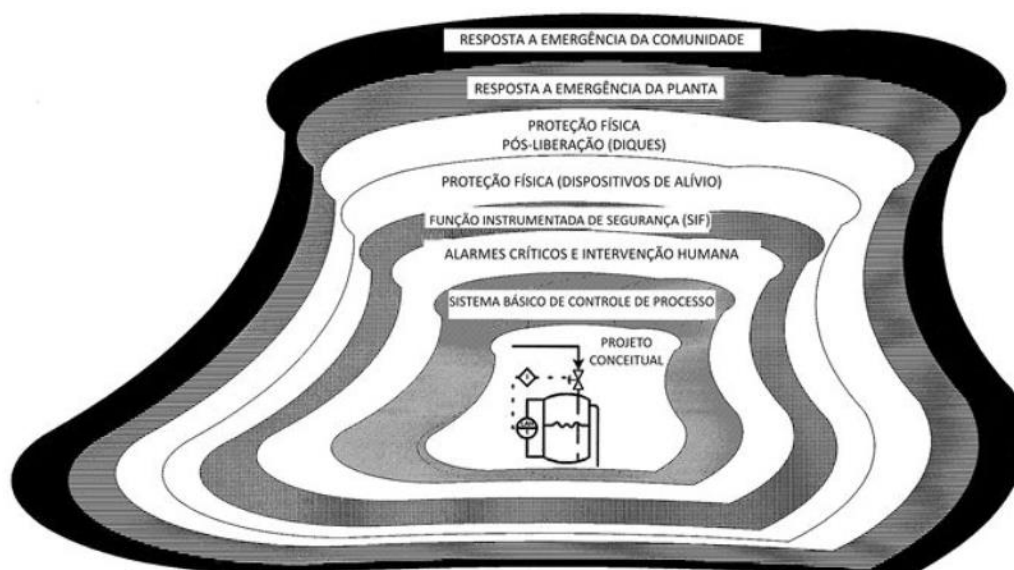
Em alguns casos, os dois modelos são utilizados em conjunto, especialmente pela facilidade de comunicação visual fornecida pelo diagrama *Bowtie*.

Um dos desafios no uso dos dois modelos é a incorporação da análise do papel humano, seja na avaliação das ameaças, quanto dos controles ou camadas de proteção. O enfoque nas interferências humanas, raramente, é abordado de forma suficientemente explícita, profunda e detalhada para que se possa compreender adequadamente estes aspectos. Em alguns casos, esta abordagem não tem encontrado sustentação suficiente e consistente para incorporar e lidar com a natureza do desempenho humano e os fatores que contribuem para a perda de confiabilidade humana e que afetam diretamente a eficácia dos controles.

2.6.1. A *LOPA*

A *LOPA* - Análise de Camadas de Proteção é um modelo que considera múltiplas camadas de proteção independentes instaladas ao redor de um processo como uma maneira de limitar as chances de ocorrência de um acidente, conforme apresentado na Figura 4 a seguir.

Figura 4 - Camadas de proteção contra um possível acidente



FONTE: Análise de Camada de Proteção – Avaliação Simplificada do Risco de Processo (2021, p.14)

Em teoria, por serem independentes, apenas uma camada precisa funcionar com sucesso para que a consequência seja evitada.

De forma similar aos furos das fatias do “modelo do queijo suíço”, as camadas de proteção da *LOPA* também apresentam fragilidades ou vulnerabilidades que podem fazer com que falhem. Como nenhuma camada é perfeitamente eficaz, devem ser fornecidas camadas de proteção suficientes para tornar o risco de acidente tolerável. Vários tipos de camada são possíveis e um cenário pode necessitar de uma ou várias delas, dependendo da complexidade do processo e da severidade potencial da consequência.

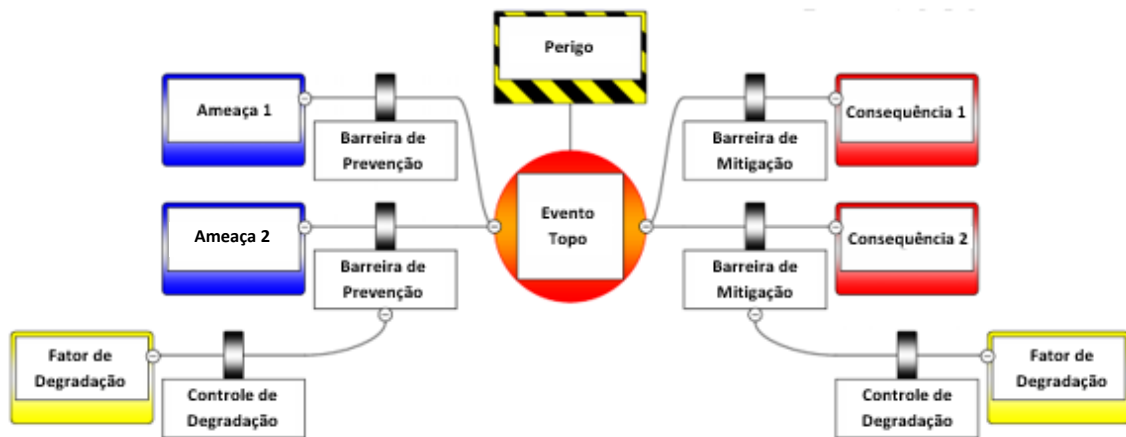
A avaliação de risco nesse modelo é feita de forma semiquantitativa utilizando categorias de ordem de grandeza para a frequência de ocorrência de um evento iniciador, a severidade dos potenciais consequências e a probabilidade de falhas das camadas para assim, estimar o risco de um cenário determinado. Este modelo tenta, de certa maneira, incorporar em sua análise, a probabilidade de ocorrência do erro humano, mas não incorpora os chamados fatores influenciadores de desempenho, que podem aumentar ou diminuir esta probabilidade.

O principal objetivo da *LOPA* é determinar se as camadas de proteção independentes são suficientes para controlar os riscos de acidente. Caso o risco estimado de um cenário não seja aceitável, camadas adicionais podem ser incluídas. A análise não sugere quais camadas devem ser adicionadas, mas auxilia a avaliar entre as possíveis alternativas disponíveis para mitigação do risco (CCPS, 2021).

2.6.2. O Bowtie

O modelo *Bowtie* representa em termos práticos as propostas do modelo do queijo suíço, porém incorporando elementos mais específicos, conforme apresentado na Figura 5 abaixo. Ele recebe esse nome pela similaridade de seu diagrama com o formato de uma gravata borboleta (do inglês: *Bowtie*).

Figura 5 – Modelo *Bowtie*



FONTE: adaptado de *Bowties in Risk Management* (2018, p.9)

Os elementos chave do modelo *Bowtie* são:

- Perigo: uma operação, atividade ou material com potencial para causar danos às pessoas, propriedade, meio ambiente ou negócio.
- Evento Topo: liberação da potencialidade de dano de um perigo, ou seja, é o momento em que o controle sobre esse potencial é perdido. Cada diagrama *Bowtie* está associado a um único evento topo.
- Ameaça: um possível evento iniciador que pode resultar em perda de controle do potencial de dano de um perigo, ou seja, do evento topo.
- Consequência: o resultado indesejável de um evento de perda, normalmente medido em efeitos à saúde e segurança, impactos ambientais, perdas de propriedade e impactos financeiros ao negócio.
- Barreira preventiva: localizada no lado esquerdo do diagrama, são barreiras capazes de parar as ameaças antes que elas possam resultar em um evento topo.
- Barreira mitigadora: localizada no lado direito do diagrama, são barreiras capazes de reduzir a severidade e possivelmente evitar consequências indesejadas.

- Fator de degradação: situação, condição, defeito ou erro que compromete a função de uma barreira, derrubando-a ou reduzindo sua eficácia.
- Controle de degradação: medida que ajuda a prevenir o fator de degradação de prejudicar a função de uma barreira (CCPS, 2018).

Os fatores humanos e organizacionais podem aparecer nos *Bowties* de formas diversas. Apesar de não recomendado, por razões que serão apresentadas adiante, o ser humano e seu erro pode ser modelado como uma ameaça. É possível também que ele seja apresentado como elemento de barreira, fator de degradação ou como parte de um controle de fator de degradação. O ser humano pode formar uma barreira ou um elemento de barreira, desde que a barreira cumpra todos os critérios de robustez - ou seja, eficácia, independência e auditabilidade. Se funcionar como uma barreira de prevenção total, a barreira humana será sempre ativa, cobrindo todos os elementos de detecção-decisão-ação. Os fatores organizacionais dos sistemas normalmente aparecem nas vias dos fatores de degradação dos diagramas. Tipicamente, o *Bowtie* endereça falhas humanas como fatores de degradação. (CCPS, 2018)

3. PRÁTICAS ADOTADAS NA GESTÃO DE BARREIRAS DE UMA FPSO

3.1. Contextualização

A indústria de petróleo e gás possui parcela importante na economia e no fornecimento de energia globalmente. De acordo com o relatório *World Energy Outlook 2023*, 331 exajoules (1018 joules) dos 632 fornecidos em 2022, foram oriundos do petróleo e gás produzidos no mundo. Ou seja, a indústria de petróleo e gás foi responsável por cerca de 52% do fornecimento da energia global no ano de 2022.

Segundo a *U.S. Energy Information Administration*, o Brasil ocupou a 9ª colocação da lista dos maiores produtores de petróleo de 2022, com aproximadamente 3,17 milhões de barris produzidos por dia. Parte dessa produção deve-se à utilização de unidades do tipo FPSO, por fornecerem uma solução eficiente atribuída a sua capacidade de produção e armazenamento de óleo na própria unidade, permitindo que o escoamento para as refinarias em terra seja realizado por meio de navios aliviadores.

A produção de hidrocarbonetos *offshore* implica na exposição a perigos que, caso liberados, tem potencial para causar múltiplas fatalidades, ou danos de longo prazo ao meio ambiente. Esses perigos são denominados MAHs (do inglês, *Major Accident Hazards*). Os MAHs mais típicos presentes nesta atividade industrial estão relacionados

com hidrocarbonetos inflamáveis ou tóxicos, e os associados a situações dinâmicas, como operações de helicóptero e de transporte marítimo. Potenciais acidentes de processo de grande magnitude são resultantes de perdas de contenção que levam a derramamentos, exposição tóxica, explosões ou incêndios, ou aqueles associados a dinâmica das atividades: colisões e falhas estruturais. As consequências trágicas de acidentes como o da plataforma *Piper Alpha* no Mar do Norte em 1988, da plataforma P-36 na Bacia de Campos em 2001, da plataforma *Deepwater Horizon* no Golfo do México em 2010 ou do FPSO Cidade de São Mateus, na Bacia do Espírito Santo em 2015 impõem que esforços sejam feitos para garantir a efetividade dos controles de proteção e assim evitar eventos semelhantes.

Quando o óleo bruto ou gás dissociado chegam no chamado *topside* da FPSO, é necessária uma série de operações para tratá-lo para que o óleo seja armazenado e posteriormente exportado à terra através de navios aliviadores. No caso do gás, este será consumido na geração de energia, utilizado para elevação de óleo ou para injeção no reservatório e ter seu excedente exportado para terra ou para o consumo de outras unidades, através de gasodutos.

O processo de produção do petróleo envolve altas pressões e temperaturas, substâncias inflamáveis, reativas e tóxicas entre outros perigos. As plantas dispõem de sistemas para separação e armazenamento de óleo, compressão e tratamento de gás, geração de energia elétrica, tratamento e descarte de água produzida, sistemas auxiliares de utilidades; instalados num ambiente extremamente sujeito as condições climáticas, dependente de sistemas de amarração e de lastro para garantir sua integridade estrutural, sujeita ao tráfego marítimo e aeronáutico, operada por uma tripulação que chega, normalmente, a bordo de aeronaves para trabalhar em regime de embarque, desempenhando atividades como operação da planta, manutenções rotineiras e não rotineiras envolvendo trabalho a quente, mergulho, movimentação de cargas por guindastes, suporte de hotelaria, entre outras. A intenção desta descrição não é ser exaustiva em relação a totalidade de componentes, mas demonstrar que, conforme apresentado na seção 2.5 deste documento, entender a dinâmica dos fatores que influenciam as interações humanas neste complexo sistema sociotécnico, sob os mais diferentes aspectos, é fundamental para aplicar qualquer abordagem robusta de gerenciamento de barreiras.

3.2. As Boas Práticas em Fatores Humanos na Produção de Petróleo

A ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, visando disseminar as melhores práticas da indústria, distribuiu através da NOTA TÉCNICA 10/2023/SSO-CSO/SSO/ANP-RJ, uma guia para interpretação dos requisitos associados aos fatores humanos presentes no Regulamento Técnico de Gerenciamento de Segurança Operacional – SGSO.

3.2.1. Engenharia de Fatores Humanos

A agência considera que a melhor prática da indústria de óleo e gás para identificação e consideração de códigos e padrões relacionados aos fatores humanos durante o projeto das unidades de produção é o Relatório IOGP 454 - Engenharia de Fatores Humanos em Projetos (do inglês: *Human Factors Engineering in Projects*) da Associação Internacional de Produtores de Óleo & Gás (*IOGP, International Association of Oil & Gas Producers*). O documento foca nas recomendações para aplicação da Engenharia de Fatores Humanos, descrita como a aplicação dos conhecimentos dos Fatores Humanos no projeto e construção de sistemas sociotécnicos, de forma a otimizar a contribuição humana para a produção e minimizar o potencial para riscos induzidos pelo projeto (IOGP, 2020).

A abordagem de Engenharia de Fatores Humanos durante o projeto busca garantir que os sistemas e os equipamentos sejam concebidos para apoiar eficazmente a execução das tarefas pelo operador, tendo em conta as capacidades e limitações humanas, reduzindo a probabilidade de erros humanos ao mesmo tempo que aumenta a eficiência operacional. (IOGP, 2020).

O relatório IOGP 454 estabelece 7 atividades chave desenvolvidas durante a fase de projeto:

- Análise dos requisitos das tarefas - descreve o processo de realização de uma revisão das tarefas a serem executadas, a fim de identificar quaisquer requisitos-chave de Engenharia de Fatores Humanos a serem levados em consideração no projeto. Busca permitir a identificação precoce de quaisquer requisitos de projeto que devam ser atendidos para otimizar o desempenho da tarefa e minimizar qualquer risco de operações inseguras. Os resultados de uma Análise de Requisitos da Tarefa também podem ser usados para apoiar avaliações qualitativas de riscos. A análise deve ser realizada o mais cedo possível na fase de projeto, assim que estiverem disponíveis informações suficientes sobre as tarefas de Operação e Manutenção associadas aos equipamentos. (IOGP, 2020).

- **Análise de criticidade válvulas** - a instalação de válvulas e instrumentos para facilitar o acesso seguro e eficiente para Operações e Manutenção é um aspecto muito importante do projeto, considerando a frequência com que as válvulas precisam ser acessadas. A análise fornece um processo de decisão estruturado para determinar a localização ideal de todas as válvulas e instrumentos em uma instalação. Refere-se ao processo pelo qual as válvulas são categorizadas e priorizadas de acordo com sua criticidade e frequência de operação e, em seguida, localizadas de forma adequada, a fim de garantir facilidade de acesso e visibilidade para operação ou manutenção. A fase de categorização deve ser realizada na fase inicial do projeto e revisada se quaisquer novas válvulas e/ou instrumentos forem introduzidos, ou forem propostas alterações no uso de válvulas e instrumentos existentes. O processo de verificação de conformidade de normalmente continuará durante o projeto, à medida que o nível de detalhe no projeto do layout aumenta progressivamente (IOGP, 2020).
- **Triagem e revisão de pacotes de fornecedores** - para pacotes críticos de fornecedores e aqueles customizados para o projeto, devem ser usadas informações de Fatores Humanos visando confirmar a aceitabilidade do projeto. O objetivo é identificar aqueles pacotes de fornecedores nos quais, com base na criticidade e frequência da interação manual, os aspectos de Engenharia de Fatores Humanos requerem atenção adicional. Uma lista abrangente de todas as unidades embaladas do fornecedor deve ser preparada. Deve ser realizada o mais cedo possível, assim que estiver claro quais equipamentos e sistemas serão adquiridos como pacotes e quando houver uma compreensão da funcionalidade da unidade e das tarefas de Operações e Manutenção a serem executadas (IOGP, 2020).
- **Análise e revisão da sala de controle** – a concepção das salas de controle é normalmente considerada uma das áreas-chave para a entrada de Engenharia de Fatores Humanos, devido ao elevado potencial de impacto no controle dos grandes acidentes. Os princípios também podem ser aplicados ao projeto de cabines de guindastes, salas de operações e salas de gerenciamento de emergências. Pode começar durante a fase inicial de projeto, quando as análises serão realizadas para confirmar os requisitos a serem atendidos pelo projeto. Os especialistas em Fatores Humanos devem então estar envolvidos em um processo de revisão e validação do projeto ao longo do projeto inicial e detalhado (IOGP, 2020).

- Análise e revisão de interface humana-máquina - pode garantir que as interfaces humana-máquina sejam projetadas de acordo com os princípios de boas práticas de Fatores Humanos/Ergonomia e satisfaçam os requisitos do usuário final. A contribuição é mais frequentemente necessária para apoiar o desenvolvimento do DCS (*Distributed Control System*), no entanto, quaisquer outras interfaces de equipamentos também podem se beneficiar. Atividades normalmente se iniciam durante a fase de projeto inicial, quando as análises serão realizadas para confirmar os requisitos que precisarão ser atendidos pelo projeto. Os especialistas em Fatores Humanos devem então estar envolvidos em um processo de revisão e validação do projeto ao longo do projeto inicial e detalhado (IOGP, 2020).
- Análise e revisão do sistema de alarmes - a Engenharia de Fatores Humanos pode garantir que os sistemas de alarme sejam projetados de acordo com os princípios de boas práticas de Fatores Humanos/Ergonomia. Isto é vital, dada a importância dos sistemas de alarme na gestão da segurança, incluindo a detecção, mitigação e resposta aos grandes acidentes. A primeira etapa envolve o desenvolvimento de uma filosofia de alarme que documente os objetivos do sistema de alarme e os processos necessários para atingir esses objetivos. A próxima é identificar os alarmes que devem ser incluídos no sistema. Uma vez identificados todos os alarmes necessários, um processo de racionalização de alarmes deve ser realizado para categorizar os alarmes por prioridade com base nas regras estabelecidas na filosofia de alarmes. A entrada de Engenharia de Fatores Humanos normalmente começará durante a fase de projeto inicial (IOGP, 2020).
- Revisão do projeto de layout da planta/instalações - Quando necessário, especificações de projeto de Engenharia de Fatores Humanos podem ser produzidas para cobrir aspectos-chave do projeto da instalação, incluindo: passarelas e rotas de emergência; plataformas elevadas; escadas; iluminação e sinalização de segurança. A disposição de qualquer local de trabalho deve facilitar operações seguras e eficientes, garantir a acessibilidade aos equipamentos e permitir que os operadores se movimentem de forma segura, fácil e eficiente. Começa normalmente durante a fase de projeto inicial e continua ao longo do projeto detalhado à medida que o projeto avança. (IOGP, 2020).

A agência considera ainda a importância de que as instalações elaborem documentos necessários para suportar a implementação da Engenharia de Fatores Humanos durante a

fase do projeto, tais como: Filosofia de Segurança e Guia de Engenharia de Fatores Humanos que possa demonstrar a aderência com as boas práticas apresentadas.

3.2.2. Estabelecimento de efetivo / tripulação mínima

Tripulação mínima ou efetivo mínimo é a quantidade mínima necessária de mão-de-obra necessária para operar a instalação com segurança. Seu estabelecimento, entre outras formas, pode ser realizado basicamente através da cronometragem das tarefas consideradas críticas presentes nos procedimentos operacionais e nos procedimentos de resposta a emergência e a aplicação de metodologias sistemáticas com base nos resultados obtidos.

O número de trabalhadores qualificados e experientes deve ser suficiente para garantir o desempenho das atividades em situações normais, anormais ou de emergência e, dessa forma, evitar negativamente o desempenho humano, por conta de fadiga, carga de trabalho, supervisão inadequada, entre outros. (EI, 2021)

3.2.3. Análise de Confiabilidade Humana

A prática da Análise de Confiabilidade Humana refere-se à quantificação do erro humano no contexto dos Fatores Humanos. A unidade quantitativa de erro humano é a HEP – Probabilidade de Erro Humano (do inglês: *Human Error Probability*), definida como:

$$\text{HEP} = \frac{\text{Número de erros ocorridos}}{\text{Número de oportunidades para o erro}}$$

O HEP é calculado para uma tarefa ou subtarefa, baseado em uma tarefa ou uma subtarefa. Existem muitos métodos de Análise de Confiabilidade Humana disponíveis. Um dos métodos é o "*Petro-HRA*", desenvolvido especialmente para a indústria do petróleo, além de ser uma das abordagens recomendadas pela ANP. Por este motivo, será apresentado adiante.

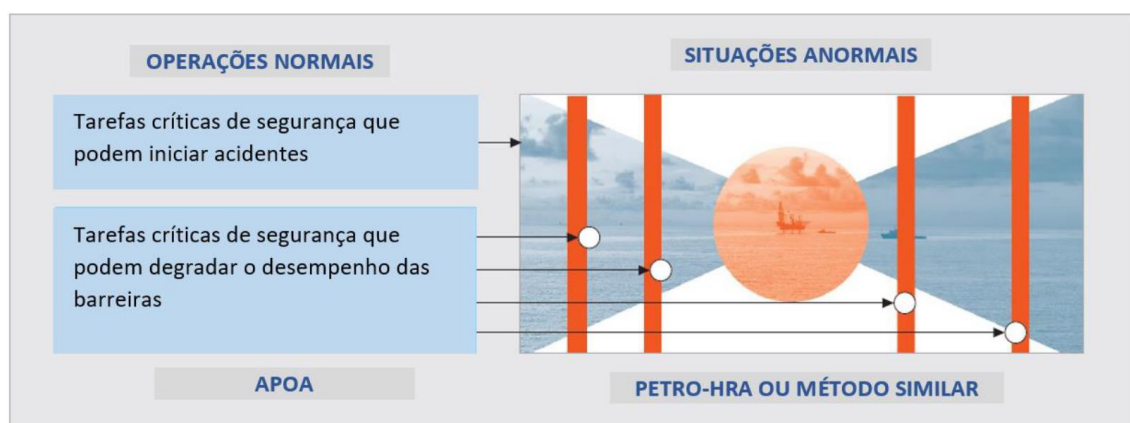
Um dos benefícios da Análise de Confiabilidade Humana é o fato de ela exigir a análise das tarefas críticas previstas nos procedimentos de segurança com o olhar analítico voltado para Fatores Humanos, o que permite corrigir erros e melhorar o trabalho e seu ambiente. Este benefício está relacionado com a parcela qualitativa da análise. O HEP estimado é o benefício da parcela quantitativa da análise e pode ser utilizado, por

exemplo, para corrigir ou refinar um cálculo da *LOPA*. Uma abordagem típica na definição de barreiras e do cálculo de sua confiabilidade envolve a utilização de técnicas de PHA – Análise de Perigos de Processo (do inglês: *Process Hazard Analysis*) como “*What if*” ou HAZOP – Estudo de Perigos e Operabilidade (do inglês: *Hazard and Operability*) seguido de uma análise *LOPA*. Nenhum destes métodos é originalmente um método de análise de fatores humanos. Uma Análise de Perigos de Processo, por exemplo, avalia apenas estados e condições (por exemplo, se o alarme está configurado como prioridade ou, se uma etapa do procedimento for omitida), sem levar em conta os comportamentos (por exemplo, como o operador do interpretará o alarme ou, qual a probabilidade de o operador pular essa etapa e por qual motivo). O *LOPA* é utiliza essencialmente um cálculo de confiabilidade de equipamentos, que calcula a média dos fatores humanos e organizacionais. Como dito em seção anterior, ele não leva em conta os Fatores Influenciadores de Desempenho. Em outras palavras, a *LOPA* pode até considerar o erro humano, no entanto, trata o erro humano como aleatório, o que às vezes pode levar a surpresas desagradáveis (GRATTAN, 2017).

3.2.3.1. O *Petro-HRA* e a *APOA*

Petro-HRA é um dos método de análise de confiabilidade humana e que foi desenvolvido para estimar a probabilidade de falhas humanas em cenários pós-evento topo, ou seja, do lado direito do *Bowtie*. Eventos pré evento topo, ou seja, ao lado esquerdo do *Bowtie*, devem, segundo a própria guia do *Petro-HRA*, ser analisados através do método chamado de *APOA* - Análise das Ações do Operador Pré-Acidente (do inglês: *Analysis of Pre-accident Operator Actions*). O *Petro-HRA* e a *APOA* se complementam, na medida que o *Petro-HRA* foi desenvolvido especificamente para capturar e reduzir riscos associados a erros pós-iniciadores no contexto de cenários de acidentes e a *APOA* foi desenvolvida para lidar com os riscos pré-iniciadores em no contexto de condições normais de trabalho como demonstrado na Figura 6 (DNV, 2023).

Figura 6 - Campo de aplicação da APOA e Petro-HRA



FONTE: DNV – *Analysis of Pre-Accident Operator Actions (APOA)* p.6

A guia desenvolvida para aplicação da metodologia *Petro-HRA* descreve (IFE, 2022):

“O *Petro-HRA* constitui uma análise completa das ações humanas em situações de risco e pode ser usado para analisar os efeitos de escolhas iniciais de projeto, por exemplo, decisões sobre opções de projeto dependentes de vários requisitos de tempo para os operadores envolvidos. O rigor da abordagem *Petro-HRA* apoia uma rigorosa redução de erros humanos, o que significa que permite ao analista identificar fatores e sistemas (tais como a Interface Humana-Máquina (HMI), programa de formação ou procedimentos operacionais) que podem ser melhorados, a fim de reduzir o HEP e o risco geral do sistema. A quantificação fornece um meio de priorizar iniciativas de redução de erros humanos, além de contribuir para uma avaliação geral de riscos mais completa”.

O método pode ser usado para apoiar uma análise de Engenharia de Fatores Humanos ou como parte de outras análises de risco como a *LOPA* (IFE, 2022).

De forma resumida, as etapas de desenvolvimento de uma análise *Petro-HRA* são:

- Definição do cenário – trata-se da definição do escopo e fronteiras da análise que, em termos práticos, representa a seleção de um procedimento crítico a ser analisado e a compreensão de seu contexto (IFE, 2022).
- Coleta de dados qualitativos – envolve a coleta de dados necessárias para permitir uma descrição detalhada da tarefa, incluindo os fatores que possam afetar o desempenho humano (IFE, 2022).
- Análise de tarefa - descrição das etapas executadas como parte de um procedimento. Fornece um meio sistemático de organizar as informações coletadas em torno das tarefas e hierarquizá-las (IFE, 2022).

- Identificação do erro humano – identificar erros potenciais relacionados as etapas das tarefas, determinando as probabilidades de consequência de cada erro, oportunidades de mitigação e os fatores influenciadores de desempenho (IFE, 2022).
- Modelamento do erro humano - transformação da sequência descrita na etapa de análise de tarefa crítica em uma ferramenta probabilística para que se tenha uma quantificação da relação de causalidade entre as tarefas (IFE, 2022).
- Quantificação do erro humano – estabelecimento do resultado de probabilidade de erro humano final, já considerando o efeito de todos os fatores influenciadores de desempenho (IFE, 2022).
- Redução do erro humano - recomendação de salvaguardas adicionais na tentativa de solucionar os fatores influenciadores de desempenho e recálculo da probabilidade de erro humano até atingimento do nível desejado (IFE, 2022).

Já o método *APOA*, é desenvolvido especificamente para capturar e reduzir riscos associados a erros em atividades e, fase pré-iniciadora e iniciadora no contexto de condições normais de operação. O *Petro-HRA* complementa o *APOA* ao ser desenvolvido especificamente para capturar e reduzir riscos associados a erros pós-iniciador no contexto de cenários de acidentes (DNV, 2023).

O método *APOA* é implementado através 7 passos, brevemente descritos abaixo:

- 1) Estabelecimento do contexto – estabelecimento de uma compreensão do contexto em que a operação e as tarefas são executadas. Importante porque o contexto pode influenciar diretamente a forma como as pessoas envolvidas entendem os objetivos, o processo e os resultados da análise (DNV, 2023).
- 2) Identificação das Tarefas – identificação das tarefas consideradas críticas para a segurança. As principais atividades de uma tarefa são chamadas de etapas da tarefa (ou subtarefas), que por sua vez podem ser divididas em um conjunto de ações cognitivas e físicas realizadas pelos operadores (DNV, 2023).
- 3) Análise das Tarefas - organização e apresentação sistematica dos dados relevantes da tarefa, para que possa ser usada para posterior coleta de dados, outras análises e comunicação de resultados. O foco é identificar quando e como as coisas precisam ser executadas para atingir uma meta com sucesso. Tarefas crítica realizadas com sucesso garantem a efetividade ou manutenção das barreiras, representando como os humanos contribuem positivamente para a prevenção de

acidentes. Na *APOA*, a tarefa deve ser descrita como realizada na prática e não como se supõe que ela seja realizada e, por isso, é altamente recomendável que seja analisada em campo para que se possa identificar com clareza os fatores influenciadores de desempenho (DNV, 2023).

- 4) **Análise de erros** - a análise de erros é um método para compreender como o erro humano pode contribuir para a causa de acidentes. Inclui determinar os fatores de desempenho que podem representar condições geradoras de erros. Para realizar uma análise de erros, é útil ter uma compreensão básica do erro humano como um fenômeno psicológico e comportamental e compreender como o contexto afeta o desempenho (DNV, 2023).
- 5) **Modelo de causalidade do acidente (opcional)** - a análise de erros descrita na etapa anterior limita-se a considerar as consequências de erros humanos individuais. Compreender como as combinações de erros humanos podem causar eventos perigosos pode fornecer informações adicionais e valiosas sobre como reduzir o risco. Para esta etapa, o método recomenda o uso de uma análise qualitativa de árvore de falhas para representar visualmente a relação causal entre eventos que, individualmente ou em combinação, contribuem para a ocorrência de um evento topo (DNV, 2023).
- 6) **Melhoria do desempenho humano e tolerância ao erro** – a compreensão do efeito dos erros humanos na segurança do sistema cria oportunidades para revelar áreas de preocupação e a confiança de que os recursos investidos contribuem para a redução do risco (DNV, 2023).
- 7) **Priorização e comunicação das recomendações** - o passo anterior pode resultar numa lista abrangente de observações e recomendações que podem exigir recursos para o proprietário do risco acompanhar e implementar. Este passo envolve a priorização, comunicação das recomendações do estudo às partes interessadas, além do acompanhamento das ações necessárias para sua implementação (DNV, 2023).

3.2.4. Investigação de Acidentes

A guia apresentada pela IOGP com o nome de “Relatório 621 - Desmistificando Fatores Humanos: Construindo confiança na investigação de Fatores Humanos” é uma das boas práticas de Fatores Humanos reconhecidas pela ANP para o setor de petróleo. O

documento estabelece os papéis, as etapas da investigação de acidentes, as possíveis abordagens em Fatores Humanos para cada uma destas etapas, além de orientações sobre a implementação da guia.

Ao longo das seções anteriores, foi possível demonstrar o papel do ser humano no gerenciamento de barreiras. Pessoas são responsáveis por projetar, operar e manter as barreiras e, dessa forma, seu desempenho afeta diretamente a eficácia dos controles de proteção. Um bom processo de investigação deve permitir compreender os motivos pelos quais os erros ocorreram. Isso se torna importante na medida em que os aprendizados possam auxiliar no projeto de plantas mais seguras, ferramentas mais eficazes e ambientes mais seguros ao permitir que o erro seja reduzido e que barreiras sejam robustas o suficiente para resistir a estes erros, quando ocorrem (IOGP, 2018).

A guia estabelece boas práticas para uma abordagem de Fatores Humanos ao longo de cada uma das etapas de investigação: preparação, coleta de evidências, análise, resultados e recomendações e relatório. A maior contribuição da prática é a abordagem da investigação com ênfase na identificação dos fatores influenciadores de desempenho humano e especialmente nas condições latentes que fragilizam as barreiras e em alguns casos, somente são revelados com a ocorrência de um acidente (IOGP, 2018).

Importante também mencionar que, apesar de não citadas outras metodologias pela ANP, existem também outras metodologias focadas nos Fatores Humanos durante a investigação de acidentes, entre elas a HFACS - Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos (em inglês: HFACS – *Human Factors Analysis and Classification System*), apresentada em seção anterior como uma ferramenta que pode ser utilizada de forma preditiva para auxiliar a compreensão das potenciais falhas ativas e latentes dentro de uma organização, foi originalmente criada para a investigação de acidentes.

4. ABORDAGEM TÍPICA EM UMA UNIDADE FPSO

A intenção desta seção é apresentar as bases do gerenciamento de riscos aplicado a uma típica unidade FPSO tendo como enfoque os aspectos relevantes associados ao gerenciamento de barreiras. As informações apresentadas a seguir foram baseadas no sistema de gestão de uma operadora internacional de unidades FPSO.

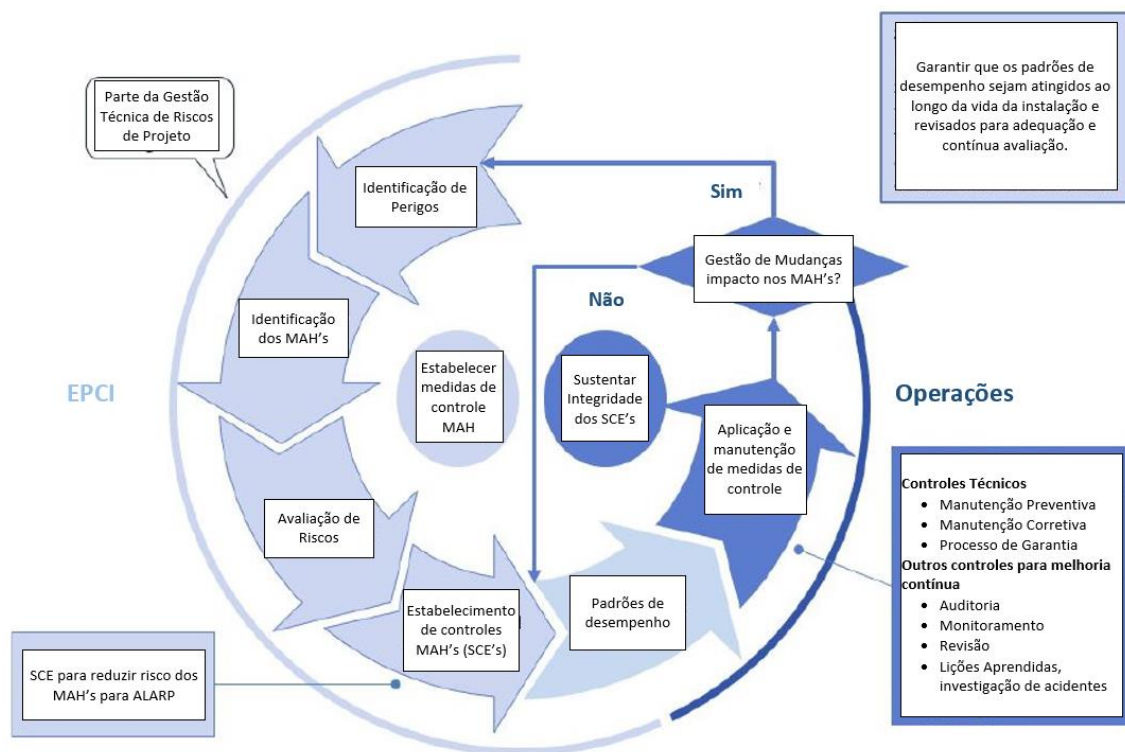
O objetivo principal das filosofias de projeto de uma unidade FPSO é prevenir, mitigar ou reduzir os riscos associados aos perigos com potencial de causar grandes acidentes, aqui chamados de MAH's (do inglês: *Major Accident Hazards*). Estes perigos têm

potencial significativo para causar múltiplas fatalidades ou danos de grande magnitude e/ou longo prazo ao meio ambiente.

Os MAH's presentes em uma unidade offshore do tipo FPSO mais significativos são normalmente relacionados aos potenciais dos hidrocarbonetos inflamáveis ou tóxicos e perigos associados a situações dinâmicas, como operações marítimas e de helicópteros. As estimativas de risco associadas aos MAH's combinam a probabilidade de ocorrência de eventos acidentais e a gravidade potencial das consequências imediatas e de escalada. Estes riscos são gerenciados por combinações de características de segurança inerentes, medidas de prevenção e de mitigação, que podem incluir elementos de *hardware* e humanos.

O ciclo de vida de gestão dos MAH's é o reconhecimento de que os riscos associados a estes perigos, os seus mecanismos de gestão e a sua percepção podem mudar ao longo do tempo, e que devem ser implementados controles para garantir que permanecem dentro de níveis aceitáveis ao longo de todo o ciclo de vida do ativo. A percepção da organização considerada neste trabalho sobre o ciclo de vida do gerenciamento de um MAH está apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Ciclo de vida da gestão dos MAH's



FONTE: Adaptado de MAH Management Lifecycle Strategy

O Gerenciamento dos MAH's envolve as seguintes etapas:

- Identificação dos Perigos

A identificação dos perigos é realizada primária e primordialmente durante as sessões de HAZID (do inglês: *Hazard Identification*) mas outras oportunidades de identificação são possíveis ao longo de todo o processo de Gestão Técnica de Riscos de Projeto, apresentado de forma mais detalhada a seguir.

O HAZID realiza uma revisão de alto nível do projeto de uma unidade FPSO, criando a oportunidade de identificar os perigos associados com as atividades e ao mesmo tempo prever quaisquer problemas que possam prejudicar a sua segurança ou operabilidade, ou que de alguma forma possam impactar as atividades de engenharia.

Os principais objetivos do estudo HAZID são:

- a) Identificar os perigos relacionados à segurança da unidade, incluindo alterações subsequentes no projeto por meio do gerenciamento de mudanças;
- b) Determinar as potenciais consequências dos perigos identificados;
- c) Identificar as salvaguardas de engenharia já incorporadas ao projeto que reduzirão a probabilidade ou a consequência associada aos perigos identificados;
- d) Avaliar a adequação das salvaguardas de engenharia existentes para a unidade e, se necessário, recomendar salvaguardas de engenharia adicionais e/ou controles de procedimentos futuros, quando necessário; e
- e) Avaliar de forma qualitativa os riscos associados aos perigos identificados.
- f) Identificar os MAHs e fornecer as bases para a determinação dos elementos críticos de segurança SCEs (do inglês: *Safety Critical Elements*).

- Identificação dos MAH's

O resultado da avaliação de riscos qualitativa realizada durante o exercício de HAZID fornece a lista inicial de MAH's da unidade. O critério para que um perigo seja classificado como um MAH é baseado na severidade potencial das consequências associadas aos cenários identificados durante o HAZID:

MAH: um perigo com Gravidade Maior ou Catastrófica com base na Matriz de Risco devido a uma ou ambas das seguintes consequências:

1. Pessoas

- a. Catastrófico – Múltiplas fatalidades.

2. Meio Ambiente

- a. Maior – Liberação/derramamento com sério impacto de médio prazo no meio ambiente (>1.000 barris <10.000 barris)

b. Catastrófico – Liberação/derramamento com impacto significativo a longo prazo no meio ambiente (>10.000 barris)

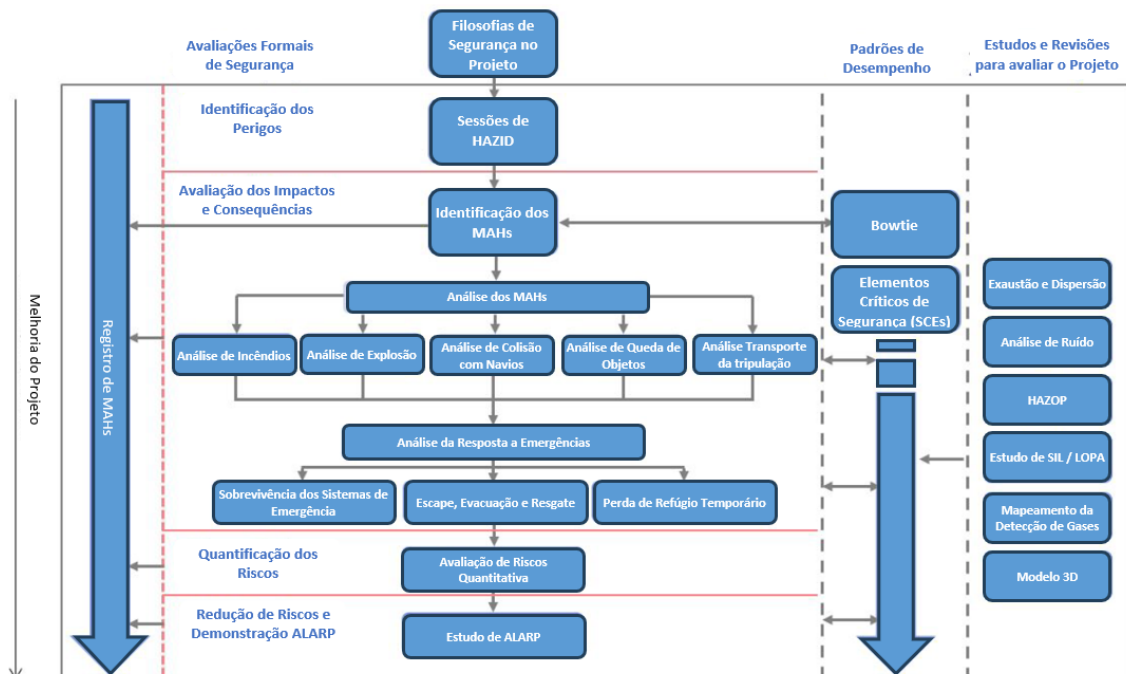
- Avaliação dos Riscos

Uma avaliação de riscos envolve as seguintes etapas:

- a) Definir a base da avaliação de riscos;
- b) Identificar os perigos e os eventos perigosos associados;
- c) Classificar o risco dos eventos perigosos identificados, destacando os mais graves;
- d) Avaliar a probabilidade e os possíveis efeitos dos eventos mais graves;
- e) Combinar as estimativas da probabilidade e dos efeitos dos eventos mais graves em medidas de risco para avaliação em relação aos critérios de aceitabilidade de risco acordados;
- f) Considerar medidas de redução de riscos até que os riscos de eventos mais graves sejam considerados toleráveis e ALARP.

Durante a fase de projeto, a avaliação dos riscos se baseia na Gestão Técnica de Riscos de Projeto, cujas bases são apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Gestão Técnica de Riscos de Projeto



FONTE: Adaptado de *MAH Management Lifecycle Strategy*

A divisão da avaliação de risco em estudos separados é flexível e pode ser revisada para otimizar os resultados, desde que todos os efeitos significativos do MAH e os aspectos

de gerenciamento sejam abordados de forma adequada. Os resultados do estudo de identificação de perigos também podem sugerir estudos adicionais para tratar de perigos específicos (por exemplo, riscos tóxicos, se forem relevantes).

Esta etapa é parte extremamente relevante na definição das bases do gerenciamento de barreiras, uma vez que, não só elas passam a ser identificadas de maneira mais clara e definitiva ao mesmo tempo que se torna possível a visualização dos elementos de barreiras associados e especialmente as demandas de desempenho exigidas para elas.

A Gestão Técnica de Riscos de Projeto lança mão de uma série de estudos necessários para identificar as medidas de controle necessárias para, com base em subsídios de estudos inicialmente qualitativos, demonstrar o ALARP com base em demonstração quantitativa.

Alguns perigos e seus cenários associados identificados durante o exercício de HAZID requerem uma análise profunda das potenciais consequências de sua liberação. A gestão de riscos utiliza estudos para avaliação de impactos e consequências muitas vezes necessários para subsidiar uma quantificação de riscos e uma consequente demonstração de ALARP. Estes estudos são em sua maioria, modelamentos necessários para demonstração de efeitos de liberação de cenários indesejados às pessoas, ao meio ambiente e ao ativo. Entre eles, é possível citar os Estudos de Propagação de Incêndio, Análise de Explosão e de Queda de Objetos. Ao mesmo tempo que fornecem informações necessárias para uma avaliação quantitativa de riscos, também disponibilizam informações necessárias à especificação de barreiras como proteção passiva, quantidade e posicionamento de detectores de incêndio, proteções estruturais. São também importantes para a avaliação da adequação dos recursos de resposta a emergências como sobrevivência de barreiras, disponibilidade de rotas de fuga, robustez do refúgio temporário.

O lado mais a direita do diagrama está intimamente ligado com o gerenciamento de barreiras nos moldes apresentados até aqui. Isso porque ele está ligado a determinação dos elementos críticos de segurança SCE's, e dos padrões de desempenho associados. Também incorpora os estudos e revisões para avaliação do projeto, que inclui o HAZOP (do inglês *Hazards and Operability*), o estudo de SIL – Nível de Integridade de Segurança (do inglês: *Safety Integrity Level*) e a LOPA, já comentada em seção anterior como uma das ferramentas estratégicas para gestão de barreiras.

- Estabelecimento de Controles MAH's (SCE's)

Os MAHs identificados durante o exercício de HAZID são modelados de acordo com metodologia *Bowtie*, para facilitar a identificação das barreiras, salvaguardas e seus elementos, que passarão a ser considerados Elementos Críticos de Segurança (do inglês, *Safety Critical Elements* ou SCE).

Um Elemento Crítico de Segurança é um componente, sistema ou processo em uma operação industrial, que desempenha um papel fundamental na prevenção ou mitigação de acidentes com potencial para grandes perdas. Os SCEs são essenciais para manter a segurança e a integridade da operação e proteger o pessoal, o meio ambiente e os ativos contra possíveis danos (ANP, 2007).

Os SCEs podem ser procedimentos, sistemas ou equipamentos críticos à unidade. No caso de procedimentos críticos, é esperado que uma análise de confiabilidade humana seja desenvolvida.

- Padrões de Desempenho

Cada SCE deve ter sua função claramente definida e estabelecidos os requisitos de desempenho em termos de funcionalidade, confiabilidade / disponibilidade e capacidade de sobrevivência. Isso se dá através do desenvolvimento de Padrões de Desempenho, os quais são requisitos essenciais para um SCE, para que seja assegurada a sua capacidade de atuação e eficácia. Cabe ressaltar que não tem sido ainda comum a prática de desenvolvimento de padrões de desempenho humano para os procedimentos críticos, o que conflita com as boas práticas de gerenciamento de barreiras.

- Aplicação e Manutenção de Medidas de Controle

Padrões de Desempenho para cada equipamento SCE identificado permitem elaborar Tarefas de Garantia Operacional.

Tarefas de Garantia Operacional são atividades de inspeção ou teste capazes de avaliar o atendimento aos padrões de desempenho estabelecidos. Nem toda atividade de manutenção em um equipamento crítico é uma tarefa de garantia operacional, se a sua função não permite verificar o atendimento aos padrões de desempenho. São consideradas tarefas obrigatórias para garantir a funcionalidade do SCE e são utilizadas como a principal ferramenta para gerenciar o nível de confiabilidade dos sistemas críticos de segurança de uma FPSO. Desta forma, as Tarefas devem abordar de forma específica e exclusiva as atividades de garantia, para validar a operação do SCE necessário para que sua referida barreira seja considerada efetiva e disponível.

Segue abaixo exemplo de estrutura para um SCE, Padrão de Desempenho e Tarefa de Garantia Operacional:

- SCE: Alívio de Pressão
- Padrão de Desempenho: O sistema de alívio de pressão deve ser fornecido como uma proteção para evitar sobre pressão onde a pressão possa subir acima da pressão projetada do sistema.
- Tarefa de Garantia Operacional: Calibração de PSV (Válvula de Segurança de Pressão) e inspeção interna devem ser realizadas seguindo os devidos procedimentos do sistema de gestão. Os critérios de aceitação são estabelecidos nos referidos procedimentos.

Da mesma forma que o sistema de alívio de pressão exemplificado acima, cada um dos equipamentos críticos da unidade também dispõe de Padrões de Desempenho e Tarefas de Garantia Operacional adequadas a sua função.

Cabe ressaltar aqui que, uma vez que não há um Padrão de Desempenho Humano associado as tarefas críticas estabelecido na forma das boas práticas, pode-se identificar uma fragilidade em relação a garantia da continuidade operacional associada a estas mesmas tarefas. Tarefas associadas a resposta a emergências trazem consigo a vantagem de frequência de execução de simulados, prevista no Plano de Emergência da unidade. Ainda assim, parece haver uma fragilidade na maneira como a execução das tarefas críticas dentro de padrões aceitáveis é assegurada quando comparamos com verificação de atendimento a padrões de desempenho dos equipamentos, possibilitada pela execução de Tarefas de Garantia Operacional.

Em se tratando da abordagem dada a FPSOs, o ser humano é colocado muitas vezes em uma posição crítica a fim de mitigar o risco de um evento já ocorrido escalar para consequências mais severas. A exemplo do mencionado anteriormente, segue descrição de parte de uma estrutura *Bowtie* para o evento de topo de liberação de hidrocarboneto ao mar:

- Evento topo: Perda de contenção de hidrocarboneto com vazamento para o mar
- Controle 1: Sistema de Detecção de Fogo e Gás da Unidade
- Controle 2: Resposta do Operador aos Alarmes do Processo (ação caso o Controle 1 não seja efetivo)

No caso apresentado acima, pode-se notar que o papel do operador está na mitigação do evento de perda de contenção e, somente, entraria em ação caso o sistema de detecção de fogo e gás da planta não fosse suficiente para controlar as consequências do evento.

No entanto, é possível identificar que nem sempre existe clareza quanto à expectativa sobre a atuação do operador, somente que ele entrará em ação caso as consequências do evento evoluam para consequências mais severas, o que parece inaceitável.

Da mesma forma, porém com carga potencial maior sobre o ser humano, seria se ao invés de um sistema inicialmente previsto para atuar, vide sistema de fogo e gás no exemplo anterior, o controle imediatamente seguinte para o caso de um evento topo ter ocorrido fosse a ação humana ou que dependesse da mesma.

Ainda no cenário de perda de contenção de hidrocarboneto com vazamento para o mar, se avaliada uma perspectiva inicial para potencial ocorrência do evento topo, o erro humano é apontado como uma ameaça, quando levado em consideração a aplicação adequada de isolamento para evitar a perda de contenção. De forma similar à atuação do operador no caso de ineficiência ou não atuação do sistema de fogo e gás, não é previsto desempenho esperado do ser humano para verificação de eficácia da sua atuação, o que poderia ser feito através do cálculo de probabilidade de erro humano, através da aplicação de metodologia de confiabilidade humana.

Diferentemente da abordagem dada ao ser humano, quando se trata do aspecto tecnológico (máquinas, sistemas, tubulações etc.), claramente observa-se um padrão de atuação estabelecido para esses atores.

A exemplo do cenário de perda de contenção de hidrocarbonetos, é esperado que no contexto da seleção de materiais utilizados, a seleção de equipamentos, tubulações e acessórios deve ser compatível com os fluidos de hidrocarbonetos e produtos químicos do sistema.

Embora a metodologia *Bowtie* e seus recursos de suporte proporcionem uma estrutura relevante quanto aos perigos identificados e controles mapeados sobre um cenário previsto, somente a metodologia não se faz suficiente quando se trata dos fatores humanos ao longo do processo.

Diante das limitações das metodologias tradicionais de análise de riscos, a indústria de petróleo e gás tem incentivado cada vez a aplicação de técnicas alternativas para identificação de perigos que possam acarretar desastres, levando em consideração os fatores humanos.

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da Prática de Gestão Nº 4 Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos do Regulamento Técnico do Sistema de Gestão de Segurança Operacional, estabelece que as organizações responsáveis pelo gerenciamento e execução das operações relacionadas

à perfuração, produção, armazenamento ou transferência de petróleo e gás natural devem analisar os aspectos de ambiente de trabalho considerando os fatores humanos em todas as fases do ciclo de vida da instalação e de seus sistemas, estruturas e equipamentos.

De forma a melhorar como os fatores humanos são levados em consideração ao longo da vida de uma FPSO, a organização utilizada como base deste trabalho, faz uso de uma técnica denominada Análise de Tarefas Críticas de Segurança (do inglês, *Safety Critical Task Analysis*).

Ressalta-se, porém, que, apesar de importante e trazer muitos benefícios, a Análise de Tarefas Críticas de Segurança é uma atividade que não permite calcular a Probabilidade de Erro Humano, necessária para aprimoramento da gestão dos fatores humanos no gerenciamento de barreiras, como apontado nas seções anteriores e que só pode ser obtida através da aplicação de métodos de Análise de Confiabilidade Humana. Apesar de identificado como um avanço na incorporação dos Fatores Humanos no projeto da unidade, de forma isolada, o *SCTA* não é capaz de suprir todas as demandas apontadas ao longo deste trabalho, uma vez que ele não se baseia numa análise sistemática do impacto dos fatores influenciadores de desempenho, não permitindo que se compreenda a relação entre estes fatores de desempenho e a ocorrência do erro humano.

O principal aspecto da *SCTA* que a diferencia de outras técnicas similares é que ela se concentra na análise detalhada das tarefas que são identificadas como “críticas para a segurança”. Para projetos complexos com muitas atividades, a *SCTA* pode, portanto, ser uma abordagem útil para ajudar na análise dos fatores humanos para tarefas que são mais críticas para garantia de operações seguras.

O objetivo da *SCTA* é identificar as tarefas críticas de segurança para a FPSO, determinar o risco de erro humano nessas tarefas que podem levar a um risco de acidente grave e avaliar se os controles implementados são suficientes para controlar o risco de erro humano a um nível *ALARP*.

A *SCTA* deve ser focada na fase de operação da unidade FPSO e, portanto, exclui tarefas de construção, instalação ou comissionamento.

Abaixo, serão apresentadas as etapas relacionadas ao processo de *SCTA*.

Etapa 1: Identificação dos Principais Perigos

Os MAHs da FPSO devem ter sido identificados antes da realização do *SCTA* e estar listados no HAZID da unidade. O registro MAHs da FPSO pode ou não estar disponível no momento do *SCTA*.

Esta etapa serve para confirmar que os MAHs da FPSO foram previamente identificados e informar os participantes do *workshop* para SCTA sobre tais perigos.

Etapa 2: Identificação e Priorização das Tarefas Críticas de Segurança

Tarefas Críticas de Segurança (SCT) são tarefas onde uma falha humana poderia:

- Levar diretamente a um acidente grave
- Resultar no desdobramento de um acidente grave
- Reduzir a eficácia de uma barreira contra um acidente grave; ou
- Impactar no potencial de recuperação de um acidente grave.

A priorização das SCT é realizada através da avaliação das consequências de falha da tarefa e o nível de envolvimento humano. Um exemplo de abordagem matricial é mostrado a seguir através das Tabelas 1 e 2, bem como na Figura 10.

Tabela 1 - Consequências da Falha Humana

Consequências da Falha Humana	Descrição
Alta (A)	Uma falha humana que pode resultar diretamente na realização de um MAH.
Moderada (M)	Uma falha humana que pode escalar a um MAH se outras barreiras forem consideradas com risco de falha.
Baixa (B)	Uma falha humana que não evolua diretamente ou indiretamente a um MAH.

Tabela 2 - Nível de Envolvimento Humano

Nível de Envolvimento Humano	Descrição
Alta (A)	A tarefa envolve interações humanas intensa ou complexas com equipamentos ou processos críticos para a segurança (por exemplo, a tarefa envolve alta demanda cognitiva, alta demanda de memória, múltiplas atividades simultâneas, interrupções frequentes em etapas críticas etc.)
Moderada (M)	A tarefa envolve interações humanas limitadas ou simples com equipamentos ou processos críticos de segurança (por exemplo, a tarefa envolve demanda cognitiva moderada, requer alguma lembrança de dados críticos; pode haver alguma sobreposição entre atividades, às vezes ocorrem interrupções).
Baixa (B)	A tarefa envolve interações humanas mínimas com equipamentos ou processos críticos de segurança (por exemplo, a tarefa é simples, direta, requer pouca recuperação de dados críticos; as etapas são sequenciais, interrupções são raras).

Figura 9 - Matriz de Prioridades de SCT

Consequências	A			
	M			
	B			
		B	M	A
		Nível de Envolvimento Humano		

Uma vez definida a prioridade das tarefas, é realizado o registo das SCTs em associação à sua priorização associada. Neste registo, podem ser considerados os MAHs, bem como os responsáveis pela execução da tarefa. Depois de todas as SCTs potenciais terem sido priorizadas, o foco deve ser a avaliação das SCTs identificadas como tendo alta prioridade.

Etapa 3: Compreendendo a Tarefa Crítica de Segurança

O objetivo desta etapa é estabelecer, em termos simples, uma descrição sucinta, mas abrangente de cada SCT identificada. Isso inclui:

- O que é feito e por quem;
- Em que sequência;
- Quais ferramentas e informações são necessárias;
- Que interações com outras pessoas são necessárias;
- Se há necessidade de múltiplas tarefas.

Devem também ser identificados fatores com potencial para afetar o desempenho humano, tais como condições de trabalho (ruído, iluminação etc.), pressão de tempo para execução da tarefa, falta de estímulo durante tarefas de supervisão etc.).

Etapa 4: Representando a Tarefa Crítica de Segurança

Com as etapas anteriores concluídas, é possível representar as SCTs de forma que possam ser sistematicamente analisadas e as subtarefas identificadas. No entanto, se as etapas subsequentes da SCTA forem realizadas para cada subtarefa de uma SCT, muitas das quais podem não ser críticas para a segurança, haverá desperdício de esforço e será dada

menos atenção aos aspectos críticos para a segurança das tarefas. Portanto, é importante identificar as subtarefas dentro das tarefas gerais que são críticas para a segurança e que exigem análises adicionais e estruturadas de falhas humanas.

De forma simples, isso pode envolver listar as etapas de uma tarefa. As descrições das tarefas devem sempre começar com um verbo. Esta regra ajuda a análise a se concentrar nas tarefas, em vez de em conceitos mais vagos, como o trabalho ou o trabalho de uma pessoa. É costume registrar as funções envolvidas na execução da tarefa. Para tarefas bem compreendidas e relativamente simples, isso pode ser suficiente para prosseguir para a próxima etapa do processo. Para tarefas mais complexas, como aquelas que envolvem sequências variáveis de subtarefas condicionadas a subtarefas anteriores, ou para ajudar a obter uma visão geral de todas as etapas de uma tarefa, pode ser útil empregar técnicas adicionais.

Uma técnica conhecida é a Análise Hierárquica de Tarefas (do inglês, *Hierarchical Task Analysis* ou HTA). HTA representa tarefas em termos de hierarquias de cima para baixo, que podem ser mostradas como um diagrama de árvore, o que representa uma boa visualização.

Etapas 5: Identificando as Falhas Humanas e os Fatores de Desempenho Humano

Para cada uma das principais subtarefas representadas na Etapa 4, devem ser identificadas potenciais falhas humanas. Há uma variedade de técnicas para fazer isso, incluindo métodos baseados em grupo e técnicas normalmente usadas individualmente. A abordagem adotada pela organização se baseia em aplicar um conjunto de palavras-guia relacionadas à falha para cada etapa da tarefa.

Associado à identificação de falhas são consideradas:

- As medidas de segurança existentes em vigor, incluindo o potencial atual de recuperação da falha específica.
- As consequências potenciais da falha se a recuperação não for alcançada. Se não houver consequências relacionadas com a segurança do MAH, não será necessária uma análise mais aprofundada desta falha em termos de SCTA. No entanto, se houver consequências ambientais ou comerciais significativas, estas poderão ser incluídas em estudos paralelos ou futuros.
- Os fatores de desempenho humano relevantes para a falha. Normalmente, incluem ambiente, treinamento, ferramentas, interface homem-máquina, supervisão, padrões de trabalho, equipe e questões sociais etc. Estes fatores devem ser

incluídos como parte da coleta de dados na Etapa 3 e analisados mais detalhadamente na Etapa 5.

Tendo concluído esta etapa, o processo de *SCTA* terá analisado a situação atual no local em relação às tarefas críticas e será possível determinar se é necessária uma redução adicional do risco.

Etapa 6: Determinando Medidas de Segurança para Controlar as Falhas Humanas

Uma vez identificadas potenciais falhas humanas, deve ser considerada a seguinte hierarquia de controles de risco adicionais:

- O perigo pode ser removido?
- A contribuição humana pode ser removida, por exemplo, por um sistema automatizado mais confiável?
- As consequências da falha humana podem ser evitadas (ou mitigadas), por exemplo, por barreiras adicionais no sistema?
- O desempenho humano pode ser garantido por meios mecânicos ou elétricos? Por exemplo, a ordem correta de operação de uma válvula pode ser assegurada através de sistemas de intertravamento de chave física ou a operação sequencial de interruptores em um painel de controle pode ser assegurada através de controladores lógicos programáveis. Não se deve confiar apenas nas ações dos indivíduos para controlar um perigo grave.
- Os fatores de desempenho humano podem ser otimizados (por exemplo, melhorar o acesso ao equipamento, aumentar a iluminação, proporcionar mais tempo disponível para a tarefa, melhorar a supervisão, rever procedimentos ou abordar necessidades de formação)?

Ao identificar medidas de segurança adicionais, é importante considerar que a introdução de novos controles também pode introduzir impactos negativos não intencionais na segurança. Por exemplo, um novo sistema automatizado, hipoteticamente mais confiável, pode introduzir novas e importantes falhas de manutenção. A consideração de novos modos de falha e seus riscos deve fazer parte desta etapa.

Etapa 7: Implementando e Monitorando a Efetividade das Medidas de Segurança

O resultado da etapa anterior será um conjunto de medidas de segurança adicionais, que podem incluir aspectos como atualizações de procedimentos, *briefings* sobre novos equipamentos, treinamentos etc. Uma vez implementadas, é importante verificar se as

medidas estão gerando o efeito pretendido. As informações obtidas podem vir de atividades de gestão de segurança existentes, como auditorias, inspeções, revisão de eventos ocorridos e até mesmo investigações de incidentes. No entanto, obter retorno do pessoal que implementa as medidas de segurança fornece diretamente informações adicionais relevantes. Análises pós-tarefa podem ser usadas para entender se as alterações no equipamento ou as atualizações de procedimentos estão funcionando conforme o esperado. O *feedback* da supervisão proveniente das suas observações e discussões também pode fornecer boas informações para melhoria. Quando o *feedback* sugerir que as medidas de segurança precisam ser alteradas, a verificação dos resultados do SCTA deverá ajudar a esclarecer como a medida deveria funcionar.

Etapas 8: Revisando a Efetividade do Processo de SCTA

À medida que o processo de realização de SCTAs ocorre, devem ser realizadas revisões regulares para verificar se as SCTAs estão gerando resultados de qualidade. É provável que seja mudanças ocorram nas etapas no processo à medida que a análise é aplicada, levando em consideração a experiência da aplicação do processo.

Embora o processo de SCTA apresente uma estrutura robusta, é possível identificar que há foco na falha humana em si, mas informações sobre o que esperar do desempenho humano, não são estabelecidas. Um exemplo disso, é a não existência de padrões de desempenho quando levado em consideração o ser humano como uma barreira.

5. PRINCIPAIS PREOCUPAÇÕES NA APLICAÇÃO DOS FATORES HUMANOS NO GERENCIAMENTO DE BARREIRAS

- Confiança exagerada nos modelos de gerenciamento de barreiras aplicados

Apesar da grande importância do uso de modelos e métodos na identificação, avaliação, e gestão dos perigos e riscos, não se deve gerar a expectativa de que eles sejam capazes de cobrir todo os fatores necessários ao gerenciamento destes riscos. Com o uso do modelo *Bowtie* e da *LOPA*, não é diferente. Mesmo sendo ferramentas extremamente úteis na organização, entendimento, comunicação e até mesmo facilitação da gestão ao longo das atividades, há uma série de outros aspectos a serem analisados e que os modelos sozinhos não são capazes de fornecer, especialmente em relação aos fatores que impactam o desempenho humano. Não há aqui crítica negativa ao uso dos modelos, mas uma preocupação com a falta de entendimento de suas limitações e de que eles sejam utilizados

como únicos e suficientes recursos no gerenciamento de barreiras, sem que outras importantes técnicas e análises sejam incorporadas.

Há um conjunto grande de atividades humanas na estrutura organizacional que também desempenham papel fundamental na gestão de segurança que, mesmo não sendo desenvolvidas na linha de frente operacional, contribuem e influenciam o desempenho operacional. Atividades como monitoramento, auditorias, análise crítica e revisão do sistema de gestão, precisam também funcionar bem e devem ser capazes de avaliar de forma realista quando os sistemas funcionam bem ou quando existem sinais de falhas.

- Falta de consideração da visão sistêmica dos fatores humanos e do contexto

Os modelos de barreiras nem sempre levam em consideração a visão sistêmica dos fatores humanos e organizacionais que, apesar de não estarem na linha de frente da operação, influenciam o seu nível de desempenho.

- Credibilidade dos dados inseridos nos modelos de gerenciamento de barreiras

Qualquer modelo de análise necessita da inserção de dados e nem sempre há garantia de que os dados populados sejam reais. Os métodos para avaliar a confiabilidade das barreiras e elementos baseados em engenharia são amplos e bem difundidos. O mesmo não parece acontecer com as barreiras e elementos humanos. As tarefas são muitas vezes modeladas como se supõe que sejam executadas sem a análise de como elas são realmente executadas e mais que isso, sem a identificação e tratativa dos fatores que podem influenciar a probabilidade de erros, o que cria expectativas irreais. Controles procedimentais são por vezes inseridos nos modelos sem que sejam identificadas as tarefas críticas que deveriam ser profundamente analisadas para garantir que elas sejam consideradas como realizadas na prática e não como se supõe que ela seja realizada. A participação de operadores experientes nas análises e a verificação da realização das tarefas em campo é extremamente importante para garantir que os dados referentes a fatores humanos possam ser incorporados aos modelos de maneira crível.

- Barreiras implementadas sem que atendam os critérios

Comumente, são identificadas barreiras que não atendem aos critérios necessários para tal. Em muitos casos, salvaguardas são tratadas como barreiras e, dessa forma, não deveriam ter os mesmos níveis de confiança e robustez aferidos.

- Erros humanos modelados como ameaças genéricas

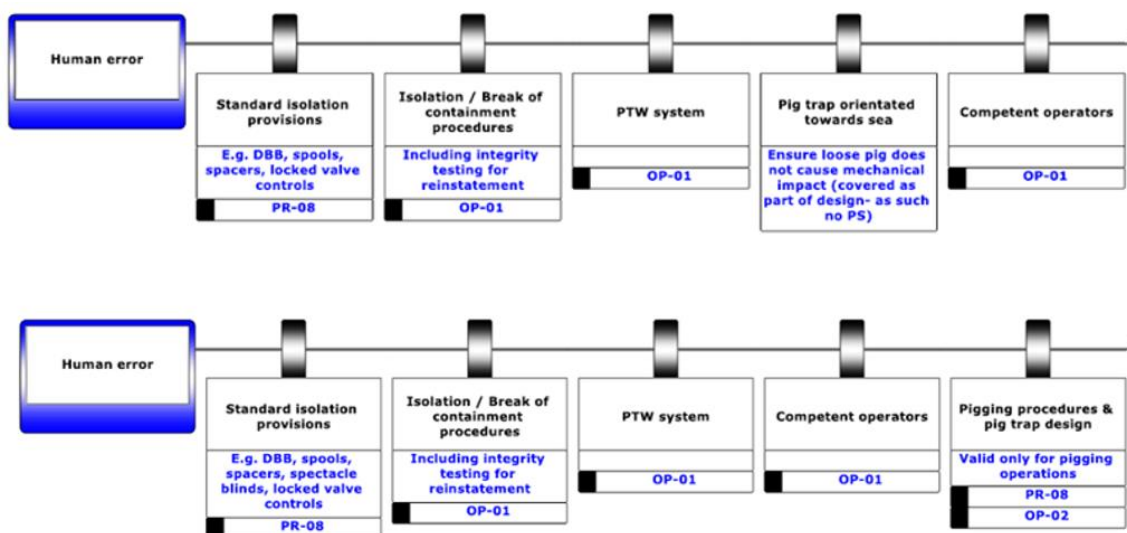
É comum que o erro humano seja modelado como uma ameaça, exigindo-se que controles sejam implementados para impedir que este erro leve a um evento topo, ao invés de

reconhecer as verdadeiras barreiras e garantir que elas sejam eficientes contra quaisquer fatores de degradação - dos quais o erro humano é normalmente apenas um deles.

O uso do erro humano como ameaça que leva diretamente a um evento topo gera falhas estruturais na construção do *Bowtie*. Isso pode gerar aplicação de barreiras que não atendem aos critérios de validação, posicionamento de controles de degradação no lugar de barreiras com consequente cascadeamento para os demais componentes do *Bowtie* (CCPS, 2018).

A prática de tratar o erro humano de forma genérica gera uma falsa sensação de segurança e pode interferir na tentativa de criar uma cultura de segurança positiva ao marginalizar as pessoas e somente focar no ser humano quando ele comete erros graves. O foco é mantido na otimização da tecnologia e às pessoas é relegado o restante. Essa abordagem também exclui a oportunidade de construção de flexibilidade e adaptabilidade em sistemas através de um aprofundamento e compreensão em relação à contribuição das pessoas à resiliência e para evitar que haja consequências indesejáveis (CIEHF, 2016). As Figuras 11 e 12 são exemplos ilustrativos de uma abordagem inadequada de *Bowtie* considerando o erro humano como ameaça.

Figura 10 - Exemplos de erros humanos modelados como ameaças *Bowtie*



Notar que, além da abordagem inadequada do erro humano, que levam a considerar ameaça de erro humano que deveria ser modelado como uma ameaça e barreiras no caminho principal da ameaça que na realidade deveriam ser modeladas como controles de degradação. Outros aspectos a se considerar:

- Sem uma análise aprofundada das tarefas, de que forma seria possível identificar, por exemplo, qual a competência e nível requeridos para um “operador competente”?
- Nem todos os controles modelados atendem aos critérios de robustez para serem consideradas barreiras. Se o erro humano tivesse sido incorporado como um fator de degradação, os controles para evitar a degradação, não necessariamente precisariam atender a estes mesmos critérios, porém, compreenderíamos de forma mais assertiva o nível de confiança que podem ser atribuídos a estes controles. O número de barreiras modelado pode passar uma falsa sensação de segurança com base em salvaguardas que não necessariamente deveriam merecer o mesmo nível de confiabilidade.

Tipicamente, Bowties devem endereçar erros humanos como fatores de degradação e não como ameaças. A CCPS recomenda o uso de uma abordagem de “*Bowtie Multi Nível*” para lidar com os erros humanos (CCPS, 2018):

“Esta abordagem pode ser resumida da seguinte forma: bow ties multiníveis começam com um bow tie padrão, mas tornam a falha de uma barreira no caminho principal o evento principal de um nível de extensão. Eles examinam como o controle de degradação da barreira da via principal pode ser derrotado e o que precisa ser implementado para garanti-lo”.

“Contudo, é necessário sublinhar que as medidas a nível da extensão são todos controles de degradação; as barreiras estão localizadas apenas nas vias principais do bow tie padrão.”

Apesar de gerar maior complexidade e demanda de trabalho para elaboração, o uso de Bowties Multi Nível permite visualização e controle mais clara dos fatores humanos nos diagramas, além de garantir a alocação dos erros humanos em uma perspectiva técnica mais apropriada e na localização onde devem ser considerados.

- Falta de análise profunda sobre probabilidade de erro humano

Outra preocupação é a falta de uma análise mais profunda sobre a probabilidade do erro humano e os fatores influenciadores de desempenho. Grande parte do enfoque se concentra na análise do desempenho dos sistemas técnicos, que contam com métodos de análise de confiabilidade e determinação de métodos de falha bem difundidos e aplicados. A influência do erro humano na confiabilidade das barreiras costuma ser relegada a segundo plano. Todas as barreiras sofrem de alguma forma influência da atuação humana, seja no desempenho de suas funções de controle de riscos, seja na sua disponibilidade e

eficiência, garantida através de atividades como manutenção e inspeção realizadas por seres humanos. É necessário compreender:

- O que se pretende alcançar com a execução de uma tarefa crítica;
- Como a tarefa é executada;
- Quais as consequências da realização da tarefa de forma diferente de como ela foi idealizada;
- Quais potenciais erros podem ser cometidos;
- Quais os fatores influenciadores de desempenho humano associados aos potenciais erros na execução da tarefa;
- Qual a probabilidade de que os erros ocorram;
- De que forma essa probabilidade de erro impacta a confiabilidade da barreira, inclusive quando associada as probabilidades de falha dos sistemas técnicos;
- O que pode ser feito para minimizar a probabilidade de erro humano;
- Falta de compreensão da complexidade das tarefas críticas.

O entendimento de que a adoção da metodologia *SCTA* de forma única e isolada possa levar a compreensão de todos os itens acima elencados é uma inverdade, já que ela não permite uma sistematização para análise dos fatores influenciadores de desempenho humano envolvidos na execução das tarefas. A análise das tarefas por profissionais experientes e ligados a disciplinas diversas é importante, mas utilizada de forma única, não permite a análise e discussão profunda de todos os fatores influenciadores do desempenho humano. Ainda que seja relevante a adoção de práticas para análise das tarefas críticas, ela deve ser complementada por técnicas de análise de confiabilidade humana *HRA* para que todos os questionamentos acima possam ser respondidos.

Há também um ponto relevante a se considerar e que foi citado anteriormente: ainda que a *LOPA* tenha sido desenvolvido originalmente como uma ferramenta de análise semiquantitativa e o *Bowtie* como uma ferramenta essencialmente qualitativa, há atualmente ferramentas para incorporar a probabilidade de erro humano em ambas. No caso da *LOPA*, originalmente há uma preocupação de incorporação do erro humano na análise, porém, os fatores influenciadores de desempenho não são considerados.

Em seu trabalho “*Improving barrier effectiveness using human factors methods*”, David Grattan demonstra sua preocupação em relação a falta de correção das probabilidades de falha consideradas na *LOPA* (GRATTAN, 2017):

“Por esta razão, como um praticante de confiabilidade humana, seria hesitante afirmar tão baixo quanto $1e-4$ para uma tarefa realizada por uma pessoa, mesmo com bons fatores humanos. Então, qual é a implicação disso para o cálculo da LOPA? Ou uma barreira, que potencialmente depende de dezenas de pessoas durante seu ciclo de vida para ser eficaz? É o seguinte: é muito difícil alcançar o desempenho de $1e-4$ (muito mais $1e-5$ ou $1e-6$), e não é razoável aceitar um cálculo LOPA de $1e-4$ ou melhor sem verificar os fatores humanos para cada uma das barreiras no caminho da ameaça”

Ou ainda, no mesmo trabalho:

“As operações são o grupo óbvio cuja influência toca todas as barreiras em um caminho de ameaça comum. A manutenção toca todas as barreiras, mas muitas vezes disciplinas separadas estão envolvidas. A mesma equipe do PHA-LOPA identificará e especificará todas as barreiras em um caminho de ameaça comum. O projeto de engenharia das barreiras é feito, em sua maioria, por diferentes equipes. As decisões de aceitar ou rejeitar barreiras e os orçamentos para a implementação de barreiras são muitas vezes tomadas pelos mesmos gestores.”

- Falta de padrões de desempenho para as tarefas críticas

Normalmente, são estabelecidos para os equipamentos cumprindo função de barreira, um padrão de desempenho associado para que haja clareza na expectativa de sua função como barreira. Não costuma acontecer o mesmo em relação a definição de um padrão de desempenho humano necessário para operar o equipamento em questão e dessa forma, garantir que a barreira funcione de forma eficaz.

- Preocupações relacionadas as diferentes características das barreiras

Controles de prevenção, ou seja, aqueles identificados à esquerda do *Bowtie* tem características e comportamentos diferentes daqueles localizados à direita do modelo. E estas diferenças variam ainda mais, a depender do contexto de onde estejam inseridos.

O próprio método de análise de confiabilidade humana *Petro-HRA* apresenta limitação para lidar com a análise das barreiras de prevenção e recomenda o uso do método *APOA* para tratá-las. Isso demonstra que elas tem características diferentes e é necessário que haja essa percepção, o que nem sempre ocorre.

Diferentes partes, mesmo dentro de uma mesma organização, podem dar ênfase diferenciada entre os elementos do lado esquerdo (prevenção) e direito (mitigação) de um *Bowtie*. O bom desempenho das barreiras de mitigação, muitas vezes mascara a necessidade de fortalecimento das barreiras preventivas (CIEHF, 2016).

Quando pensamos no desempenho humano esperado para garantia de confiabilidade, controles de prevenção exigem normalmente, ênfase na conformidade com procedimentos. Já os controles de mitigação, estão normalmente mais relacionadas a demandas humanas de resiliência e flexibilidade. Quando pensamos em desempenho humano necessário ao controle das operações, é possível aplicar esforços, tanto na busca de garantia de cumprimento de procedimentos quanto no desenvolvimento de resiliência e flexibilidade necessárias para evitar as consequências indesejadas. (CIEHF, 2016).

- Desequilíbrio entre as barreiras de mitigação e prevenção

Os eventos topo estão frequentemente localizados bem distante no lado direito em uma escala de tempo. Isso quer dizer que os eventos topo que tendem a ser evitados por meio de controles de prevenção estão próximas em relação às consequências indesejadas causadas por estes eventos. Enquanto as barreiras preventivas normalmente operam em uma escala de tempo de semanas, dias e horas, as barreiras de mitigação (localizadas à direita), normalmente tem que operar numa escala de tempo de horas e minutos. Isso acaba demandando uma execução com padrões elevados em relação a estresse e pressão de tempo (CIEHF, 2016).

- Comunicação ineficaz

Comunicação é também um fator importante a ser considerado. Frequentemente, os modelos de barreiras são elaborados, e distribuídos à força de trabalho sem que eles compreendam exatamente o significado das tarefas a serem executadas e a sua relação com a garantia de funcionalidade da barreira ou da importância de relatar sempre que ela não possa ser realizada dentro do padrão esperado. (CIEHF, 2016).

É preciso que o executor das tarefas associadas a função da barreira mas também que, aqueles que executam tarefas críticas que garantem a disponibilidade das barreiras tenham conhecimento da influência destas atividades no gerenciamento de risco. Como exemplo, anomalias identificadas durante atividades de manutenção dos sistemas podem ser consideradas irrelevantes quando o executor da tarefa não compreende a relação daquela anomalia com a confiabilidade da barreira em questão. O mesmo pode acontecer durante inibições, indisponibilidades de componentes ou sistemas, situações não rotineiras sujeitas a gestão de mudanças.

- Nível de independência entre as barreiras

Uma reflexão interessante e importante é a questão de independência um dos critérios para que um controle possa ser considerado como uma barreira. É quase senso comum que, na prática, nem sempre é simples comprovar a total independência das barreiras e de

seus elementos. Porém, essa questão parece ficar ainda mais evidente quando passamos a enxergar a influência dos Fatores Humanos no gerenciamento de barreiras. O desempenho humano contribui com uma parcela muito importante no nível alcançável de segurança fornecido por uma barreira, ou um conjunto de barreiras em um caminho de ameaça comum. Isso ocorre porque ainda que possamos classificar algumas barreiras como puramente técnicas, ainda assim, elas dependem de pessoas para manter sua manutenção e disponibilidade. Além disso há fatores organizacionais que impactam a sua confiabilidade. Essa questão pode influir na maneira como enxergamos ou abordamos a independência.

Essa questão é levantada no trabalho “*Improving barrier effectiveness using human factors methods*” conforme abaixo (GRATTAN, 2017):

“O conceito de barreiras como camadas de cebola compostas por controles administrativos, alarmes, instrumentos, dispositivos mecânicos e mitigação pós-liberação é altamente idealizado. Pior ainda, é enganosa, porque nos cega para a realidade de que todas as barreiras são humanas. Além disso, essa base humana é muitas vezes composta por pequenos grupos de pessoas, compostos por equipe de operações, manutenção e técnica, com uma camada de gerenciamento. Os grupos de pessoas que mantêm e gerenciam todas as barreiras é o fator mais crítico para garantir o bom desempenho dessas barreiras no caminho de ameaça de um cenário de perigo. Os métodos de PHA e LOPA como praticados atualmente não estão abordando essa questão. Não há sequer consciência sobre essa questão, porque o mantra de "garantir a independência entre as camadas de proteção" cria a ilusão de que as barreiras podem ser consideradas independentes”.

6. RESUMO DA APLICAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS APRESENTADAS

A Tabela 3 abaixo apresenta o nível de adoção das práticas relacionadas a fatores humanos mencionadas em uma unidade FPSO típica:

Tabela 3 - Aplicação das Práticas mencionadas

Práticas ou Atividades	SIM	NÃO	PARCIAL	COMENTÁRIOS
Análise dos requisitos das tarefas TRA (IOGP 454)		X		Prática não adotada. Procedimentos sendo desenvolvidos para incorporação nos projetos futuros. Análise da modelagem 3D auxilia a verificação de alguns aspectos mas não atende a totalidade dos requisitos definidos pela norma e nem adota as melhores práticas recomendadas pela Nota Técnica 10/2023 da ANP. NOTA: A unidade em questão já se encontrava em estágio mais avançado do que o previsto para a realização da TRA.

Análise de criticidade de Válvulas (IOGP 454)	X			Adotada com base nos requisitos da norma ASTM F1166-07 <i>Standard Practice for Human Engineering Design for Marine Systems, Equipments and Facilities</i> , de acordo com o recomendado pela Nota Técnica 10/2023 da ANP.
Triagem e revisão de pacotes de fornecedores (IOGP 454)			X	Existem iniciativas para revisão dos pacotes, porém, não na amplitude e de acordo com todas as recomendações da IOGP 454.
Análise da sala de controle e revisão de seu projeto (IOGP 454)	X			Adotada norma técnica ISO 11064, Ergomic Design of control centres.
Análise e revisão da interface humana-máquina (IOGP 454)			X	Verificada a adesão do software ICSS com interação Humana-Máquina, com base nas recomendações da IOGP 454, realizou a correlação entre o sistema implementado e as recomendações EEMUA 201 - <i>Control rooms: a guide to their specification, design, commissioning and operation</i> , através de lista de verificação fornecida pela respectiva Associação (EEMUA 201 Edition 3 2019 Checklist Append A2-9).
Análise e revisão de sistemas de alarme (IOGP 454)	X			Foi realizado um workshop de racionalização de alarmes tendo por base a norma técnica EEMUA 191 - <i>Alarm Systems: Guide to Design, Management and Procurement</i> e com a ISA 18.2 - <i>Management of Alarm Systems for the Process Industries</i>).
Revisão de projeto de layout da planta/instalação (IOGP 454)	X			Estudo de revisão de layout realizado em um workshop temático de revisão modelo brainstorming durante a fase inicial do projeto, onde representantes de várias disciplinas revisaram o layout preliminar proposto para a instalação, considerando aspectos como: fluxo do processo, segurança, construtibilidade, operacionalidade e manutenção.
Estabelecimento de efetivo mínimo através do uso da análise temporal		X		Tripulação mínima definida levando em consideração as demandas operacionais e de projeção de demandas de manutenção. Metodologias não seguiram as recomendações das normas listadas pela ANP. Procedimentos sendo desenvolvidos para incorporação nos projetos futuros.
Análise ergonômica do trabalho	X			Análise levou em conta não somente a área de acomodações e trabalho administrativo mas também atividades da área operacional.
Análise de Tarefas Críticas de Segurança SCTA	X			Análise realizada para as tarefas críticas identificadas.
Análise de Confiabilidade Humana HRA			X	Prática não adotada. Procedimentos sendo desenvolvidos para incorporação.
Sistema de Classificação e Análise de Fatores Humanos HFACS		X		Prática não adotada.
Bowtie Multi Nível		X		Prática não adotada.

7. CONCLUSÃO

O gerenciamento de barreiras é essencial para prevenir acidentes e garantir a segurança nas operações de uma unidade envolvendo perigos com potencial para acidentes catastróficos como as unidades FPSO. No entanto, nota-se que é necessário aprimoramento de suas práticas, especialmente em relação a incorporação dos Fatores Humanos.

Ao longo dos últimos anos, houve aprimoramento significativo na implementação de técnicas para lidar com as barreiras técnicas mas há ainda lacunas em relação a análise da influência dos aspectos humanos e organizacionais e seus efeitos no gerenciamento de barreiras. As indústrias nuclear e aeronáutica tem fornecido lições importantes na incorporação dos Fatores Humanos no gerenciamento de riscos e esforços podem ser observados para incorporar as ferramentas e em muitos casos, adaptá-las para adequação de uso na indústria de óleo e gás.

A regulamentação brasileira do setor de óleo e gás, tem ampliado sua preocupação com os fatores que influenciam os padrões de confiabilidade humana. A recente publicação pela ANP de nota técnica objetivando guiar a interpretação da gestão associada a fatores humanos e, ao mesmo tempo, disseminar as melhores práticas a serem aplicadas aos sistemas de gestão de segurança operacional das plataformas de produção *offshore*, evidencia essa crescente preocupação.

Lacunas identificadas demonstram a necessidade de que se avance na busca de que o desempenho humano seja medido e monitorado para que possa ser confiável quando demandado. Práticas como a Análise de Tarefas Críticas de Segurança e Análise de Confiabilidade Humana parecem ser algumas das necessidades mais evidentes neste momento mas há outras oportunidades de melhoria na forma como a indústria de óleo e gás vem adotando ferramentas como *Bowtie* e *LOPA*, entre outras. Há experiências desenvolvidas e disponíveis para incorporação de avaliação do desempenho humano inclusive quantitativa nos dois métodos. No caso dos *Bowties*, há a prática de diagramas multi-nível, que auxiliam a visibilidade e gestão dos fatores humanos.

É preciso incrementar a compreensão da interação e influência do desempenho humano não só nas barreiras cuja função é diretamente desempenhada pelas pessoas mas também nas barreiras e elementos considerados técnicos. De uma forma outra, todas as barreiras tem alguma interação humana e compreender como estas relações funcionam é fundamental para a gestão dos riscos. Mais do que garantir confiabilidade no desempenho

humano, é importante garantir que os controles técnicos sejam robustos o suficiente para manter sua confiabilidade mesmo quando sujeitos a variabilidade inerente deste mesmo desempenho.

Os benefícios de avaliar os Fatores Humanos, especialmente aqueles relacionados às barreiras começam com assumir que há lacunas a serem eliminadas e há necessidade de aquisição de competência nas boas práticas, métodos e ferramentas e esforços para garantir a integração da avaliação de Fatores Humanos no gerenciamento de barreiras.

8. REREFÊNCIAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO), 2007, disponível em https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/regulamento_sgso.pdf,

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) NOTA TÉCNICA Nº 10/2023/SSO-CSO/SSO/ANP-RJ ANP
<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional>

ATSB. Evaluation of the Human Factors Analysis and Classification System as a predictive model. Aviation Research and Analysis Report AR-2008-036. 2008
<https://www.atsb.gov.au/publications/2008/ar-2008-036>

CCPS. Bow Ties in Risk management: A Concept Book for Process Safety. Wiley. 2018

CCPS. Análise de camadas de produção: avaliação simplificada do risco de processo, Interciência, 2021.

CIEHF. Human Factors in Barrier Management. Chartered Institute of Ergonomics and Human Factors. 2016
<http://www.ergonomics.org.uk/learn/barrier-management>.

DEBRAY, Salvi O, B. A global view on ARAMIS, a risk assessment methodology for industries in the framework of the SEVESO II directive. Elsevier; 2006. p. 187–99.

DNV. Analysis of Pre-Accident Operator Actions (APOA). 2023.
<https://www.dnv.com/publications/analysis-of-pre-accident-operator-actions-247857/>

EI, Energy Institute. 'Guidance on ensuring safe staffing levels', 2021, 1a edição.
Disponível em <https://publishing.energyinst.org/topics/human-and-organisational-factors/staffing-arrangements-and-workload/guidance-on-ensuring-safe-staffing-levels>.

GHANEM, Dr. Waddah S. al Hashmi. AFICHEME. Process Safety Management and Human Factors: A Practitioner's Experiential Approach. Butterworth-Heinemann, 2021

GRATTAN, David (Dave). Improving barrier effectiveness using human factors methods. Elsevier. 2017
www.elsevier.com/locate/ress

HOLLNAGEL, E. Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management. Ashgate. 2014

HSE UK Reducing error and influencing behaviour (1999)
<https://books.hse.gov.uk/>

IEC 31010:2019 – Risk Management – Risk assessment techniques

IFE Petro-HRA Guideline, 2022

IOGP - Report 368 – Human Factors – a means of improving HSE performance, 2016

IOGP Relatório 621 Desmistificando Fatores Humanos: Construindo confiança na investigação de Fatores Humanos, 2018

IOGP – Report 454 – Human Factors Engineering in Projects, 2020

L'ÉGER A; WEBER P; LEVRAT, E; DUVAL, C, FARRET R, IUNG B. Methodological developments for probabilistic risk analyses of socio-technical systems. Proc Inst Mech Eng Part O J Risk Reliab 2009

MAH *Management Lifecycle Strategy*, procedimento interno.

MORAIS C, ESTRADA; LUGO H, TOLO S, JACQUES, T, MOURA R, BEER M, PATELLI E, Robust data-driven human reliability analysis using credal networks, <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107990>

PSA. Principles for barrier management in the petroleum industry, 2013.

REASON, J.T. Human error. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1990.

REASON, J. Human error: Models and management. The BMJ, 320 (768-770), 2000

REASON, J. The human contribution. Ashgate. 2008

THEOFILUS, Stephen C., ESENOWO, Victor N., AREWA, Andrew O., IFELEBUEGU, Augustine O., NNADI, Ernest O., MBANASO, Fredrick U., Human factors analysis and classification system for the oil and gas industry (HFACS-OGI), Elsevier. 2017
www.elsevier.com/locate/res

DR. WADDAH S. GHANEM AL HASHMI, AFICHEME – Process Safety Management and Human Factors: A Practitioner's Experiential Approach (2021).

WIEGMANN, Douglas A; WOOD, Laura J.; COHEN, Tara N. PH.D.; SHAPPELL, Scott A. - Understanding the “Swiss Cheese Model” and Its Application to Patient Safety – Journal of Patient Safety, Wolters Kluwer, 2020,
journals.lww.com/journalpatientsafety/abstract/2022/03000