

ANÁLISE DE RISCO UTILIZANDO DIAGRAMAS BOW TIE PARA PREVENÇÃO DE FALHAS ESTRUTURAIS EM NAVIOS PLATAFORMA (FPSO)

Felipe Soares Freitas

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Marta Cecília Tapia Reyes

Co-Orientador: Flávia dos Reis Carreiro, M.Sc.

Rio de Janeiro

Fevereiro 2021

ANÁLISE DE RISCO UTILIZANDO DIAGRAMAS BOW TIE PARA
PREVENÇÃO DE FALHAS ESTRUTURAIS EM NAVIOS
PLATAFORMA (FPSO)

Felipe Soares Freitas

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO NAVAL E OCEÂNICO.

Examinado por:

Prof. Marta Cecília Tapia Reyes, D. SC

Eng. Flavia dos Reis Carreiro, M. Sc

Prof. Isaias Quaresma Masetti, D. SC

Prof. José Márcio Vasconcellos, D. Sc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO de 2021

Freitas, Felipe Soares

Análise de risco utilizando diagramas bow tie para
prevenção de falhas estruturais em navios plataforma (FPSO)
/Felipe Soares Freitas - Rio de Janeiro: UFRJ/Escola
Politécnica, 2021.

XIV, 111 p.: il.; 29,7cm

Orientador: Prof. Marta Cecília Tapia Reyes

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/
Curso de Engenharia Naval e Oceânica, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 75

1.Introdução 2. Análise de Risco 3. Definição das
Características do Bow tie 4. Desenvolvimento do
Diagrama Bow tie 5. Conclusão 6. Referências I.
Reyes, Marta Cecília Tapia II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Engenharia Naval
e Oceânica.

AGRADECIMENTO

Primeiramente dedico este trabalho a meus pais, Sirley e Maurício, que estiveram sempre ao meu lado durante toda minha vida. A estes agradeço por todo o exemplo, à todo esforço e por terem me ensinado a nunca desistir diante das adversidades, por terem me feito acreditar que a faculdade federal também é lugar de gente humilde e batalhadora. Agradeço ao meu irmão, Lucas, por sempre me apoiar e torcer pelo meu bem. Graças a todo os esforços de vocês o filho de um operário se tornou um engenheiro, nunca me esquecerei da sorte que tenho de ter uma família como a minha.

Agradeço à minha querida Laryssa por estar comigo nos momentos mais difíceis da minha vida, por ter visto de perto cada passo que dei nesta difícil jornada da graduação e por sempre ter sido uma voz de serenidade quando tudo parecia estar perdido. A ela devo todo o companheirismo, carinho, amor e oração que tive ao longo destes anos.

Agradeço à UFRJ, especialmente ao departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Politécnica. Um especial agradecimentos aos funcionários e docentes que aqui enfatizo a Prof. Marta, Prof. Isaías e a MSc. Flávia que me orientaram com tanto carinho e atenção na realização deste trabalho.

Agradeço também às amigas que estiveram ao meu lado durante a graduação: Fiedler, Wallace, Michael, Baroni, Pedro, Chaves, Felipe Jorge, Cristian, Vivas, Bruno e outros tantos que sempre foram gentis e companheiros comigo. Com certeza tudo teria sido mais difícil sem vocês, meus amigos.

Faço também um agradecimento à Escola Sesc de Ensino Médio, instituição que abriu as portas para mim e para outros jovens do país para oferecer educação gratuita e de excelente qualidade. Com certeza foi graças à esta instituição que meus horizontes se abriram e eu pude cursar o curso de Engenharia Naval e Oceânica. Agradeço às empresas pelas quais estagiei, em especial à MODEC que abriu suas portas e investiu em mim.

Por fim, agradeço muito a Deus que sempre olhou e cuidou de mim; por nunca ter me deixado sozinho e por me enviar anjos em forma de pessoas para me ajudar. Sou grato por Ele ter me mostrado que como homem eu nada posso sozinho, que tudo tem seu tempo e nem sempre o que queremos é o melhor para nós.

Devido a tudo isso que me foi dado e hoje tenho a sorte de agradecer, espero poder retribuir sendo uma pessoa íntegra, humilde e justa.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval e Oceânico.

Análise de risco utilizando diagramas bow tie para prevenção de falhas estruturais em navios plataforma (FPSO)

Felipe Soares Freitas

Fevereiro/2021

Orientador: Prof. Marta Cecília Tapia Reyes

Departamento: Engenharia Naval e Oceânica

A exploração de petróleo faz parte da indústria brasileira, neste contexto o Brasil se destaca por possuir a maior frota de FPSOs do mundo, o que se deve ao progresso na exploração da zona do pré-sal em águas cada vez mais profundas e longe da costa. Visto o tamanho da frota nacional e tendência de que a mesma aumente nos próximos anos é de fundamental importância que seja realizada análises de risco sobre este tipo de unidade, uma vez que FPSOs possuem capacidade de estocar milhões de barris de petróleo e um acidente grave em uma destas plataformas poderia causar grandes impactos ambientais e até mesmo fatalidades múltiplas. Pensando neste cenário foi desenvolvido um diagrama *bow tie* para analisar o risco de um acidente envolvendo uma falha estrutural grave no casco de um FPSO. Para isso foi criado um grupo com especialistas em segurança de processo e integridade naval que se reuniram para discutir as possíveis ameaças e consequências, identificando as barreiras preventivas e mitigadoras deste evento e seus possíveis pontos de fragilidade de uma falha estrutural em um FPSO. As ideias trazidas durante os encontros por cada especialista foram validadas pelos demais e pela literatura. Ao final o que se obteve foi um diagrama *bow tie* capaz de ser aplicado a qualquer FPSO para análise de risco de falhas estruturais.

Palavras-chave: FPSO, Bow tie, Estrutura naval, Segurança de processo, Óleo e Gás.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for degree of Naval Architecture and Marine Engineering.

Risk analysis using bow tie diagrams to prevent structural failures on ship-type
platforms (FPSO)

Felipe Soares Freitas

February/2021

Advisor: Prof. Marta Cecília Tapia Reyes

Graduation: Naval Architecture and Marine Engineering

Offshore oil exploration is part of the Brazilian industry, in this context Brazil stands out for having the largest fleet of FPSOs in the world, which is due to the progress in the exploration of the pre-salt zone in increasingly deeper waters and far from the coast. Given the size of the national fleet and the tendency for it to increase in the coming years, it is fundamental importance that risk analyzes be carried out on this type of unit, since FPSOs have the capacity to store millions of barrels of oil and a serious accident in one of these platforms could cause major environmental impacts and even multiple fatalities. With this scenario in mind, a bow tie diagram was developed to analyze the risk of an accident involving a serious structural failure in the hull of an FPSO. A group was created with specialists in process safety and naval integrity who met to discuss the possible threats and consequences, identifying the preventive and mitigating barriers of this event and its possible weak points of a structural failure in an FPSO. The ideas brought up during the meetings by each specialist were validated by the others and by the literature. In the end, what was obtained was a bow tie diagram capable of being applied to any FPSO to analyze the risk of structural failures.

Keywords: FPSO, Bow tie, Marine Structure, Process Safety, Offshore, Oil and Gas

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivo	4
2	ANÁLISE DE RISCO.....	6
2.1	Classificação de riscos	6
2.1.1	Matriz de Risco	7
2.2	Identificação de perigos	8
2.2.1	Planilhas HAZID	9
2.2.2	HAZOP	10
2.2.3	Diagramas <i>Bow tie</i>	12
3	DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO <i>BOW TIE</i>	16
3.1	Propósito.....	16
3.2	Público-Alvo.....	16
3.3	Escopo.....	17
3.4	Objetivo	17
3.5	Metodologia.....	18
3.6	Terminologia.....	18
3.7	Documentação	18
3.8	Resumo das características	19
4	DESENVOLVIMENTO DO DIAGRAMA <i>BOW TIE</i>	21
4.1	Perigo.....	22
4.2	Evento Topo.....	23
4.3	Ameaças.....	23
4.3.1	Fadiga.....	23
4.3.1.1	Barreira Preventiva: Projeto Estrutural	24

4.3.1.2	Barreira Preventiva: Gerenciamento de Integridade Estrutural	26
4.3.2	Distribuição incorreta de Carga ou Lastro	30
4.3.2.1	Barreira Preventiva: Projeto de distribuição de cargas no FPSO	31
4.3.2.2	Barreira Preventiva: Ação do operador de Carga.....	32
4.3.2.3	Barreira Preventiva: Monitoramento Remoto	33
4.3.3	Colisão	34
4.3.3.1	Barreira Preventiva: Sistema de Comunicação	35
4.3.3.2	Barreira Preventiva: Ação do operador de telecomunicação ...	37
4.3.3.3	Barreira Preventiva: Seleção de Contrato	38
4.3.4	Corrosão	39
4.3.4.1	Barreira Preventiva: Projeto Estrutural	40
4.3.4.2	Barreira Preventiva: Gerenciamento de Integridade Estrutural	40
4.3.5	Explosão e Implosão durante operações de carga.....	40
4.3.5.1	Barreira Preventiva: Projeto Estrutural	41
4.3.5.2	Barreira Preventiva: Ação do operador de carga	41
4.3.5.3	Barreira Preventiva: Sistema de Geração Gás Inerte	42
4.3.5.4	Barreira Preventiva: Sistema de Alívio	43
4.3.5.5	Barreira Preventiva: Gerenciamento de Integridade Estrutural	45
4.3.5.6	Barreira Preventiva: Detecção de Gases Inflamáveis	45
4.3.6	Explosão ou incêndios de equipamentos na Praça de Máquinas ou Casa de Bombas.....	46
4.3.6.1	Barreira Preventiva: Manutenção e Gerenciamento de Integridade de equipamentos	48
4.3.6.2	Barreira Preventiva: Sistema de Monitoramento e Intertravamento	49
4.3.7	Lado esquerdo do <i>bow tie</i>	49

4.4	Consequências	51
4.4.1	Perda parcial de flutuação	51
4.4.1.1	Barreira Mitigadora: Plano de Avaria	53
4.4.1.2	Barreira Mitigadora: Monitoramento com ação do operador... ..	54
4.4.1.3	Barreira Mitigadora: Evacuação Preventiva	56
4.4.2	Derramamento de óleo	58
4.4.2.1	Barreira Mitigadora: Parada de Emergência	59
4.4.2.2	Barreira Mitigadora: Plano SOPEP	61
4.4.2.3	Barreira Mitigadora: Plano de Contingência.....	63
4.4.3	Fatalidade devido a perda de estabilidade ou naufrágio	65
4.4.3.1	Barreira Mitigadora: Plano de Emergência.....	66
4.4.3.2	Barreira Mitigadora: Recursos para Evacuação	68
4.4.4	Lado direito do <i>Bow Tie</i>	71
4.5	Diagrama <i>Bow tie</i> Final	73
5	CONCLUSÃO	75
6	BIBLIOGRAFIA.....	78

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Padrão de consumo energético mundial	1
Figura 1.2 - Produção de petróleo no Brasil.....	2
Figura 1.3 - Frota mundial de FPSOs	3
Figura 2.1 - Matriz de Riscos	8
Figura 2.2 - Exemplo de planilha HAZID.....	10
Figura 2.3 - Exemplo de planilha HAZOP	11
Figura 2.4 - Modelo de Bow tie.....	12
Figura 4.1 - Perigo e evento topo no Bow tie.....	22
Figura 4.2 - Trincas encontradas em reforçadores de estruturas navais.....	24
Figura 4.3 - Vistoriador realizando inspeção de um tanque de navio petroleiro.....	29
Figura 4.4 - Captura de tela do software HECSALV em seu módulo de gerenciamento de carga.....	33
Figura 4.5 - Imagens após a colisão de um navio de apoio com a plataforma P-77 no Brasil, em 2020.....	34
Figure 4.6 - Operação de <i>offloading</i>	35
Figura 4.7 - Corrosão de uma chapa metálica.	39
Figura 4.8 - Válvula de segurança de pressão	44
Figura 4.9 - Exemplo de caldeira presente em FPSOs, equipamentos que trabalham em elevada temperatura e pressão.	47
Figura 4.10 - Lado esquerdo do Bow tie de falhas estruturais para um casco de FPSO	50
Figura 4.11 - Perda de flutuação do FPSO Nabarima na Venezuela em 2020.....	52
Figura 4.12 - Helicóptero decolando de uma heliponto em uma plataforma de exploração de petróleo	57
Figura 4.13 - Aves buscando refúgio em uma barreira de contenção de óleo, após não conseguir mais voar.....	59
Figura 4.14 - Árvore de natal molhada.....	60

Figura 4.15 - Kit SOPEP necessário a bordo da embarcação para pequenos vazamentos	62
Figura 4.16 - Representação da operação de um OSRV	64
Figura 4.17 - Plataforma P-36 naufragando em 2002	66
Figura 4.18 - (A) Baleeira do tipo "queda-livre". (B) Baleeira sendo lançada ao mar por turco de içamento.....	68
Figura 4.19 - Bote salva-vidas inflável.....	69
Figura 4.20 - Lado direito do Bow Tie.....	72
Figura 4.21 - Diagrama Bow tie final.....	74

Lista de tabelas

Tabela 4.1 - Lista de verificação de integridade para a barreira de projeto estrutural ...	26
Tabela 4.2 - Lista de verificação de integridade da barreira de gerenciamento de integridade estrutural	30
Tabela 4.3 - Lista de verificação de integridade da barreira de projeto de distribuição de cargas no FPSO	31
Tabela 4.4 - Lista de verificação de integridade da barreira Ação do operador de carga	32
Tabela 4.5 - Lista de verificação de integridade da barreira de monitoramento remoto	34
Tabela 4.6 - Lista de verificação de integridade da barreira sistema de comunicação...	36
Tabela 4.7 - Lista de verificação de integridade da barreira Ação do operador de telecomunicação	37
Tabela 4.8 - Lista de verificação de integridade da barreira seleção de contrato.....	39
Tabela 4.9 - Lista de verificação de integridade da barreira sistema de gás inerte	43
Tabela 4.10 - Lista de verificação de integridade da barreira sistema de alívio.....	44
Tabela 4.11 - Lista de verificação de integridade da barreira de detecção de gases inflamáveis.	46
Tabela 4.12 - Lista de verificação de integridade da barreira gerenciamento de integridade de equipamento.....	48
Tabela 4.13 - Lista de verificação de integridade da barreira de sistema de intertravamento	49
Tabela 4.14 - Lista de verificação de integridade da barreira de Plano de avaria	54
Tabela 4.15 - Lista de verificação de integridade da barreira monitoramento com ação do operador.....	56
Tabela 4.16 - lista de verificação de integridade da barreira de evacuação preventiva .	58
Tabela 4.17 - Lista de verificação de integridade da barreira de parada de emergência	61
Tabela 4.18 - Lista de verificação de integridade da barreira de plano de emergência (SOPEP)	63

Tabela 4.19 - Lista de verificação de integridade da barreira do plano de contingência	65
Tabela 4.20 - Lista de verificação de integridade da barreira plano de emergência	68
Tabela 4.21 - Lista de verificação de integridade da barreira de evacuação utilizando baleeiras	70

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS	American Bureau of Shipping
ANP	Agência nacional de petróleo
ESCP	Equipamentos de segurança da cabeça de poço
FPSO	Unidade flutuante de produção e estoque de petróleo
FSO	Unidade flutuante de estoque de petróleo
HAZID	Identificação de perigos
HAZOP	Estudo de perigo e operabilidade
IMO	Organização Marítima Internacional
MAH	Acidente de Grande Risco
MARPOL	Convenção Marítima para Prevenção da Poluição Causada por Navios
O&G	Indústria de óleo e gás
OSRV	Navios de resposta a vazamento de óleo
P&ID	Diagramas de tubulação e instrumentação
PSV	Navio de apoio a plataforma
SCB	Barreiras críticas de segurança
SCE	Equipamentos críticos de segurança
SOLAS	Convenção de Segurança da Vida no Mar
SOPEP	Plano de Emergência de Bordo para Poluição por Óleo
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

1 INTRODUÇÃO

A indústria de óleo e gás (O&G) é extremamente importante para a economia global e brasileira. Segundo a Agência Internacional de Energia, em 2017, a produção energética total em todo mundo naquele ano foi de 14.034.897,29 ktoe (tonelada equivalente de óleo) da qual 3.773.420,59 ktoe (27%) vieram do petróleo e 3.162.893 ktoe (22,5%) produzido a partir do gás natural 3.106.799 ktoe. Ou seja, a indústria O&G corresponde a quase metade (49,5%) da produção energética global (International Energy Agency, 2020).

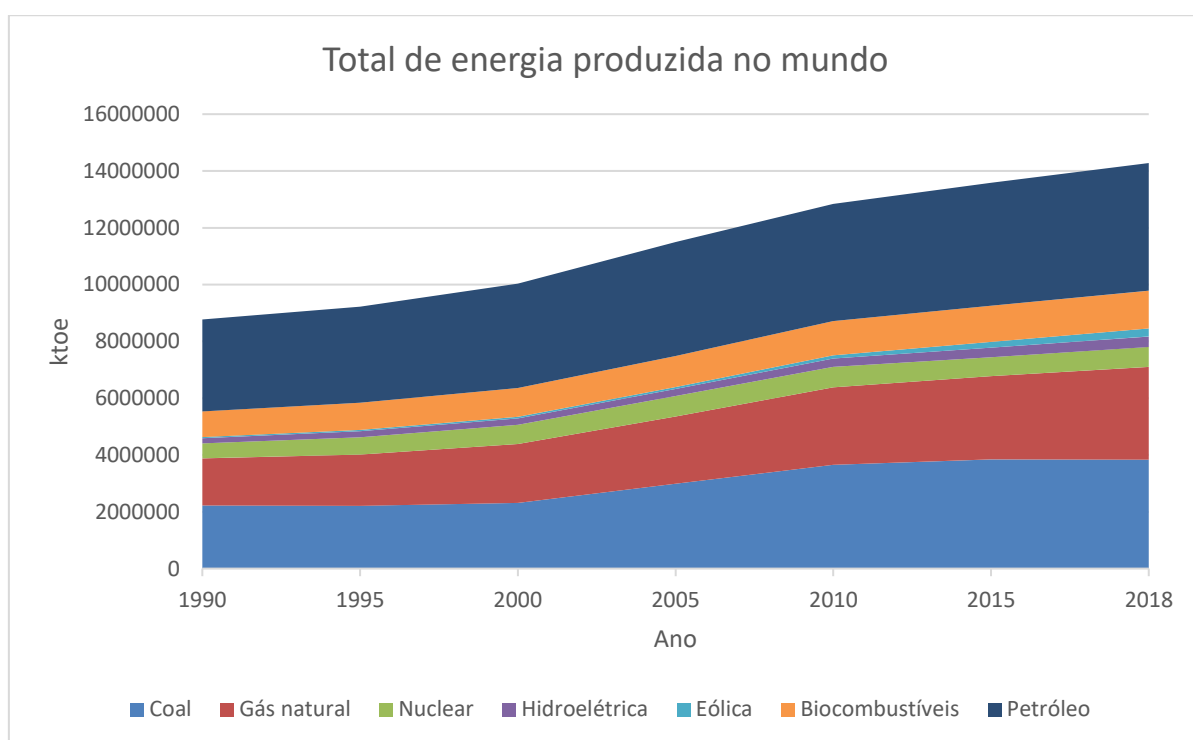


Figura 1.1 - Padrão de consumo energético mundial

FONTE: Estatísticas da Agência Internacional de Energia

No Brasil, a produtividade do setor O&G vem aumentando drasticamente nos últimos anos. Com a descoberta dos campos no pré-sal o mercado aqueceu ainda mais e em 2008, com o primeiro óleo do pré-sal o Brasil se inseriu no ranking de 15 maiores produtores mundiais e em 2018 passou a ser o 10º maior produtor (Top 15 countries by oil production, 2018).

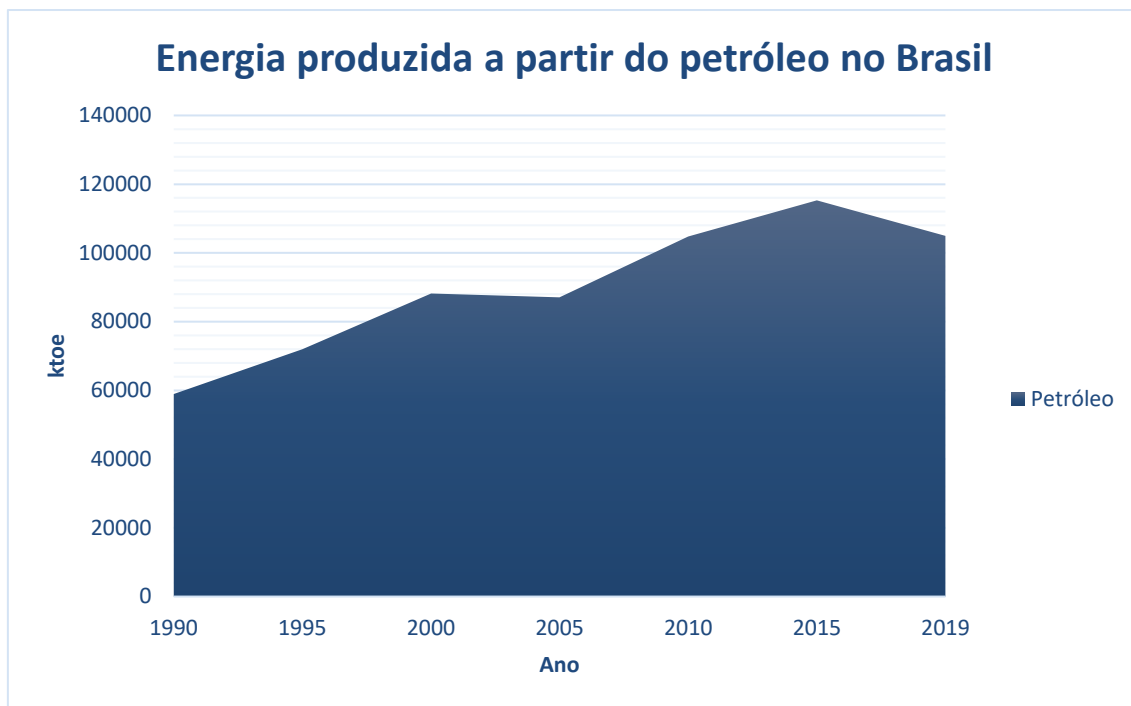


Figura 1.2 - Produção de petróleo no Brasil

FONTE: Estatísticas da Agência Internacional de Energia

1.1 Motivação

O pré-sal é uma camada de rochas sedimentares formada abaixo da camada do sal no leito marinho, o óleo desta região pode ser encontrado a mais de 7 km da superfície sendo que a lâmina d'água algumas vezes ultrapassada os 2000 metros (Brasil Escola, 2020). O óleo nesta região é leve, de excelente qualidade e grande valor agregado, o que viabilizada sua exploração (PETROBRAS, 2020).

A descoberta de petróleo na camada do pré-sal trouxe diversos desafios e entre eles estão a dificuldade de escoamento de produção, uma vez que os poços se encontram em águas profundas e longe da costa. Neste meio o uso de FPSOs se tornou uma solução eficiente devido a capacidade de produção e armazenamento de óleo nas plataformas, tornando possível o escoamento para as refinarias em terra por meio de navios aliviadores (Petrobras, 2020).

Com isso o mercado de FPSOs no Brasil se aqueceu muito e a acredita-se que cresça ainda mais. Em março de 2020 a expectativa é que se firme cerca de 12 novos

contratos em 2021 e 2022, e que 26 novos navios-plataforma entrarão em operação até 2026 (Mitidieri, 2020).

Os FPSOs se tornaram a alternativa mais utilizada por operadoras para exploração no pré-sal no Brasil e esse mercado se desenvolve diante os diversos desafios tecnológicos que essa nova região de exploração apresenta. Segundo a pesquisa sobre unidades FPSO ao redor do mundo realizada pela Offshore Magazine (Offshore Magazine, 2020) o Brasil possui a maior frota do mundo para plataformas do tipo.

O relatório aponta que o Brasil possui 48 unidades FPSO operando e mais 9 plataformas sendo construídas. O segundo país na lista é o Reino Unido que possui uma frota de 14 embarcações em operação, ou seja, a frota nacional é mais do que o triplo do que o segundo país no *ranking* mundial o que pode ser visualizado na Figura 1.3.

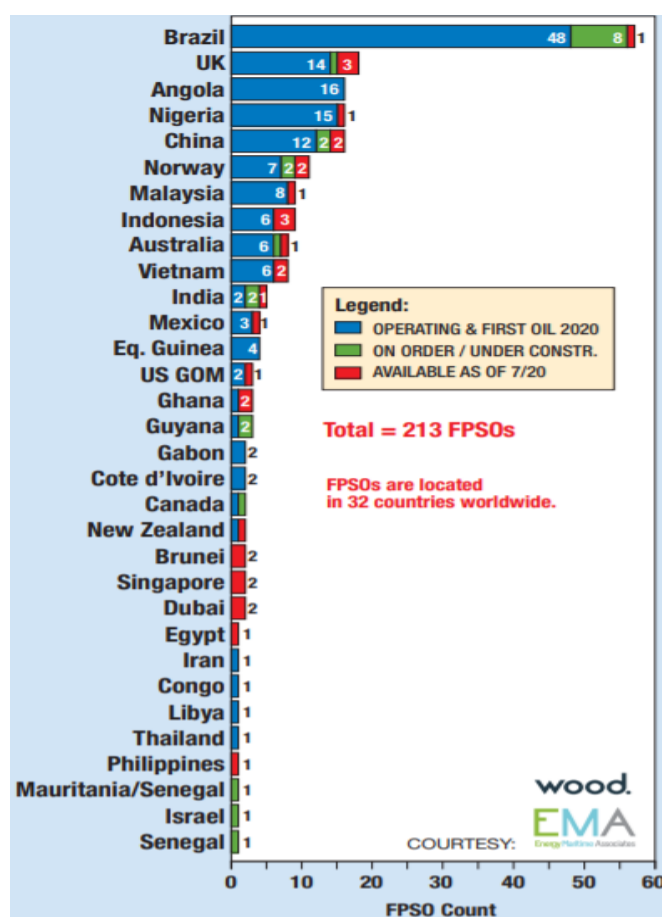


Figura 1.3 - Frota mundial de FPSOs

FONTE: Retirado do relatório sobre FPSOs da Offshore Magazine (Offshore Magazine, 2020)

Entendendo o tamanho da frota brasileira em comparação com o resto do mundo e a importância destas plataformas para a produção nacional de óleo e gás torna-se extremamente necessário também compreender os riscos associados ao uso destas unidades e aprender a controlá-los.

Alguns FPSOs podem estocar até 2,5 milhões de barris de petróleo e o avanço da exploração no pré-sal em regiões cada vez mais distantes da costa criou a necessidade de aumentar cada vez mais e mais os tamanhos das novas unidades. Além disso a produção de algumas unidades novas é de cerca de 200 mil barris por dia, sendo assim um acidente grave envolvendo uma dessas plataformas poderia com certeza criar um dos maiores desastres ambientais da história caso todo esse óleo fosse liberado no mar.

Tais unidades possuem uma capacidade de tripulação que gira em torno de 150 pessoas, isso depende bastante do projeto. Portanto, além de perdas financeiras e ambientais, acidentes em FPSOs podem colocar em perigo a vida de centenas de pessoas que estão a bordo da embarcação.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo propor uma abordagem de análise de riscos para FPSOs. Especificamente, neste caso, serão tratados o risco de falhas estruturais do casco da plataforma. Tal escolha se deve a afinidade do escopo com o curso de engenharia naval e sua importância no contexto de engenharia de segurança para FPSOs, visto que falhas estruturais podem levar a catástrofes ambientais, sociais e financeiras.

Para isso será desenvolvido um *Bow tie* que basicamente é um diagrama simples que busca mostrar de forma visual, a partir de um evento que se deseja analisar, todas as possíveis ameaças e consequências para aquele evento, assim como as barreiras preventivas e mitigadoras. Portanto, o produto final do presente trabalho é um diagrama *Bow tie* para análise de risco de falhas estruturais para FPSOs.

Existem outras diversas ferramentas de análise de risco, porém aqui serão utilizados diagramas *Bow tie* pois estes são indicados para gerenciamento de acidentes considerados de alto risco e complexos. Para isso então torna-se necessário primeiramente definir os critérios de caracterização do grau de risco de cada acidente e as ferramentas

para isso (matriz de risco, HAZID, HAZOP, *Bow tie*, etc); como será abordado no capítulo 2.

Antes de iniciar o desenvolvimento do *Bow tie* algumas características primárias precisam ser definidas, como público-alvo e propósito do diagrama. Então, no capítulo 3, serão abordadas todas as características principais do *Bow tie* ao qual se deseja desenvolver.

De forma a atingir o objetivo, será necessário mapear todas as possíveis causas, consequências do acidente estudado. Elencando também as respectivas barreiras preventivas e mitigadoras. Ao final deseja-se obter uma visualização simples e prática de como todo o sistema de gerenciamento de risco; para isso no capítulo 4 desenvolveremos o *Bow tie*.

2 ANÁLISE DE RISCO

O maior risco que uma organização pode correr é não conhecer seus riscos, desta maneira a gestão de riscos em empreendimentos é de fundamental importância. A indústria offshore possui diversos riscos associados devido as adversidades do ambiente em que se encontra, da natureza do produto e de sua operação em si.

O principal objetivo das avaliações de risco é avaliar a efetividade dos sistemas de controles e identificar os riscos associados ao espaço de trabalho. Praticamente nenhuma atividade industrial está eximida de riscos e por isso o gerenciamento eficaz dos riscos é de extrema importância.

2.1 Classificação de riscos

De acordo com a ISO 31000 (International Organization of Standardization - ISO, 2018) risco é um “efeito da incerteza nos objetivos” e, portanto, sua análise é probabilística. Além disso, os riscos são divididos em níveis ou magnitudes que podem ser expressas pela combinação entre a probabilidade de ocorrência e sua consequência.

Estatisticamente o nível do risco pode ser calculado pelo produto da probabilidade de ocorrência do evento com a severidade do acidente, como representado na equação a seguir:

$$R = P \cdot C$$

Onde “R” é a magnitude do risco, “P” a probabilidade de ocorrência e “C” a severidade da consequência.

Comumente os acidentes são categorizados em três tipos de risco:

Baixo risco: indica que o risco é bem controlado e não apresenta grandes ameaças. Por muitas vezes esse tipo de risco não é nem gerenciado e a ele é dada uma tratativa que na indústria se dá o nome de *run-to-failure* (que pode ser traduzido como “até falhar”, em português). Basicamente são eventos de tão baixo impacto que as vezes não chega a ser viável e vantajoso fazer uma tratativa preventiva.

Médio risco: Significa que o risco precisa ser gerenciado, mas está bem controlado e caso se mantenha assim não chegará a apresentar ameaças. A estes normalmente já é dado um caráter de ação mais preventiva, porém não se dispõe muita atenção sobre tais riscos.

Alto Risco normalmente na cor vermelho. Trata-se de eventos que necessitam de uma série de controles para que a probabilidade de ocorrência seja reduzida a níveis aceitáveis. Algumas vezes podem ser chamados de *Major Accident Hazard* (MAH) ou acidentes de grande perigo e a esses que normalmente se torna necessário desenvolver uma análise de risco mais complexa como os *bow ties*.

Acidentes de grande risco ou MAH (*major acidentes hazards*, do inglês) são acidentes que possuem alta severidade e são caracterizadas pela mais alta magnitude de risco. De acordo com o Fórum Marítimo Internacional das Companhias de Óleo (OCIMF) os MAH na indústria offshore consistem em eventos que podem ao menos causar:

- Fatalidades múltiplas,
- Perda total ou dano severo da plataforma,
- Dano a propriedade (aproximadamente de USD 100M),
- Derramamento de óleo acima de 1000 barris.

2.1.1 Matriz de Risco

Uma ferramenta comum para categorizar riscos de acordo com sua magnitude é a Matriz de Riscos. Trata-se de uma tabela com duas dimensões: severidade e probabilidade (CGE). Tais dimensões são discretizadas em níveis e a combinação entre elas dá ao evento uma colocação na matriz.

Na Figura 2.1 é possível visualizar um exemplo de matriz de risco onde a área considerada de alto risco se encontra em vermelho, a área de médio risco está sinalizada em amarelo e a área verde é a zona de baixo risco. O evento a ser analisado seria configurado em relação a sua severidade e probabilidade de ocorrência, a combinação dos dois parâmetros iria alocar o evento em uma zona e isso categorizaria sua classificação de risco.

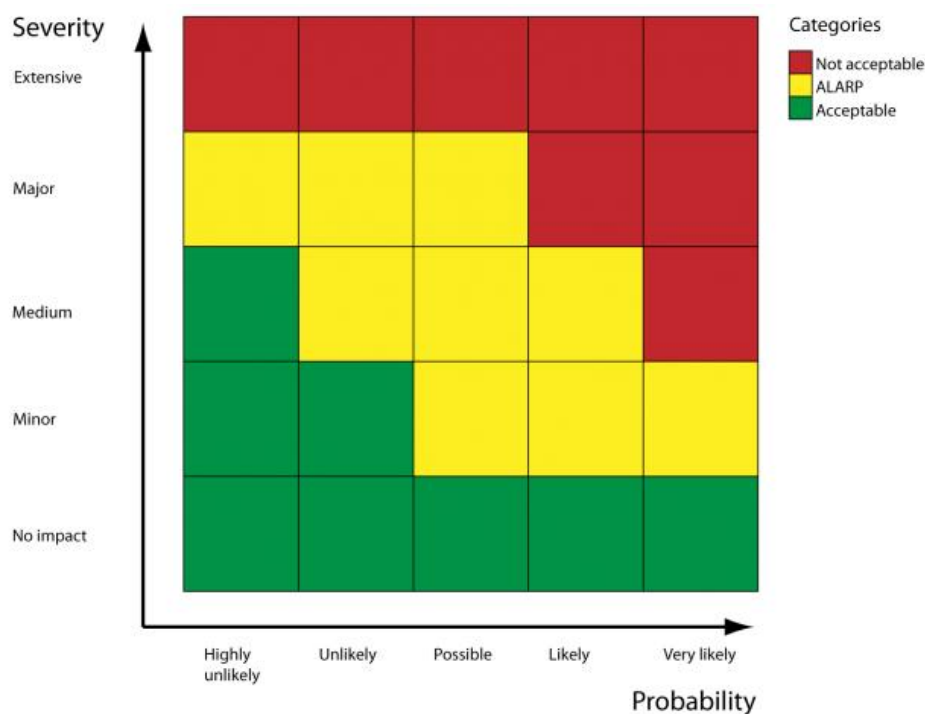


Figura 2.1 - Matriz de Riscos

FONTE: https://www.cgerisk.com/knowledgebase/Risk_matrices

A matriz pode absorver os critérios sugeridos pela OCIMF para caracterização da zona de alto risco. Porém cabe a organização que gerencia definir os próprios critérios para MAH, sendo que algumas chegam a adotar padrões até mais conservadores.

A caracterização da matriz de risco é importante pois ela pode auxiliar durante o processo de identificação dos riscos, tema que será abordado no item 2.2.

2.2 Identificação de perigos

Em uma análise de riscos a primeira coisa a ser realizada é a identificação dos perigos, comumente chamada de HAZID (do inglês, *Hazard Identification*). Existem quatro propósitos principais no processo de identificação de riscos (Vinnem, 2007):

- Identificação de todos os perigos associados a operação planejada.
- Elaborar uma visão geral do risco, preparando para futuras análises.
- Prover um panorama de todos os diferentes acidentes que podem ocorrer.

- Garantir que todos os riscos estejam sendo considerados durante a análise de risco.

Para um estudo HAZID existem diversos tipos de ferramentas que podem ser utilizadas, porém no presente trabalho abordaremos três ferramentas principais: planilhas de checagem (comumente chamadas de planilhas HAZID), estudos de perigo e operabilidade (HAZOP) e diagramas *Bow tie*. O motivo da escolha destes é que estes são os mais utilizados na indústria.

De qualquer maneira, independentemente da ferramenta utilizada, um estudo HAZID é uma atividade multidisciplinar que não pode ser conduzida apenas por especialistas em segurança. Para sua realização deve-se consultar também pessoas envolvidas com a operação da atividade, especialistas técnicos e quaisquer outras pessoas que possuam algum conhecimento para agregar sobre os riscos da atividade. Muitas vezes são criados eventos e reuniões para discussão e troca de ideias para que seja possível aproveitar ao máximo a multidisciplinaridade de conhecimentos para realizar o estudo.

2.2.1 Planilhas HAZID

Durante o desenvolvimento de um estudo HAZID é imprescindível que além de identificar todos os riscos também sejam elencadas as características dos mesmos. As principais características a serem analisadas são: as causas ou ameaças, a fonte desta ameaça, o evento topo (ou acidente) que pode ser causado, as consequências, as barreiras ou meios de controles deste evento, a probabilidade de ocorrência do evento e sua severidade.

Para isso então são usadas planilhas comumente chamadas de planilhas HAZID que nada mais são do que listagens contendo todos os perigos identificados e suas características associadas.

Eventos Indesejáveis		Efeito no Processo/Unidade	Barreiras de Proteção existentes	Consequências		Probabilidade	Risco Residual
Palavras-Guia	Direcionamento			Descrição	C (1-5)	P (1-5)	
Incêndios	Sala de controles	Incêndio	PPCI	Perda de equipamentos, danos à unidade, lesão pessoal.	3	3	
Entrada de Fumaça	Entrada em salas de controle	Entrada de fumaça nas salas de controles	Detector de fumaça; Máscara de fuga.	Lesão pessoal	4	3	
Entrada de Gases	Entrada de gases em áreas seguras	Entrada amônia nas salas de controle	Detector de fumaça; Máscara de fuga.	Lesão Pessoal	4	3	
Físicos	Iluminação	1,2,3,4	Seguir a NBR 5413	Doenças Ocupacionais	5	0	
	Barulho	1,2,3,4	Seguir a NR 15 Norma regulamentadora; equipamentos de proteção individual.	Doenças Ocupacionais	5	2	
Temperatura	Frio/Calor Extremo	1,2,4	Seguir a NBR 16401 – Condições de conforto térmico	Doenças Ocupacionais	5	2	
	Isolamentos	2,4	Equipamentos isolados termicamente (Ex.: fornalha).	Danos à qualidade do produto	5	2	
Atmosfera	Fumaças residuais	Contaminação Área industrial	Equipamentos com sistema de exaustão (Ex.: despoejamento)	Intoxicação	4	3	
	Espaços Confinados	Períodos de manutenção	Seguir a NR 33	Morte	5	2	

Figura 2.2 - Exemplo de planilha HAZID

FONTE: Imagem retirada do site da CGERisk

As matrizes de risco podem ser integradas a estas planilhas, uma vez definida o grau de severidade e probabilidade para cada evento. Nota-se no exemplo da Figura 2.2 que a partir da definição do grau de severidade das consequências e probabilidade de ocorrência do evento foi atribuído uma classificação de risco, a partir de uma matriz de risco previamente definida, que é representada pela cor (vermelha para alto risco, amarelo para médio risco e verde para baixo risco). Sendo assim, além de ajudar a identificar os riscos esta planilha também ajuda a classificá-los.

2.2.2 HAZOP

Estudo de perigo e operabilidade (HAZOP) é uma técnica que visa destrinchar a sequência de falhas que podem causar o acidente (Vinnem, 2007). Trata-se de um estudo detalhado sobre o processo ao qual se deseja analisar o risco, identificando todas as possíveis anormalidades que podem ocorrer no padrão operacional.

Este tipo de estudo é muito usado quando o processo possui uma grande interface entre trabalhadores, máquinas e programas de computadores. Com uma grande gama de fatores de interação torna-se necessário identificar o padrão ideal de funcionamento do processo e destrinchar todas os possíveis desvios deste padrão que podem ocorrer durante a operação que podem levar a ocorrência de um acidente indesejado.

Um estudo HAZOP deve ser feito a partir de uma equipe multidisciplinar que avalia o fluxograma do processo como um todo. Esta equipe elenca todas as variáveis envolvidas no processo e verifica se o processo atual está em desacordo ou acordo com o padrão desejado. Para este estudo são identificados as causas, efeitos, forma de detecção do problema, ações necessárias e responsáveis (SAFE: Soluções em Saúde, Segurança do Trabalho e Meio ambiente, 2019).

HAZOP						
Sistema:		Caldeira / Vaso de Pressão				
Parâmetro:		Vazão de Água				
Nó:		01				
Palavra-guia	Desvio	Causas	Deteção	Consequências	Providências	Responsável
Menos	Vazão	- Falta de água no reservatório; - Falha da bomba elétrica; - Falta de energia; - Vazamento ou entupimento no sistema de alimentação; - Falha do operador.	- Visor de Nível da caldeira (VN); - Visual (vazamento de água).	- Danos à caldeira; - Risco de acidente no caso de retorno da água com a caldeira em funcionamento (para as situações em que a água esteja muito abaixo do nível mínimo de operação); - Comprometimento do processo produtivo; - Gastos com manutenção corretiva; - Atraso na produção.	- Instalação de medidor de vazão; - Instalação de um sistema de alarme de baixo nível de água; - Instalação de entrada de água auxiliar na caldeira, com alimentação manual (bomba manual); - Elaboração de procedimento operacional (manual); - Capacitação do operador; - Manutenção periódica preventiva do sistema; - Elaboração de procedimento de emergência em caso de acidente.	- Recursos Humanos - Engenheiro - Operadores de área

Figura 2.3 - Exemplo de planilha HAZOP

FONTE: <https://uvagpclass.wordpress.com/2017/08/26/estudo-de-perigos-e-operabilidade-hazard-and-operability-study-hazop/>

Na Figura 2.3 é possível visualizar um exemplo de planilha que pode ser utilizada para realizar um estudo HAZOP. A principal diferença entre a planilha apresentada no item 2.2.1 com a ferramenta apresentada na presente seção é o nível de detalhamento e consideração da operabilidade do processo. O estudo HAZOP possui um foco nos desvios operacionais que podem causar um acidente e não somente nos acidentes. Portanto são elencados quais os sintomas do problema, ações de correções e responsáveis.

2.2.3 Diagramas *Bow tie*

Bow ties são normalmente utilizados para fornecer diagramas intuitivos e visuais a fim de comunicar as causas e consequências de riscos complexos (International Organization of Standardization - ISO, 2018). O nome se deve a semelhança visual do diagrama com uma gravata borboleta (em inglês "*bow tie*") como representado na Figura 2.4.

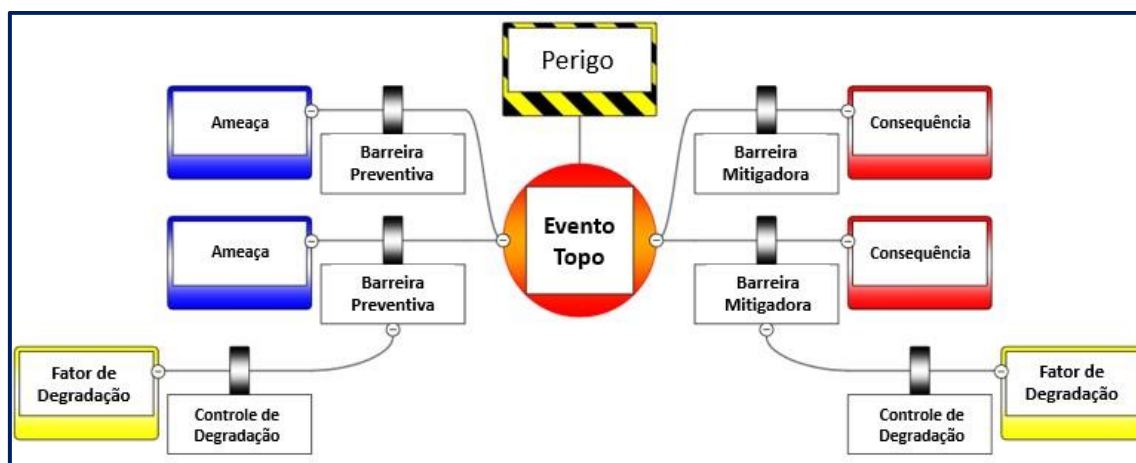


Figura 2.4 - Modelo de Bow tie

Diagramas *Bow tie* são ferramentas úteis para auxiliar na análise de risco da indústria de processos e não processos, são voltados para analisar eventos de acidentes, como eles ocorrem e como as barreiras e controles de degradação implantados podem evitá-los. Porém trata-se de uma ferramenta elaborada e complexa por muitas vezes se torna inviável criar um diagrama para todo tipo de evento. Sendo assim este tipo de ferramenta normalmente é usada para análise de MAHs. Outro ponto é que este tipo de ferramenta não é capaz de ajudar a classificar riscos.

Desta maneira, *bow ties* normalmente são construídos a partir outros tipos de estudo HAZID como os mencionados nos itens 2.2.1 e 2.2.2 onde, muitas vezes, centenas de cenários acidentais são identificados. Destes cenários acidentais, que tem seu risco classificado, normalmente, somente os cenários com classificação de risco alta é que são candidatos a ter bow tie construído. Seria muito dispendioso para a empresa construir bow ties para todos os cenários acidentais. Portanto, apesar de não aparecer na Figura 2.4, estes bow ties são desdobramentos de análises de riscos que tiveram seu grau de risco

avaliado, e, para os níveis de risco considerados altos ou críticos, foram construídos bow ties. Neste estudo, nós chamamos esses cenários críticos MAH (*Major Accident Hazard*).

Apesar de indicados principalmente para prover controle e visualização das barreiras para MAH, algumas empresas optam por desenvolvê-los para acidentes menos críticos, incluindo eventos de segurança ocupacional, como “queda de altura”, por exemplo. Por serem extremamente fáceis de compreender e capazes de integrar abordagens quantitativas e qualitativas de análise de risco, estes tipos de diagramas torna-se extremamente úteis para se realizar uma análise de risco completa para sistemas de engenharia.

O diagrama pode ser dividido em oito partes principais:

Perigo: é uma operação, atividade ou material dentro de uma organização que tem potencial para causar danos.

Evento Topo: também chamado de evento pico; representado pelo círculo laranja central na Figura 2.4, ocorre no momento em que se perde controle sobre o perigo, trata-se também do evento principal a ser controlado. O incidente ao qual deseja-se prevenir ou mitigar suas consequências, normalmente do tipo *Major Accident Hazard* (MAH) ou Acidente de Grande Risco.

Consequências: ficam do lado direito do diagrama e são resultados indesejados derivados do evento topo.

Ameaças: ficam do lado esquerdo do diagrama e são as possíveis causas que podem acionar o evento topo.

Barreiras Preventivas: ficam do lado esquerdo do diagrama, e devem ser capazes de impedir que a ameaça ocorra ou impedir que a ameaça resulte no evento topo.

Barreiras Mitigadoras: ficam do lado direito do diagrama e devem ser capazes de impedir que uma vez que o evento topo ocorra, leve às consequências ou devem mitigar os impactos das consequências.

Para maior clareza, todas as barreiras associadas diretamente às ameaças ou consequências são chamadas de "barreiras do caminho principal". As barreiras podem não funcionar como planejado e podem se degradar.

Fatores de degradação: são aqueles que causam comprometimento e podem estar ligados a qualquer barreira.

Controles de degradação: contribuem para manter a eficácia da barreira, impedindo a degradação da mesma.

De maneira simples, um diagrama *Bow tie* pode ser compreendido como um mapa esquemático que visa mostrar de maneira visual o possível caminho de falha, que pode ser lido da esquerda para a direita. Do lado esquerdo se encontra a árvore de causa que contém todas as possíveis causas do evento que se deseja prevenir e suas barreiras preventivas. Ao centro pode ser visto o evento topo que se deseja prevenir e o perigo associado a ele. À direita se encontra a árvore de consequências, que é o que ocorre após o desencadeamento do evento topo, onde são apresentadas todas as consequências do acidente e suas barreiras mitigadoras.

Algumas outras indústrias preferem os termos "proativo" ao invés de prevenção e "reativo ou recuperação" ao invés de mitigação. No contexto da indústria de processos, os termos prevenção e mitigação funcionam bem para os Acidentes Maiores (MAH), mas, por exemplo, na aviação, a recuperação pode ser preferível no lado direito. Isso ocorre porque as consequências de uma falha não são mitigadas, mas pode ser possível recuperar-se da perda de controle.

Um dos principais retornos do diagrama *bow tie* é a identificação das barreiras preventivas ou mitigadoras e seus fatores de degradação. A estas também podemos chamar barreiras críticas de segurança ou, mais comumente, SCB (do inglês, *safety critical barrier*). Barreiras críticas de segurança são sistemas ou componentes projetados para prevenir, controlar, mitigar ou responder à um MAH (Healy, 2012).

O *Bow tie* é indicado para acidentes maiores (MAHs) por permitir uma análise crítica do sistema como um todo, possibilitando o levantamento de todas as barreiras envolvendo o evento. Da identificação das barreiras críticas de segurança (SCB) vem

outro fator muito importante: os equipamentos críticos de segurança ou SCEs (do inglês, *safety critical elements*).

Equipamentos críticos de segurança são quaisquer equipamentos dentro das barreiras crítica de segurança que configuram confiabilidade para o elemento requerido (Canada Oil & Gas Producers (CAPP), 2019). A identificação dos SCEs é um dos maiores produtos do *Bow tie*, pois uma vez definidos as empresas podem traçar rotinas de manutenção, testagens e inspeções adequadas para manter o equipamento e condições seguras. Com isso garante-se integridade da barreira como um todo de maneira efetiva.

Como exemplo podemos usar um sistema de combate a incêndio em FPSOs para ilustrar melhor a noção sobre barreiras e elementos críticos de segurança. Ao se tratar sobre a prevenção e mitigação de incêndios em FPSOs obviamente entende-se que o sistema de combate à incêndios da plataforma é uma barreira mitigadora para este evento, pois esta é imprescindível para evitar que após iniciado o incêndio não se alastre e não desencadeie maiores consequências. Portanto o sistema de combate a incêndio da unidade é uma barreira crítica de segurança (SCB).

Porém esta barreira possui diversos equipamentos como as bombas de incêndio, tubulações, válvulas e mangueiras. Cada um destes equipamentos são equipamentos críticos de segurança (SCE) por fazerem parte de uma barreira crítica de segurança. Sendo assim o regime de manutenção e inspeção sobre estes ativos pode ser tratada de maneira diferente, entendendo que aquele equipamento compõe uma barreira de segurança para um evento MAH.

3 DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO *BOW TIE*

Como mencionado anteriormente o presente trabalho trata-se da utilização de um *Bow tie* para análise de risco para o evento de uma falha estrutural no casco de um FPSO. Portanto apresentado melhor as características e ferramentas da análise de risco, agora iremos focar mais no desenvolvimento do próprio *Bow tie*.

Para desenvolver um *Bow tie* deve-se atentar a diversos fatores distintos como público-alvo, escopo, objetivo do *Bow tie*, método utilizado para gerar o diagrama, ferramentas, etc. Desta maneira optou-se por utilizar a nomenclatura e recomendações do livro do Centro de Segurança de Processos Químicos (CCPS) “*Bow ties in Risk Managment: A Concept Book for Process Safety*” (CCPS, 2018) como referência primária e guia para desenvolvimento do *Bow tie*.

3.1 Propósito

O propósito do *Bow tie* é o objetivo principal de estudo, razão pela qual se dispõe esforço para realizá-lo. No presente caso definiu-se que este *Bow tie* tem como propósito mapear as barreiras preventivas e mitigadoras associados ao risco de uma falha estrutural grave no casco de uma plataforma FPSO.

Tal evento pode ser considerado um MAH pois uma falha estrutural da embarcação pode acarretar consequências gravíssimas como fatalidades, poluições em larga escala e perdas econômicas bilionárias.

3.2 Público-Alvo

O público-alvo deve ser escolhido de maneira cuidadosa pois é a ele que se destina o *Bow tie*, portanto o diagrama pode mudar de acordo com as necessidades do público a que se destina. Por exemplo, caso o público-alvo seja os operadores e trabalhadores técnicos do FPSO o *Bow tie* necessitaria possuir um alto grau de detalhamento em relação a equipamentos, peças e ativos que compõem as barreiras para que possa ser usado como guia de ação em caso de atividades emergenciais.

Por outro lado, um gestor da unidade não necessita de tal nível de detalhamento no diagrama pois sua preocupação principal é ser capaz de entender os principais sistemas que compõem as barreiras e o estado de integridade das mesmas, além de necessitar visualizar a consequências e etapas de evolução daquele acidente.

Decidiu-se que o presente *Bow tie* caberá mais ao segundo exemplo sendo destinado ao uso de engenheiros e gestores da unidade a fim de identificar as barreiras do acidente e prover visualização dos pontos críticos. Desta maneira os sistemas não serão detalhados a nível de equipamentos visto que este não é o objetivo do trabalho.

3.3 Escopo

Como mencionado anteriormente, o propósito do presente trabalho é mapear as barreiras preventivas e mitigadoras associados ao risco de uma falha estrutural grave no casco de uma plataforma FPSO, que é considerado um risco de impacto alto. O escopo engloba todos os fatores e cenários a serem considerados.

No presente caso será desenvolvido um diagrama geral capaz de fornecer informação precisa. Portanto não serão abordados detalhamentos técnicos e as barreiras elencadas serão analisadas como sistemas funcionais. Fatores humanos e organizacionais muito específicos não serão tratados, porém treinamentos para tripulação e trabalhadores serão tratados.

Serão avaliadas consequências a saúde humana, ao meio ambiente e prejuízos financeiros. Itens relacionados a conformidade de auditoria também serão tratados, caso relacionados a integridade estrutural do casco e/ou com barreiras mitigadoras.

Não serem explicitados os fatores de degradação de barreiras no diagrama, porém serão desenvolvidas matrizes de auditoria de integridade das barreiras. Tais matrizes serão compostas por requisitos que necessitam ser atendidos para que a barreira não se degrade.

3.4 Objetivo

O objetivo do *Bow tie* a ser desenvolvido é prover visualização de todas as possíveis barreiras mitigadoras e preventivas atreladas ao risco de falha estrutural em um

FPSO de maneira genérica. Portanto almeja-se que o diagrama seja capaz de ser aplicado e adequado a qualquer organização ou empresa que deseje aplicar um *Bow tie* para este tipo de acidente.

Ao ser aplicado a qualquer unidade FPSO, o *bow tie* desenvolvido deve ser capaz de ajudar a identificar as barreiras e elementos críticos de segurança.

3.5 Metodologia

Segundo o livro CCPS (Centro de Segurança de Processos Químicos) anteriormente mencionado (CCPS, 2018), existem três métodos comuns de desenvolvimento de *Bow ties*:

- Reunião de desenvolvimento com equipe de especialistas; comumente chamada de *Brainstorm*.
- *Bow tie* gerado por um especialista e depois validado por uma equipe;
- *Bow tie* gerado a partir de outro diagrama semelhante ou padrão.

No presente caso o *Bow tie* será foi gerado utilizando da primeira metodologia, onde o diagrama foi montado e discutido em encontros entre um grupo de trabalho de especialistas. A equipe foi formada pela Prof. Marta Tapia, Prof. Isaías Masetti (especialistas em gerenciamento de integridade naval), pela M.Sc. Flávia Carreiro (especialista em segurança de processos da indústria de exploração de petróleo) e pelo graduando em engenharia naval Felipe Soares.

3.6 Terminologia

A terminologia utilizada no presente trabalho é a mesma apresentada no livro de referência principal produzido pelo CCPS (CCPS, 2018).

3.7 Documentação

Para desenvolver um *Bow tie* é necessário que o diagrama seja baseado em documentos com informação relevante e confiável. Podem ser utilizados documentos como:

- Diagramas de tubulação e instrumentação (P&IDs);
- Manuais de fabricantes de equipamentos;
- Bow ties semelhantes;
- Análises de Risco como HAZID e HAZOP;
- Etc.

No caso toda a bibliografia de referência é citada ao final do presente trabalho, porém por não se tratar de um *Bow tie* específico para uma unidade ou empresa não foram usados documentos específicos como P&IDs e estudos de análises de risco. Para isso foram utilizadas literaturas sobre segurança de processo, gerenciamento de integridade naval e outros temas relacionados.

3.8 Resumo das características

Conclui-se que o estabelecimento do escopo, objetivo e público-alvo do bow tie é de grande importância, por dois motivos principais: o primeiro é que dependendo do público-alvo o bow tie deverá ser mais detalhado, chegando ao nível do equipamento, ou pode ser mais genérico, como é o caso deste trabalho onde aspectos gerais das barreiras serão gerenciados.

O segundo aspecto é que o objetivo do bow tie é, principalmente, gerenciamento das barreiras. O bow tie não é exaustivo na escolha das causas e das consequências, apenas as mais importantes para o objetivo da instituição que deseje gerenciar o risco da plataforma serão elencadas. Inclusive, com o tempo outras causas e outras consequências podem ser inseridas ou até retiradas. O que se deseja gerenciar é o estado das barreiras preventivas e mitigadoras, pois elas é que vão informar para a empresa se as salvaguardas identificadas no HAZID e HAZOP e outras que não foram elencadas nestes estudos. Quando demandadas as barreiras conseguirão responder como desejado prevenindo a ocorrência do evento indesejado ou mitigando as piores consequências.

Por isso nos interessa monitorar apenas as piores consequências. Ocorrências menores como possíveis lesões em funcionários não serão tratadas, visto que aqui só visamos considerar acidentes graves como fatalidades. Deve-se ter em mente que o bow tie não é destinado a mapear todas as consequências possíveis do evento topo estudado, mas sim todas as piores consequências.

Não será abordado aqui, porém os softwares de bow tie admitem que a matriz de risco seja incorporada ao diagrama tornando possível uma análise quantitativa de riscos.

O gerenciamento das barreiras é a grande vantagem do bow tie pois os estudos de HAZID e HAZOP, uma vez realizados, serão engavetados e apenas as recomendações serão acompanhadas. Isto porque eles são estudos com formato tabular, o que não facilita a visualização do risco. O bow tie permite que se visualize o risco, com as causas e consequências, e suas respectivas barreiras. Desta forma, é possível monitorar o estado de integridade (ou não) destas barreiras em um tempo muito menor do que os 5 anos que normalmente se exige para revisar os estudos HAZOP e APR das unidades. Estes são os ganhos da metodologia. Vale ressaltar que o bow tie não substitui o HAZID/HAZOP e nem outra técnica, pelo contrário, deve ser utilizada juntos, pois são complementares.

4 DESENVOLVIMENTO DO DIAGRAMA *BOW TIE*

Como informado anteriormente no item 3.5, o presente *Bow tie* foi gerado a partir de reuniões com especialistas em segurança de processo e integridade naval para FPSOs. A partir destes encontros foram elencadas todas as barreiras, ameaças/causas e consequências atreladas ao risco de uma falha estrutural no casco de um navio-plataforma.

No item 4.1 será apresentado o perigo, que nada mais é do que algo associado à atividade normal do processo e operação e que caso não seja controlado pode levar à ocorrência do evento topo. Evento este que será abordado no item 4.2.

No item 4.3 serão apresentadas todas as ameaças/causas que podem conduzir à ocorrência do evento topo, para cada ameaça citada serão apresentadas em conjunto as barreiras preventivas respectivas a cada causa. Para cada barreira será apresentada ao final uma lista de verificação de integridade que nada mais é que um conjunto perguntas e requisitos que necessitam ser atendidos para que a barreira seja considerada efetiva.

Associado a cada item da lista também será apresentada uma criticidade do mesmo, visto a importância de cada item para manutenção da integridade da barreira. Será considerada uma criticidade alta a todo item que seja capaz de levar ao colapso de toda a barreira caso não seja atendido, mesmo que todos os outros itens estejam em conformidade. A criticidade média será destinada a pontos de auditoria que possam causar colapso da barreira caso atuem em conjunto com a não conformidade de outro item da lista de verificação. Itens considerados de baixa criticidade são aqueles não são capazes de comprometer a integridade da barreira, porém caso sejam atendidos podem prover uma maior confiabilidade da barreira.

No item 4.4 será apresentada a árvore de consequências, de maneira similar a árvore de causas apresentada no item 4.3. Nele serão elencadas todas as consequências, barreiras preventivas e itens de auditoria de integridade da barreira; tudo na respectiva ordem hierárquica.

Ao final, no item 4.5, será apresentado o diagrama *Bow tie* completo desenvolvido.

4.1 Perigo

De acordo com o Centro de Qualidade, Segurança e Produtividade (QSP) o perigo “faz parte das operações normais do negócio, mas tem o potencial de provocar danos e perdas” (QSP - Centro de Qualidade, Segurança e Produtividade, 2020). O perigo é algo do qual não se pode fugir e deve-se lidar e controlar, para que não evolua e cause acidentes mais graves.

Para o presente trabalho foi definido que o perigo correspondente ao presente trabalho é a “Operar unidade flutuante tipo FPSO”. Trata-se de algo que é inerente ao negócio, e o fato de o FPSO estar no mar, submete sua estrutura a esforços que se espera que a funcionalidade de uma estrutura possa suportar, porém são justamente estes esforços que quando fora de controle podem culminar em uma falha estrutural.

A seguir, na Figura 4.1, o perigo é representado no diagrama *Bow tie*.



Figura 4.1 - Perigo e evento topo no Bow tie

4.2 Evento Topo

O evento topo por definição é o que “ocorre quando se perde controle sobre o perigo” (QSP - Centro de Qualidade, Segurança e Produtividade, 2020). Em nosso caso a escolha do evento topo foi o ponto de partida para o desenvolvimento de todo o trabalho e já foi definido como falhas estruturais no casco de um FPSO. As razões para tal escolha já foram citadas no item 1.2.

4.3 Ameaças

Para desenvolver um *Bow tie* é necessário elencar as possíveis ameaças que possam levar ao evento topo e suas respectivas barreiras preventivas.

Na presente seção serão apresentadas as principais causas definidas pelo grupo de trabalho e suas barreiras preventivas. Também serão apresentadas listas de verificação que serão utilizadas para auditar a integridade de cada barreira, e ao final, um diagrama esquemático representando o lado esquerdo do *bow tie* será exposto no item 4.3.7.

4.3.1 Fadiga

Uma possível ameaça capaz de causar uma falha estrutural grave em um FPSO é a fadiga das estruturas. “A fadiga é uma redução gradual da capacidade de carga do componente, pela ruptura lenta do material, consequência do avanço quase infinitesimal das fissuras que se formam no seu interior” (Rosa, 2002).

A fadiga pode ser resultado de ações cíclicas sobre a estrutura e é um fenômeno extremamente comum em estruturas navais, devido a influência das cargas dinâmicas em decorrência das ações ambientais como ondas e vento. Plataformas offshore normalmente são projetadas para operar por cerca de 20 a 25 anos em operação sem docagem, sendo que muitos FPSOs são fabricados a partir de conversões de navios petroleiros antigos.

A associação entre cargas dinâmicas intermitentes e longo período de exposição faz com que o aparecimento de trincas na estrutura do casco de FPSOs se torne algo inevitável, porém este fenômeno deve ser previsto durante o projeto da plataforma para que possa ser controlado. Além disso é necessário fazer um gerenciamento de integridade estrutural ao longo de toda a vida útil do navio-plataforma para que se assegure que as

trincas, quando ocorrerem, sejam reparadas antes de se tornarem riscos à segurança da operação do FPSO. Na Figura 4.2 são mostradas imagens de trincas em estruturas navais.



Figura 4.2 - Trincas encontradas em reforçadores de estruturas navais

FONTE: Imagem retirada do artigo “Application of a ship-routing fatigue model to case studies of 2800 TEU and 4400 TEU container vessels” (Wengang Mao, 2012)

Serão apresentadas a seguir as barreiras preventivas elencadas no diagrama para que trincas devido a fadiga não ocorram ou, quando ocorram, não se propaguem a ponto de causar uma falha estrutural grave ao FPSO.

4.3.1.1 Barreira Preventiva: Projeto Estrutural

O projeto é uma barreira muito importante na prevenção de trincas devido a fadiga durante a vida útil da plataforma. Durante a fase de projeto deve-se levar em consideração dados sobre a condição ambiental do sítio operacional ao qual a plataforma está destinada a permanecer durante sua vida útil e informações sobre a vida pregressa do casco (em caso de conversão) para que seja possível estimar a degradação dos materiais estruturais durante a operação. Além disso FPSOs estão submetidos a uma rotina de carregamento e descarregamento de tanques muito mais frequente do que de navios petroleiros comuns, ocasionando fadigas devido a estas cargas. Por isso também é considerado no projeto estrutural as cargas de baixa frequência devido ao manejo de carregamento e lastro.

A partir destas análises são definidas espessuras de chapas, dimensões de escantilhões, reforçadores, borboletas capazes de suportar todas as cargas dinâmicas e estáticas ao qual o FPSO será submetido durante sua vida operacional com certo alto grau

de confiabilidade. Além disso deve ser considerado no projeto estrutural a degradação devido a corrosão do material metálico levando em consideração não somente a corrosão em si como também o sistema de proteção (anodos de proteção catódica e pintura).

Quando tratamos de usar o projeto como barreira preventiva devemos entender que, por mais que o projeto esteja adequado, ao longo da vida produtiva da plataforma a legislação pode mudar o que levaria a barreira a estar não conforme. Portanto pode ser necessário revisar estas barreiras de acordo com o que chamamos de gestão de mudanças são as mudanças que a operadora pode realizar na fase de operação. Assim é possível alterar condições para as quais o FPSO não foi projetado, degradando a integridade da barreira projeto caso essa gestão de mudança não seja realizada corretamente.

No Brasil, e em outras países signatários da IMO, é exigido que qualquer plataforma flutuante offshore seja certificada por uma sociedade classificadora reconhecida, portanto estas instituições possuem suma importância na garantia da qualidade do projeto estrutural do FPSO em sua fase pré-operação. Todo o projeto estrutural de plataforma offshore é submetido a revisão da sociedade classificadora de preferência do armador, para que seja analisado e aprovado. Portanto a sociedade classificadora é uma instituição que certifica a boa qualidade do projeto e sua aprovação pode ser considerada como um ponto de auditoria desta barreira de alta criticidade devido a ser caráter regulatório.

Além disso, as sociedades classificadoras requisitam que seja realizado um estudo utilizando o método elementos finitos (FEM) do projeto estrutural para que possa ser dada a certificação da embarcação. Porém tem sido uma prática cada vez mais comum que tais modelos sejam usados para desenvolvimento de planos de inspeção baseada em risco ou RBI (do inglês *Risk-Based Inspection*) que apesar de não serem exigidos por sociedades classificadoras se mostraram ferramentas muito úteis para o gerenciamento de integridade de estruturas flutuantes. Desta maneira o desenvolvimento de planos RBI para a plataforma pode ser considerado um ponto de auditoria da barreira, porém, por se tratar de uma ação de melhoria do projeto e não ser mandatório para garantir a integridade da barreira, a este requisito será atribuída baixa criticidade.

Por último, é necessário garantir que a estrutura real esteja compatível com o projeto aprovado por sociedade classificadora. Sendo assim deve-se garantir que o

processo de conversão e/ou construção do FPSO seja realizado de acordo com o previsto no projeto. Fadiga é um fenômeno difícil de se prever, o projeto deve atentar para isso, a construção deve ficar atenta aos defeitos, fatores importantes não podem ser esquecidos e as inspeções ou vistorias periódicas são imprescindíveis durante a construção.

Para um FPSO convertido é necessário que seja trocada uma série de chapas e reforçadores, visto que boa parte da estrutura do navio a ser convertido já está degradada devido a vida operacional pregressa. Torna-se de extrema importância garantir que o processo de construção do FPSO seja realizado conforme o projeto estrutural pois caso contrário, nada adianta um bom projeto. Deste modo, outro ponto de auditoria da barreira de projeto é a execução do estudo de vida útil, mesmo durante a fase de construção, de forma que a este requisito foi atribuída criticidade alta.

A Tabela 4.1 a seguir elenca alguns pontos de auditoria para a barreira de projeto estrutural a fim de prevenir um possível acidente devido a fadiga:

Tabela 4.1 - Lista de verificação de integridade para a barreira de projeto estrutural

Barreira		Pergunta	Criticidade
Projeto Estrutural	1.1.a	Foi realizado um estudo consistente de cálculo de vida útil do ativo utilizando um modelo de elementos finitos (FEM) para gerar os planos de inspeção RBI?	Baixa
	1.1.b	O estudo de vida útil foi aprovado pela sociedade classificadora?	Alta
	1.1.c	Durante a conversão foram feitos todos os reparos e/ou trocas de reforços e chapeamentos listados como necessários durante o estudo de vida útil?	Alta

4.3.1.2 Barreira Preventiva: Gerenciamento de Integridade Estrutural

Gerenciamento de integridade pode ser entendido como “a determinação da confiabilidade estrutural requerida, inspeções (tipo, frequência, tempo e extensão), atividades de manutenção a fim de manter o risco de falha em níveis aceitáveis” (Yong Bai, 2014). Ou seja, todo o esforço compreendido durante a vida útil da embarcação para manter o ativo em condição de operação segura, confiável e íntegro.

Quando se fala de integridade naval as inspeções de tanques e casco são, sem dúvida, o fator mais importante. As inspeções de tanques normalmente são conduzidas de maneira periódica por um vistoriador delegado pela sociedade classificadora pela qual a embarcação é certificada. A Organização Marítima Internacional (IMO) estabeleceu no documento “*Harmonized System of Survey’s and Certification*” (International Maritime Organization, 1999) cinco tipos de inspeção de acordo com seu escopo, que apesar de não obrigatório serve como referência para o calendário de inspeção da maior parte das sociedades classificadoras:

1. **Inspeção inicial:** Conduzida antes do navio entrar em operação, normalmente realizada no estaleiro. Trata-se de uma inspeção completa onde são vistoriados todos os itens relacionados a certificação.
2. **Inspeção anual:** Realizada anualmente com o intuito de conferir se os itens certificados estão sob devida qualidade de manutenção.
3. **Inspeções periódicas:** Realizada para verificar se os itens relacionados a uma certificação particular estão em boas condições e atendem ao requisitado para serviço da embarcação, sendo realizada mais de uma vez a cada cinco anos ou até mesmo anualmente (dependendo do item a ser certificado).
4. **Inspeções intermediárias:** Possuem o mesmo objetivo que as inspeções periódicas, porém são realizadas apenas uma vez a cada cinco anos, acontecendo entre o segundo e terceiro ano de ciclo.
5. **Inspeções de renovação:** Possuem escopo parecido com a inspeção periódica, porém mais detalhada e determinam a emissão de um novo certificado pela sociedade classificadora.

O modelo mais comum de programação de vistorias em sociedades classificadoras consiste em ciclos com duração de cinco anos. Anualmente são realizadas inspeções anuais com exceção do terceiro ano do ciclo onde é realizada uma inspeção intermediária e do quinto ano, onde ocorre uma inspeção de renovação.

Tais vistorias são de extrema importância para o gerenciamento de integridade naval da unidade pois é por meio destas que a sociedade classificadora avalia o estado da embarcação e mantém a certificação da unidade. O vistoriador delegado pela classificadora durante a inspeção verifica a integridade estrutural do casco do FPSO e, as anomalias encontradas, entram como “recomendações de classe”, que são itens a serem corrigidos pelo armador dentro de um determinado prazo para que a plataforma mantenha sua classe.

Exemplos de anomalias a serem encontradas durante a inspeção são:

- Corrosão acentuada ou *pitting*,
- Trincas,
- Falhas de pintura (*coating*),
- Empenos devido a flambagem,
- Deformações estruturais,
- Furos nos chapeamentos,
- Degradação dos anodos de proteção catódica,
- Etc.



Figura 4.3 - Vistoriador realizando inspeção de um tanque de navio petroleiro

FONTE: Imagem retirada do site da UTM Shipping Service

Portanto, do ponto de vista de gerenciamento de integridade estrutural, é extremamente importante garantir que as vistorias ocorram com a periodicidade adequada e de acordo com os padrões da sociedade classificadora. Além disso é de responsabilidade do armador assegurar que os reparos advindos de recomendações de inspeção sejam realizados com devida prioridade e dentro do prazo estipulado pela classificadora. Estes serão considerados então como pontos de auditoria da barreira de gerenciamento de integridade estrutural de alta criticidade.

Como mencionado no item anterior tem sido uma prática cada vez mais comum entre armadores de FPSO o desenvolvimento de planos de inspeção baseada em risco (RBI). Tais planos são desenvolvidos a partir de uma análise estrutural detalhada durante a fase de projeto a fim de determinar quais os pontos mais suscetíveis a falhas estruturais e que, portanto, necessitam de maior atenção durante as inspeções. Este recurso não é

exigido por sociedades classificadoras, porém é uma ferramenta que pode aumentar muito a confiabilidade estrutural da plataforma uma vez que os planos de inspeção seriam mais bem orientados o que reduz o risco de que, certas anomalias não sejam identificadas durante as vistorias. Desta maneira a realização de planos de inspeção baseados em análises de risco será considerado um ponto de auditoria de criticidade baixa, uma vez que é uma melhoria ao gerenciamento de integridade, porém não compromete a integridade da barreira.

A Tabela 4.2 a seguir elenca todos os pontos de auditoria para a barreira de gerenciamento de integridade estrutural a fim de prevenir um possível acidente devido a fadiga:

Tabela 4.2 - Lista de verificação de integridade da barreira de gerenciamento de integridade estrutural

Barreira		Pergunta	Criticidade
Gerenciamento de integridade estrutural	1.2.a	Foram conduzidas inspeções preventivas pelas sociedades classificadoras e estas foram realizadas de em conformidade com a legislação aplicável e na periodicidade correta?	Alta
	1.2.b	Os reparos advindos de recomendações de inspeções de tanque são priorizados e realizados em conformidade com a legislação aplicável e dentro do prazo?	Alta
	1.2.c	As inspeções são realizadas conforme uma análise de risco (RBI)?	Baixa

4.3.2 Distribuição incorreta de Carga ou Lastro

FPSOs são estruturas flutuantes capazes de comportar mais de 2,000,000 barris de petróleo em seus tanques de carga, sendo assim a movimentação e arranjo de cargas e lastro da unidade determina uma grande parcela dos esforços sobre a estrutura da plataforma. Uma distribuição incorreta de carregamento nos tanques de lastro e carga poderia, além de afetar o equilíbrio e estabilidade da embarcação, causar concentrações de tensão indesejadas em certos pontos o que acarretaria um colapso estrutural.

Serão apresentadas a seguir as barreiras preventivas que podem evitar que uma distribuição incorreta de carregamentos aconteça levando a uma falha estrutural do FPSO.

4.3.2.1 Barreira Preventiva: Projeto de distribuição de cargas no FPSO

Durante a fase de projeto da embarcação são realizados planos de carregamento, documentos que devem ser aprovados por uma sociedade classificadora contendo todas as possíveis combinações distribuição de carga ao qual a embarcação pode ser submetida e as características hidrostáticas de cada configuração.

Para aprovação deste plano as combinações são testadas em modelos de elementos finitos para verificação dos esforços residuais sobre a estruturas. Caso uma configuração apresente altas concentrações sobre a estrutura a mesma é retirada do plano.

Os planos de carregamento são um produto importante para os operadores, pois retornam a eles o conhecimento sobre quais arranjos de carga são permitidos à embarcação e o estado final de equilíbrio e estabilidade da mesma. Além disso é necessário compreender que FPSOs possuem uma frequência de carregamento e descarregamento de tanques muito maior que a de navios petroleiros convencionais. O *offloading* dos FPSOs ocorre normalmente de maneira semanal, sendo assim os cuidados quanto as operações de carga neste tipo de plataforma são muito maiores do que em petroleiros que normalmente demoram meses para poderem descarregar.

Foram considerados como pontos de auditoria de integridade da barreira a submissão e aprovação do plano pela sociedade classificadora responsável e a realização de um modelo em elementos finitos para análise estrutural das condições apresentadas no plano. Aos dois pontos de auditoria da barreira foram dadas criticidades altas por se tratar de itens regulatórios e que funcionam como base para todas as outras barreiras preventivas para esta mesma causa (distribuição incorreta de carga ou lastro).

A Tabela 4.3 a seguir apresenta os principais pontos de auditorias elencados para verificação da integridade da barreira de projeto de distribuição de cargas no FPSO para evitar uma possível falha estrutural devido a uma distribuição incorreta de cargas.:

Tabela 4.3 - Lista de verificação de integridade da barreira de projeto de distribuição de cargas no FPSO

Barreira		Pergunta	Criticidade
Projeto de distribuição	2.1.a	Foi realizado um plano de carga detalhado considerando os esforços estruturais devido as diferentes configurações de carga?	Alta

de cargas no FPSO	2.1.b	O plano de carga foi aprovado pela sociedade classificadora e encontra-se atualizado?	Alta
-------------------	-------	---	------

4.3.2.2 Barreira Preventiva: Ação do operador de Carga

Para que haja uma distribuição correta de cargas em um FPSO a tripulação responsável por operar sistema de carga deve possuir devido conhecimento para seguir corretamente os procedimentos de segurança e carregamento, de acordo com o plano de carregamento aprovado. A maneira mais efetiva e prática de assegurar que a tripulação está devidamente preparada para as rotinas de segurança durante o trabalho é garantindo que ela esteja devidamente treinada e qualificada em conformidade com os requisitos da bandeira, autoridade marítima local e outros órgãos legisladores. Desta maneira os operadores serão capazes de reconhecer suas responsabilidades e as legislações as quais a atividade está submetida. Portanto a verificação dos certificados de treinamento e qualificação da tripulação de acordo com os órgãos legisladores será um ponto de auditoria desta barreira. Uma vez que se trata de itens regulatórios, este requisito será considerado de alta criticidade.

Além disso, todo empregado deve receber treinamentos de indução e atualização para que seja capaz de trabalhar de acordo com os padrões e procedimentos da empresa. Além disso o profissional precisa ser orientado a como proceder frente as particularidades da embarcação em relação a outras unidades semelhantes. Portanto será considerado como um ponto de auditoria de criticidade alta que a tripulação seja devidamente treinada e orientada a seguir e utilizar o plano de carga corretamente.

Na Tabela 4.4 a seguir são elencados os pontos de auditoria da barreira de ação do operador que visa evitar distribuições incorretas de carga no FPSO:

Tabela 4.4 - Lista de verificação de integridade da barreira Ação do operador de carga

Barreira		Pergunta	Criticidade
Ação do operador de lastro	2.2.a	Os certificados de treinamento da tripulação foram verificados e estão de acordo com os padrões da indústria e órgãos reguladores?	Alta
	2.2.b	A tripulação foi treinada para realizar os procedimentos de carga de acordo com o plano de carga corretamente?	Alta

4.3.2.3 Barreira Preventiva: Monitoramento Remoto

No caso de FPSOs existem programas de computador capazes de acompanhar e gerenciar o carregamento da unidade. Tais programas devem ser aprovados por sociedades classificadores, como, por exemplo, o HECSALV que é de propriedade do *American Bureau of Shipping* (ABS) que está representado na Figura 4.4.

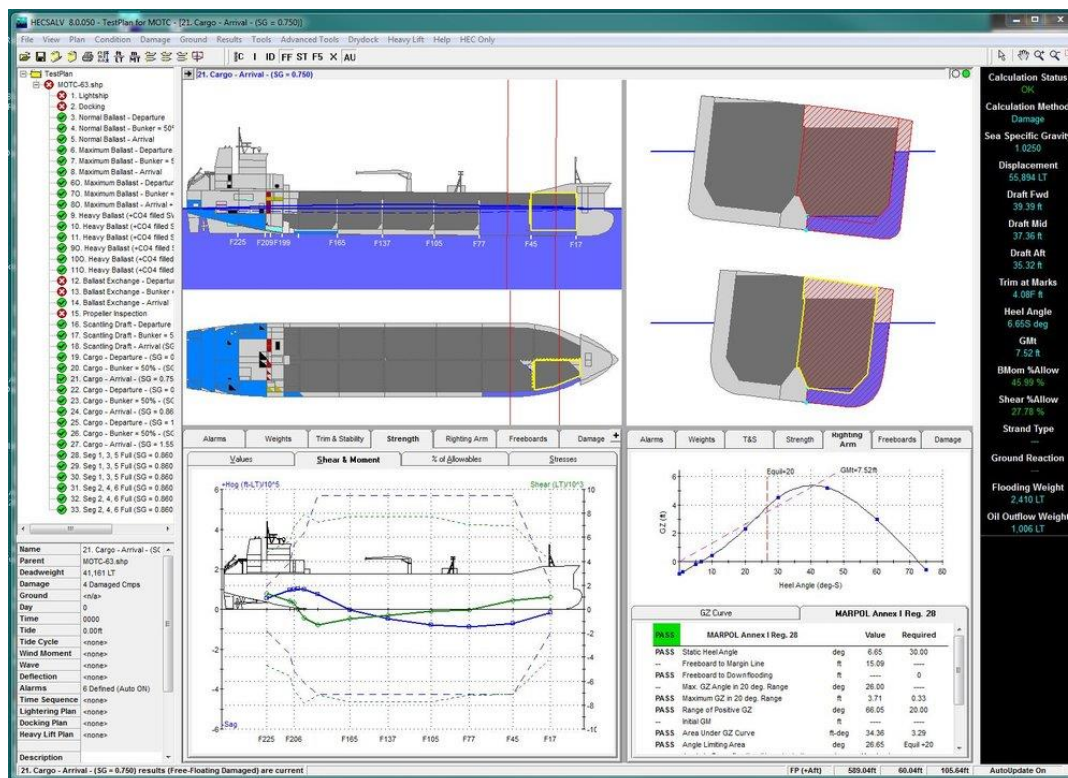


Figura 4.4 - Captura de tela do software HECSALV em seu módulo de gerenciamento de carga

FONTE: Imagem retirada do site do software HECSALV

Estes softwares acompanham, em tempo real, a distribuição de cargas e lastros da plataforma e confrontam com o plano de carregamento da unidade. Deste modo qualquer distribuição incorreta de cargas é imediatamente sinalizada e alertas são emitidos aos operadores e gestores da unidade para que a carga seja imediatamente redirecionada para outro tanque.

Por ser uma ferramenta muito eficaz e capaz de aumentar a confiabilidade ao sistema de segurança contra distribuições incorretas de cargas esta barreira será considerada de alta criticidade. Na Tabela 4.5 a seguir é apresentada a lista de verificação da barreira:

Tabela 4.5 - Lista de verificação de integridade da barreira de monitoramento remoto

Barreira		Pergunta	Criticidade
Monitoramento remoto	2.3.a	O software de monitoramento de movimentação de carga está operacional?	Alta

4.3.3 Colisão

O trânsito marítimo ao redor de FPSOs é constante devido os navios de apoio à operação como *Supply Boats* (PSV) que levam suprimentos e materiais à plataforma e PLSVs que operam as linhas próxima à unidade. Desta forma é necessário se preocupar com o risco de colisão da plataforma com outras unidades marítimas no entorno e na possibilidade de uma dessas colisões levarem a acidentes graves. Abaixo é apresentada a colisão que ocorreu na plataforma P-77 da Petrobras em março de 2020, na Figura 4.5.



Figura 4.5 - Imagens após a colisão de um navio de apoio com a plataforma P-77 no Brasil, em 2020

FONTE: Imagem retirada do site de notícias Click Petróleo e Gás

Além das embarcações de apoio também há risco de colisão com os navios aliviadores, durante as operações de *offloading*. Como mencionado no item 4.3.2 as

operações de *offloading* são rotineiras em FPSOs tendo em visto a constante necessidade de descarregamento da unidade e escoamento do petróleo para a costa. Os navios aliviadores normalmente são petroleiros que foram modificados para possuir posicionamento dinâmico. Sendo assim, da mesma maneira que os navios de apoio, os navios aliviadores necessitam ficar muito próximos com a plataforma para ser possível conectar os mangotes de *offloading* durante a operação de descarregamento do FPSO. Porém, diferentemente dos navios de apoio que são de médio e pequeno porte, os navios aliviadores são navios grandes e conseqüentemente uma possível colisão entre estes e a plataforma poderia causar um acidente mais grave.



Figure 4.6 - Operação de *offloading*

FONTE: Imagem retirada do site da MacGregor

Acidentes envolvendo embarcações de apoio, navios aliviadores e FPSOs não são raros, porém dificilmente causam danos catastróficos à estrutura da plataforma. O motivo para isso é que a gravidade do dano depende muito da energia cinética de impacto desprendida durante a colisão e existem diversas barreiras que visam (quando não evitam o acidente) reduzir a magnitude desta energia. Tais barreiras serão apresentadas nas seções a seguir:

4.3.3.1 Barreira Preventiva: Sistema de Comunicação

Toda embarcação marítima é dotada de sistemas de comunicação por rádio ou satélite. Além disso existem sistemas de georreferenciamento como GPS que permitem rastrear todas as embarcações que estão próximas ao FPSO e suas respectivas rotas e

velocidades. Portanto estes sistemas são a primeira barreira para prevenção de riscos de colisão.

Caso alguma embarcação esteja em rota de colisão com o FPSO o sistema de georreferenciamento (GPS) pode alertar a aproximação da unidade e sua respectiva velocidade com antecedência. Muitos armadores já estão utilizando sistemas automatizados de detecção de navios e plataformas em rota de colisão, a partir das coordenadas de GPS. Trata-se de programas de computador simples que analisam as coordenadas das embarcações próximas, suas velocidades e sua rota para calcular se existe risco de colisão. Caso identificado uma possível ameaça o sistema dispara um alarme.

Com isso, através dos meios de comunicação via rádio e satélite, os radio operadores da unidade são capazes de entrar em contato com a embarcação em trânsito e solicitar a redução de velocidade e mudança de curso em tempo hábil para a manobra. A operacionalidade dos sistemas GPS e de comunicação entram, então, como pontos de auditoria desta barreira considerados de criticidade alta pois seu não funcionamento implica em degradação total da barreira.

O sistema de sinalização luminosa da embarcação também é um meio de comunicação com navios que trafegam no perímetro próximo, auxiliando-os a realizar a correta manobra em torno do FPSO. Portanto foi considerado que a correta operação da sinalização luminosa também é um ponto de auditoria da barreira, porém de criticidade média.

A seguir é apresentada a Tabela 4.6 de auditoria de integridade desta barreira:

Tabela 4.6 - Lista de verificação de integridade da barreira sistema de comunicação

Barreira		Pergunta	Criticidade
Sistema de comunicação	3.1.a	Os Sistemas de comunicação por rádio e satélite encontram-se operacionais?	Alta
	3.1.b	O Sistema de georreferenciamento encontra-se operacional?	Alta
	3.1.c	As Luzes de sinalização encontram-se operacionais?	Média

4.3.3.2 Barreira Preventiva: Ação do operador de telecomunicação

Com o que corresponde ao risco de colisão de uma unidade FPSO o fator humano apresentado como barreira consiste no devido conhecimento dos rádio-operadores da unidade sobre os sistemas de sinalização, comunicação e rastreamento com navios periféricos. Também existe a necessidade de tais profissionais estarem sempre atentos ao cronograma de navios de apoio e aos sensores de proximidade de embarcação, a fim de poderem efetuar contato com embarcações que possuam potencial de colisão com a plataforma.

Além disso os rádio-operadores precisam ser capazes de reconhecer suas responsabilidades e as legislações as quais a atividade está submetida, portanto como ponto de auditoria da barreira é primeiro necessário garantir que os rádio-operadores da unidade estejam devidamente treinados e qualificados para exercer a função. A isto será configurado uma criticidade alta por se tratar de algo controlável e auditável pela gerência da unidade, que sozinho é capaz de comprometer a barreira por completo.

Também é importante, sobre o ponto de vista da barreira de fator humano, que o rádio-operador esteja atento a todos os alertas de aproximação de navios periféricos. Este é um ponto muito difícil de auditar por ser extremamente subjetivo, mas algumas ações podem ser tomadas para reduzir a chance de falha neste item. Dentre eles podemos destacar sistemas de alertas que avisem situações de atenção ao operador e uma rotina de trabalho não sobrecarregada.

A seguir é apresentada na Tabela 4.7 os pontos de auditoria de integridade desta barreira:

Tabela 4.7 - Lista de verificação de integridade da barreira Ação do operador de telecomunicação

Barreira		Pergunta	Criticidade
Ação do operador de telecomunicação	3.2.a	A carga horária de trabalho dos Radio-operadores permite que estejam descansados para que sua atenção às embarcações periféricas não seja comprometida?	Alta
	3.2.b	Os Radio-operadores estão devidamente treinados e qualificados, e seus treinamentos estão válidos?	Alta

4.3.3.3 Barreira Preventiva: Seleção de Contrato

A maior parte do trânsito marítimo ao redor da unidade são de embarcações contratadas pela gerência de operação da unidade como navios aliviadores, navios de apoio a plataformas (PSVs) e outras embarcações de apoio. Falhas nos sistemas de manobra das embarcações periféricas são uma causa comum para colisões envolvendo FPSOs e normalmente são atreladas a problemas de manutenção do navio. Porém a manutenção dos navios de apoio é de responsabilidade dos armadores, que normalmente são empresas contratadas pela gerência da plataforma como prestadoras de serviço.

Sendo assim a seleção de contrato possui papel imprescindível para garantir que os navios das contratadas estejam em bom estado de manutenção, reduzindo a chance de eventuais colisões durante a manobra. Nos contratos também são especificados todos os requisitos operacionais desejados pela gerência da plataforma. Estes requisitos devem ser atendidos pelo prestador dos serviços. Por exemplo, parâmetros como o nível de manobrabilidade e posicionamento dinâmico das embarcações contratadas devem estar claramente especificados no contrato e devem ser atendidos pelas empresas contratadas.

Portanto um primeiro ponto de auditoria para esta barreira seria uma correta elaboração de contrato garantindo uma devida exigência de manutenção das unidades contratadas e seus requisitos mínimos operacionais, como nível de posicionamento dinâmico e tipo de sistema de manobra. Foi definido que este ponto possuirá uma criticidade alta *Bow tie* visto que é a maneira mais efetiva que a gerência do FPSO possui para garantir segurança na operação de navios de apoio nas proximidades da plataforma.

Também é necessário que, além do contrato com a prestadora de serviços, sejam realizadas auditorias por parte da empresa gestora do FPSO para averiguar se as embarcações da contratada estão atendendo os requisitos de contrato (como boa manutenção do sistema de posicionamento dinâmico e eletrônica embarcada) além de apresentarem plano de manutenção em dia. A este item foi dado uma criticidade alta visto que ele é tão importante quanto o próprio contrato para certificar que os navios prestadores de serviço estejam em aceitável condição operacional.

A seguir é apresentada a Tabela 4.8 para auditoria de integridade desta barreira:

Tabela 4.8 - Lista de verificação de integridade da barreira seleção de contrato

Barreira		Pergunta	Criticidade
Seleção de Contrato	3.3.a	A Seleção de contrato foi realizada de forma correta garantindo que os navios de fornecedores possuam nível adequado de manobrabilidade e posicionamento dinâmico, além de se encontrar em bom estado de manutenção?	Alto
	3.3.b	As Auditorias das embarcações de fornecedores estão em dia?	Alto

4.3.4 Corrosão

A corrosão pode ser entendida como a deterioração do material metálico que compõem as estruturas navais do FPSO a partir de interações químicas com agentes do ambiente externo, como a água do mar e o ar. A corrosão de estruturas de aço ocorre principalmente pela oxidação dos materiais ferrosos, fenômeno que é potencializado devido ao ambiente extremamente úmido e salinizado ao qual se encontra a indústria offshore. Na Figura 4.7 é possível ver a ação de corrosão sobre chapas metálicas.



Figura 4.7 - Corrosão de uma chapa metálica.

FONTE: <http://www.ccdm.ufscar.br/2020/07/07/ensaios-de-corrosao-testes-de-imersao/>

A liga de aço quando oxidada perde toda sua eficiência estrutural e suas partículas se desprendem da estrutura, gerando uma diminuição da espessura de chapas e reforçadores. Como consequência há uma perda de material o que pode fazer com que a estrutura colapse por não ser mais capaz de suportar os esforços ao qual foi projetada.

4.3.4.1 Barreira Preventiva: Projeto Estrutural

A corrosão é levada em consideração durante a fase do projeto estrutural, para isso todos os componentes da estrutura são construídos com um sobre dimensionamento de espessura para que durante a vida útil da embarcação a estrutura não se colapse devido a deterioração do material. Também é considerado nessa fase todo o sistema de proteção contra corrosão como anodos de proteção catódica, pintura e sistema de corrente impressa. A barreira mencionada no item 4.3.1.1 para fadiga é a mesma que se aplica a corrosão, uma vez que o projeto estrutural é o mesmo, desta maneira não será explicada novamente.

4.3.4.2 Barreira Preventiva: Gerenciamento de Integridade Estrutural

Esta barreira é a mesma abordada no item 4.3.1.2 para fadiga, pois durante as inspeções regulares conduzidas por sociedades classificadoras são verificadas tanto todas e quaisquer tipos de anomalias; sejam elas oriundas de fadiga, corrosão ou outras causas. As anomalias mais comuns que envolvem corrosão de materiais encontradas são perda de espessura, *pitting*, falha na pintura de proteção e condição degradada dos anodos de proteção catódica.

Dentro desta barreira também está inserido toda a manutenção dos sistemas de proteção contra corrosão da estrutura como: reparos na pintura, troca de anodos de proteção e gerenciamento do sistema de corrente impressa (caso exista).

4.3.5 Explosão e Implosão durante operações de carga

O risco de explosões em tanques de FPSOs existe uma vez que a própria carga ao qual se destina tais tanques produz gases altamente inflamáveis que podem gerar grandes explosões com pequenas faíscas e chamas difíceis de serem apagadas devido à natureza da carga. Além do grande impacto sobre a estrutura devido a detonação inicial, as altas temperaturas das chamas sobre o material metálico podem reduzir a eficiência estrutural, podendo causar um colapso da estrutura como um todo. Portanto toda embarcação

destinada a carregar grandes quantidades de petróleo possui um sistema de inertização de gases para reduzir o risco de explosões dentro dos porões de carga.

Além disso, podem ocorrer implosões e explosões nos tanques devido a execução errada dos procedimentos de carga gerando uma despressurização dos porões de carga durante o descarregamento. Outra possibilidade de explosão durante as operações de carga é durante o processo de *offloading*, onde podem vaziar para a atmosfera gases inflamáveis caso não seja realizada uma devida conexão dos mangotes. *Offloadings* são operações tão complexas e que podem acarretar tantas consequências que necessitariam de um bow tie exclusivamente para tratar essa operação.

As barreiras para tais eventos serão discutidas logo a seguir.

4.3.5.1 Barreira Preventiva: Projeto Estrutural

O projeto estrutural já foi abordado no item 4.3.1.1 do presente trabalho e é também uma barreira preventiva para explosões e implosões no FPSO. O dimensionamento de escantilhões e espessuras de chapas deve levar em consideração os possíveis esforços locais devido a explosões ou diferenças de pressão no interior do tanque. Além disso, o material escolhido para construção da embarcação deve possuir resistência térmica em níveis aceitáveis para que a estrutura não colapse em um possível incêndio.

4.3.5.2 Barreira Preventiva: Ação do operador de carga

Na indústria offshore alguns acidentes graves já ocorreram devido a procedimentos errados no manejo de carga e lastro que geraram despressurização e implosão de tanques, portanto é imprescindível que os técnicos de carga da unidade possuam devida qualificação e treinamento e estejam preparados para realizar os processos adequados. Neste ponto também é abordado o treinamento e qualificação dos operadores do sistema de *offloading*, para que a correta conexão dos mangotes aconteça evitando o risco de explosão durante o procedimento. A ação do operador de carga dentro do processo de manejo de carga já foi abordada no presente trabalho e pode ser revisto no item 4.3.2.2.

4.3.5.3 Barreira Preventiva: Sistema de Geração Gás Inerte

A inertização de um ambiente é a “injeção de um gás inerte no espaço vazio de tanques e vasos de processo para evitar reações indesejáveis com o oxigênio e a umidade do ar” (José C. Caranti, 2020), tais gases substituem os vapores advindos do óleo estocado nos tanques e reduz a concentração de oxigênio tornando a atmosfera menos explosiva. Normalmente se utiliza o gás Nitrogênio (N_2) como gás inerte por ser mais barato, mas também podem ser utilizados outros gases como o argônio e o CO_2 .

Também é necessário sempre manter a pressão interna constante no porão de carga, portanto os tanques não são atmosféricos e existe um controle ativo da pressão interna. Sendo assim, durante o descarregamento, o nível da carga abaixa e a pressão também, então o sistema de geração de gás inerte injeta mais nitrogênio (ou qualquer outro gás inerte). No caso contrário, a elevação do nível de óleo aumenta a pressão interna do tanque, esse aumento de pressão é detectado pelas válvulas de alívio que se abrem e liberam o gás até que a pressão volte a padrões aceitáveis. O sistema de alívio será abordado logo mais no item 4.3.5.4.

Para garantir a integridade do Sistema Gerador de Gás Inerte como barreira preventiva para acidentes envolvendo falhas estruturais do FPSO foram definidos alguns pontos de auditoria da barreira, sendo o primeiro a condição de manutenção do equipamento, em seguida, a sua rotina de inspeção. Na indústria, o principal objetivo da manutenção de ativos é garantir que o ativo se manterá operando dentro da confiabilidade esperada a fim de evitar que falhas ocorram. Caso contrário, o equipamento pode falhar a qualquer momento. Uma manutenção centrada em confiabilidade deve ser pautada em rotinas de inspeção a fim de que falhas potenciais sejam identificadas e corrigidas antes de acontecerem. Portanto a manutenção adequada do sistema de gás inerte foi adotada como um ponto de auditoria de criticidade alta, visto que isso é imprescindível para manter a integridade da barreira.

O segundo ponto de auditoria é a operação do próprio sistema, visto que ele é composto de um mecanismo ativo e que mesmo podendo ser altamente automatizado ainda depende da ação dos operadores. Portanto o segundo ponto de auditoria da barreira seria garantir que sistema esteja sendo corretamente utilizado, seguindo os padrões do fabricante. A este requisito foi atribuída uma criticidade média, visto que apesar de

importante, os sistemas são projetados para emitir alertas e detectar possíveis desvios operacionais.

A seguir é possível visualizar a Tabela 4.9 de auditoria da barreira do sistema de gerador de gás inerte:

Tabela 4.9 - Lista de verificação de integridade da barreira sistema de gás inerte

Barreira		Pergunta	Criticidade
Sistema de Gás Inerte	5.3.a	A manutenção do sistema de geração de gás inerte tem sido realizada conforme plano de manutenção estabelecido?	Alta
	5.3.b	A operação do sistema de geração de gás inerte está conforme procedimento de operação estabelecido?	Média

4.3.5.4 Barreira Preventiva: Sistema de Alívio

Como mencionado no item 4.3.5.3 o controle de pressão dentro dos tanques de carga é de grande importância na prevenção de explosões e implosões. Quando a carga é descarregada e o nível de óleo diminui, a pressão no compartimento cai e mais nitrogênio é injetado para que não haja uma despressurização. Porém quando o contrário ocorre é o sistema de alívio, ou suspiros, que atua como agente regulador da pressão.

Os suspiros são saídas atmosféricas dos tanques equipadas com válvulas de segurança de pressão que possuem um diafragma em seu interior, fazendo que o fluxo só seja liberado quando a pressão interna do tanque atingir pressões elevadas. Trata-se de uma barreira passiva que não necessita de operadores ou energia para se manter ativa. Na Figura 4.8 a seguir é possível visualizar um esquema deste tipo de válvula:

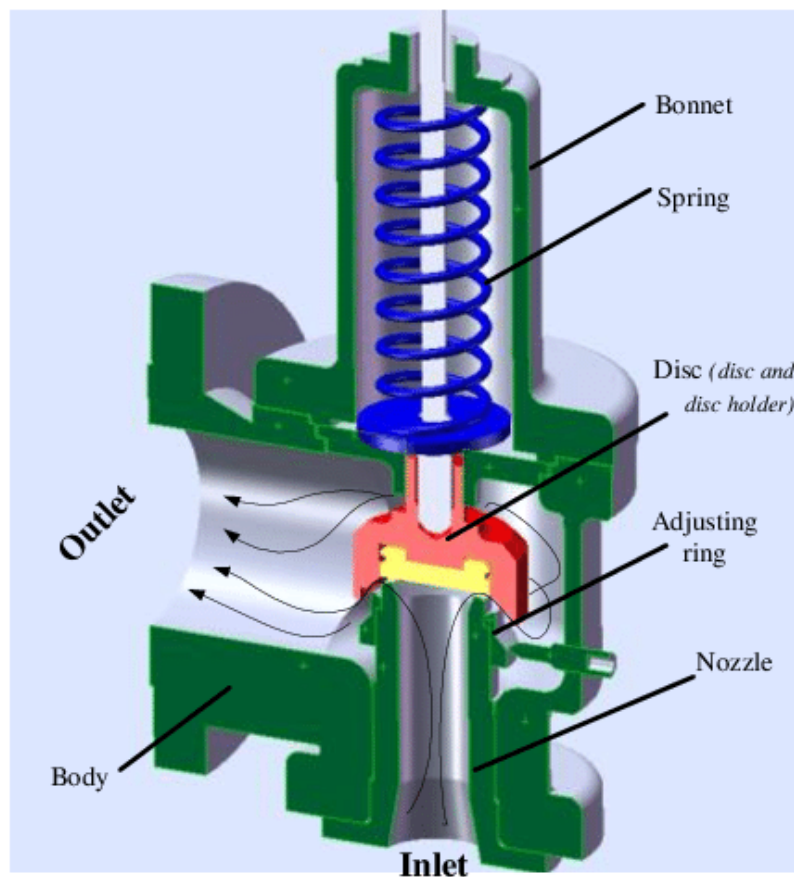


Figura 4.8 - Válvula de segurança de pressão

FONTE: Imagem retirada do artigo “Three-Dimensional CFD Analysis of a Spring-Loaded Pressure Safety Valve From Opening to Re-Closure” (Song, 2010)

Como o sistema é totalmente auto monitorado, um requisito importante de auditoria desta barreira é a condição de manutenção das válvulas e redes de alívio. Portanto deve-se garantir que todas as tubulações e válvulas que compõe o sistema de alívio estão em boas condições de manutenção e operação e a este requisito foi atribuída criticidade alta, uma vez que é imprescindível para manter a integridade da barreira.

A seguir, na Tabela 4.10, lista de verificação da barreira pode ser visualizada:

Tabela 4.10 - Lista de verificação de integridade da barreira sistema de alívio

Barreira	Pergunta	Criticidade
----------	----------	-------------

Sistema de alívio	5.4.a	A manutenção do sistema de alívio (válvulas e tubulações) tem sido realizada conforme plano de manutenção estabelecido?	Alta
-------------------	-------	---	------

4.3.5.5 Barreira Preventiva: Gerenciamento de Integridade Estrutural

Esta barreira é a mesma abordada no item 4.3.1.2 para fadiga, pois durante as inspeções regulares conduzidas por sociedades classificadoras são verificadas tanto todas e quaisquer tipos de anomalias; sejam elas oriundas de fadiga, corrosão ou outras causas. Tais anomalias pode produzir furos ou trincas o que permitiria o vazamento de carga e vapores para outros tanques que não possuem o controle do sistema gerador de gás inerte, criando um ambiente explosivo e inflamável dentro de compartimentos de lastro ou vazios. Além disso esse evento pode tornar difícil o controle de pressão dentro dos tanques, o que comprometeria a efetividade da barreira.

4.3.5.6 Barreira Preventiva: Detecção de Gases Inflamáveis

Como explicado anteriormente os tanques de cargas possuem sua atmosfera controlada por sistemas geradores de gás inerte, porém tanques de lastro ou vazios não contam com o mesmo controle. Isso porque não se espera que a atmosfera de tais compartimentos apresente gases inflamáveis. Porém há a possibilidade de que trincas ou furos nos chapeamentos de anteparas provoquem vazamentos de carga ou vapores dos tanques de cargas para tanques de lastro.

Caso a presença de gases inflamáveis nos tanques não seja detectada a tempo, um ambiente altamente inflamável e explosivo dentro do compartimento pode ser formado de tal forma que venha a comprometer a segurança da unidade. Portanto, são instalados detectores de gases inflamáveis nos tanques, que não são destinados a carga no FPSO, pois uma vez detectado qualquer tipo de gás inflamável no compartimento, automaticamente, se presume que há um vazamento que necessita ser imediatamente corrigido.

A esta barreira foi dado como ponto de auditoria a conservação e manutenção dos detectores dentro dos tanques não destinados a carga. A este requisito foi atribuída uma

criticidade alta visto que a manutenção destes detectores é fundamental para garantir sua operacionalidade.

A seguir, na Tabela 4.11, é apresentada a lista de verificação da barreira:

Tabela 4.11 - Lista de verificação de integridade da barreira de detecção de gases inflamáveis.

Barreira		Pergunta	Criticidade
Detecção de Gases inflamáveis	5.6.a	Os Detectores de gases inflamáveis encontram-se em bom estado de conservação e operacionais?	Alta

4.3.6 Explosão ou incêndios de equipamentos na Praça de Máquinas ou Casa de Bombas

FPSOs são indústrias operando em alto mar, em média cada embarcação desse tipo possui capacidade de acomodar cento e cinquenta trabalhadores. Deste modo muitos dos equipamentos necessários para manter em funcionamento são máquinas rotativas que trabalham em altas rotações e potência.

Sendo assim existe o risco de explosão de equipamentos nestas plataformas, sendo os mais preocupantes os equipamentos de grande porte que se encontram no interior do casco como os geradores de energia elétrica da unidade, caldeiras, bombas e até mesmo os geradores de gases inertes anteriormente citados no item 4.3.5.3. Além do risco de explosão também existe a possibilidade de tais equipamentos causarem incêndios, o que pode fragilizar a estrutura devido as altas temperaturas levando a colapso estrutural da embarcação.

Os FPSOs mais novos possuem bombas submersas em seus tanques, evitando assim que o óleo tenha que passar pela casa de bombas. Esse bombeio com uma bomba por tanque é muito conveniente e uma tendência que melhora a segurança. Ajuda também a retirar mais óleo por tanque, sem ter influência grande do trim. Porém, apesar de reduzir o risco de explosão na casa de bombas, a presença de bombas submersas nos tanques de carga não retira a necessidade se preocupar com um possível incêndio na casa de bombas.



Figura 4.9 - Exemplo de caldeira presente em FPSOs, equipamentos que trabalham em elevada temperatura e pressão.

FONTE: Imagem retirada do site comercial da BSI Mechanical

Explosões em equipamentos situados na planta de processo também são extremamente perigosas e passíveis de acontecer. Porém trata-se de um assunto extremamente extenso e complexo pois as plantas de processo são compostas por diversos equipamentos e estações com potenciais de explosão. Existe risco tanto de vazamento de gases inflamáveis quanto de falha e sobreaquecimento de máquinas rotativas e, portanto, seria necessário desenvolver um bow tie específico apenas para o risco de explosão na planta de processo. Entendendo que uma explosão na planta de processo só afetaria a estrutura do casco a partir de uma reação em cadeia e que tal evento é tão grave que pode ser categorizado como um MAH ele não será abordado no presente trabalho. Fica mapeado a necessidade de que para trabalhos futuros se desenvolva um bow tie para explosões na planta de processo, a fim de integrá-lo com o presente trabalho.

4.3.6.1 Barreira Preventiva: Manutenção e Gerenciamento de Integridade de equipamentos

Para assegurar a segurança da unidade quanto ao risco de explosão de equipamentos no interior do casco é extremamente importante garantir que tais ativos estejam sob devida condição de manutenção e integridade física.

O primeiro ponto de auditoria a se atentar para esse caso é o gerenciamento de integridade do ativo, que basicamente consiste na realização de inspeções periódicas nos equipamentos e vasos de pressão. No Brasil muitas dessas atividades são contempladas por normas reguladoras como a NR 13, que trata da inspeção de vasos de pressão. Portanto é imprescindível garantir que tais inspeções sejam realizadas na periodicidade correta e todas as recomendações de inspeção sejam executadas. A este ponto é dado uma criticidade alta visto que além de ser item regulatório é algo caso não seja realizado pode comprometer a barreira por completo.

O segundo item de auditoria da barreira é a manutenção dos equipamentos como: trocas de rolamentos, alinhamentos de eixos, aplicação de óleo lubrificante, etc. Atividades de manutenção necessárias para manter o equipamento funcionando com segurança e eficiência. A este requisito foi atribuída uma criticidade alta também, visto que a ausência ou realização parcial do plano de manutenção pode degradar toda a barreira.

Na Tabela 4.12 é possível visualizar a lista de verificação de integridade da barreira gerenciamento de integridade de equipamentos:

Tabela 4.12 - Lista de verificação de integridade da barreira gerenciamento de integridade de equipamento

Barreira		Pergunta	Criticidade
Gerenciamento de integridade de equipamento	6.1.a	A manutenção dos equipamentos da praça de máquina ou de bombas tem sido realizada conforme plano de manutenção estabelecido?	Alta
	6.1.b	Inspeção regular sendo está sendo realizadas conforme plano de inspeção estabelecido e as recomendações das inspeções estão sendo executadas no prazo? (Ex: NR13)	Alta

4.3.6.2 Barreira Preventiva: Sistema de Monitoramento e Intertravamento

Como mencionado anteriormente, estamos tratando neste item de equipamentos específicos que possuem risco de explodirem e causarem danos a estrutura do casco do FPSO. Como salvaguarda preventiva é comum que tais máquinas possuam um sistema de monitoramento e controle composto basicamente de sensores, alarmes, painéis de monitoramento e intertravamento. A função deste sistema é basicamente detectar e alarmar quaisquer desvios na operação da máquina que possam levar à um acidente e propor um sistema de resposta para tais eventos.

Como primeiro ponto de auditoria da barreira elencamos a operação e disponibilidade do sistema de detecção e alarmes dos equipamentos. Tais componentes devem estar em boa condição de manutenção e deve-se garantir que estejam sempre com a disponibilidade requerida. A este requisito foi atribuída uma criticidade alta, visto que estes componentes são essenciais para a integridade da barreira.

O sistema de intertravamento, anteriormente citado, é um sistema que ao identificar uma situação de risco iminente aciona um procedimento de parada emergencial do equipamento. A confiabilidade e disponibilidade do sistema de intertravamento foram configurados como pontos de auditoria de criticidade alta, visto que esta é a uma barreira preventiva efetiva para evitar a explosão.

A seguir, na Tabela 4.13, é apresentada a lista de verificação da barreira

Tabela 4.13 - Lista de verificação de integridade da barreira de sistema de intertravamento

Barreira		Pergunta	Criticidade
Sistema de intertravamento	6.2.a	O Sistema de detecção e alarmes de segurança dos equipamentos está operacional?	Alta
	6.2b	O Sistema de intertravamento está operacional?	Alta

4.3.7 Lado esquerdo do *bow tie*

Como resultado de todas as ameaças e barreiras preventivas discutidas ao longo deste item podemos agora desenhar a o lado esquerdo do diagrama, que pode ser visualizado na Figura 4.10.

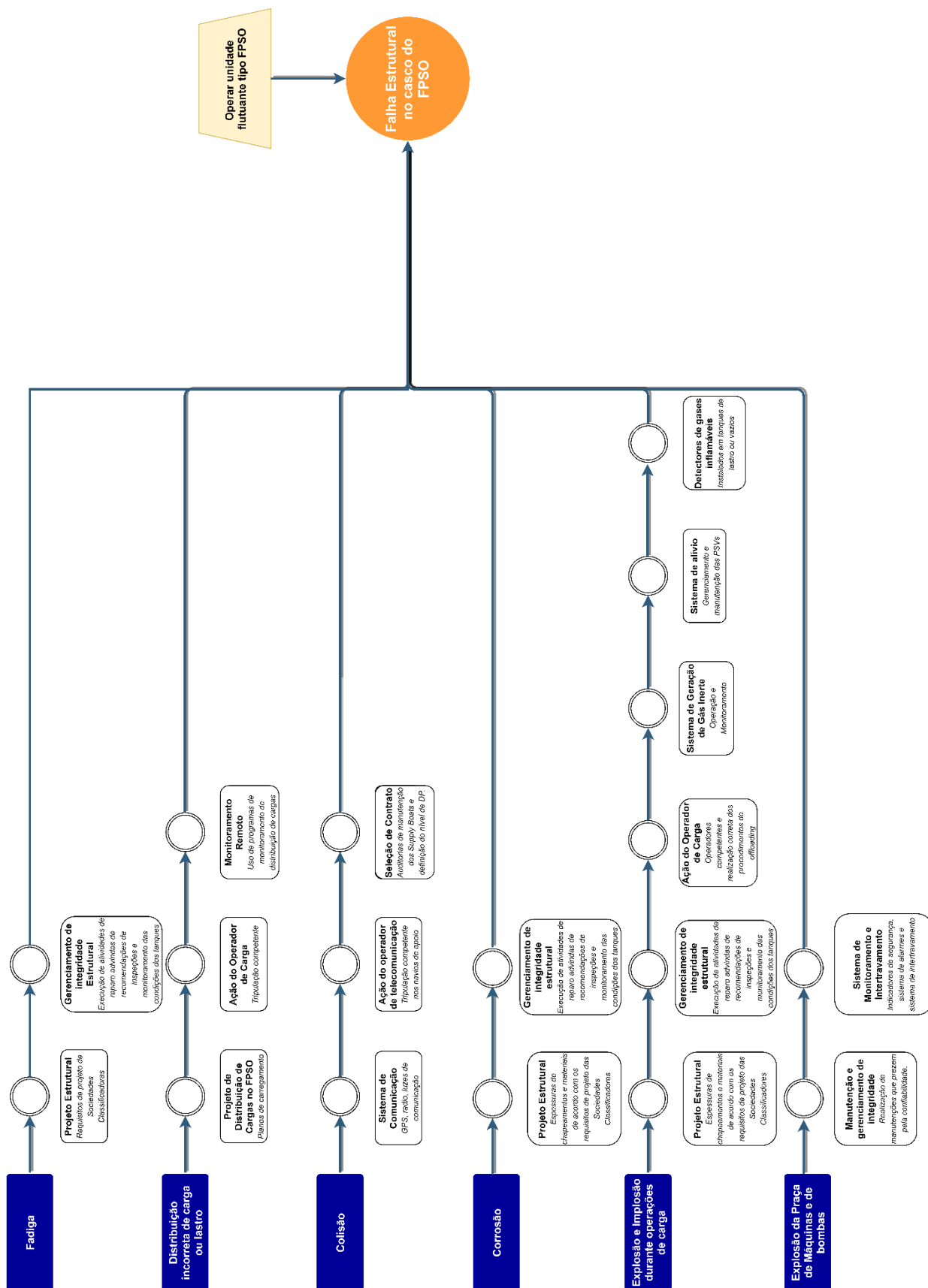


Figura 4.10 - Lado esquerdo do Bow tie de falhas estruturais para um casco de FPSO

4.4 Consequências

Como mencionado no item 2.2.3 do presente trabalho, para desenvolver um *Bow tie* é necessário elencar todas as possíveis (piores) consequências que possam ocorrer após a incidência do evento topo e suas respectivas barreiras mitigadoras.

Na presente seção serão apresentadas todas as consequências definidas pelo grupo de trabalho e suas barreiras mitigadoras. Também serão apresentadas Listas de verificação de integridade para cada barreira e ao final um diagrama esquemático o lado direito do diagrama será exposto no item 4.4.4.

A pior consequência para a vida humana seria a fatalidade. Apesar de não estar explicitamente descrita como consequência no diagrama, barreiras mitigadoras de evacuação foram previstas onde aplicável.

4.4.1 Perda parcial de flutuação

FPSOs são unidade flutuantes que são instaladas em alto mar podendo estar sobre lâminas d'água de mais de 2000 metros de profundidade, sendo assim é imprescindível garantir estabilidade e equilíbrio da embarcação. Falhas estruturais graves podem causar avarias no casco da embarcação fazendo com que a água do mar preencha os compartimentos interiores do navio plataforma, causando perda de flutuação.

Estas plataformas são projetadas para que não percam sua flutuação total em casos de avarias, para isto são compartimentadas a tal ponto que uma fissura no casco de médio ou pequeno porte não avarie demasiadamente os porões a ponto de comprometer totalmente o equilíbrio e estabilidade da embarcação. Porém mesmo que a avaria não seja capaz de causar o naufrágio do FPSO a invasão de água do mar nos tanques causará um desequilíbrio de pesos e uma perda de flutuação da unidade, fazendo com que a embarcação encontre um novo ponto de equilíbrio estático.

A avaria pode causar variação no trim, banda e/ou calado da unidade (provavelmente todos os três efeitos juntos), porém a magnitude destes efeitos irá depender muito da extensão e localização da fissura e a distribuição de carga da unidade.

A seguir na Figura 4.11 é possível visualizar o FSO Nabarima situado entre a costa da Venezuela e a ilha de Trinidad que começou a perder sua flutuação no ano de 2020 devido a um furo no casco.



Figura 4.11 - Perda de flutuação do FPSO Nabarima na Venezuela em 2020

FONTE: Imagem retirada do site de notícias GCaptain (Schuler, 2020)

Uma perda parcial de flutuação normalmente não causaria acidentes fatais visto que possivelmente haveria tempo hábil de evacuação da unidade. Porém a operação da unidade seria imediatamente afetada pois o alarme de avaria poderia causar a necessidade de evacuação preventiva da plataforma o que reduziria a tripulação, além disso muitos processos de produção da unidade ocorrem utilizando forças gravitacionais e irregularidade no equilíbrio da embarcação (como trim e banda) poderiam inviabilizar estes processos. Em casos mais extremos a perda parcial de flutuação pode causar imersão do convés, o que danificaria diversos equipamentos e poderia levar a acidentes fatais.

FPSOs são projetados para operar por 25 anos ou mais em alto mar, sem jamais ir para a costa. Desta maneira o reparo das avarias é uma operação extremamente complexa que necessita de um plano de recuperação bem coordenado. Dependendo da magnitude do problema a recuperação da unidade pode ser tão onerosa que pode tornar o reparo economicamente ou tecnicamente inviável, causando um descomissionamento precoce da unidade.

Apresentados todos os pontos consideramos que a perda parcial de flutuação é uma possível consequência de falhas estruturais no casco que pode levar a perdas financeiras muito altas para a instituição que opera a unidade. Nas subseções subsequentes serão apresentadas barreiras mitigadoras que visam reduzir e evitar os impactos deste evento.

4.4.1.1 Barreira Mitigadora: Plano de Avaria

Como mencionado na presente seção, os FPSOs são projetados para que não percam sua flutuação total durante avarias, para isso durante a fase de projeto são criados planos de avaria onde são feitas análises de equilíbrio e estabilidade em avaria para a embarcação. Trata-se de análises considerando diferentes localizações, profundidades e extensões de dano ao casco da unidade onde são calculados os estados finais de equilíbrio e estabilidade do FPSO sobre cada caso. O plano de avaria é o resultado dos cálculos de estabilidade em avaria, cuja extensão dessa avaria é determinada por normas e regras estatutárias definidas pela Organização Marítima Internacional (IMO).

Tais planos são submetidos a aprovação da sociedade classificadora que analisa os cálculos e cenários avaliados. Caso encontrado algum cenário onde seja considerado que uma avaria poderia causar sozinha o naufrágio ou perda de estabilidade da plataforma a compartimentação necessitaria ser revisada, normalmente são adicionadas novas anteparas estanques nos tanques para reduzir o volume do compartimento de avaria.

O plano de avaria, além de assegurar que a unidade está projetada para não afundar durante uma avaria comum, retorna as condições finais de equilíbrio e estabilidade da embarcação após uma ruptura do casco o que permite que se possa traçar planos de emergência. Portanto, para essa barreira, foi considerado como ponto de auditoria de integridade que o plano de avaria seja aprovado pela sociedade classificadora. A este

requisito foi atribuída criticidade alta por se tratar de uma barreira de efetiva alta para mitigar a consequência de perda de flutuação.

A seguir, na Tabela 4.14, é apresentada a lista de verificação da barreira mitigadora de plano de avaria para perda parcial de flutuação:

Tabela 4.14 - Lista de verificação de integridade da barreira de Plano de avaria

Barreira		Pergunta	Criticidade
Plano de Avaria	1.1.a	O plano de avaria da plataforma foi aprovado por sociedades classificadoras e encontra-se atualizado?	Alta

4.4.1.2 Barreira Mitigadora: Monitoramento com ação do operador

Identificar avarias nem sempre é uma tarefa fácil. Inspeções internas e externas do casco podem identificar tais eventos, porém como dito anteriormente estas inspeções de tanques acontecem de maneira periódica. Portanto a maneira mais efetiva e rápida de identificar um furo ou rasgo no casco é por meio de sensores de trim, banda e calado e sensores de níveis de tanques. O alagamento indesejado de compartimentos pode ser apontado por seus sintomas no equilíbrio hidrostático do FPSO.

Tais sensores podem estar acoplados a alarmes que possam ser ativados caso a embarcação passe a adernar ou trimar muito, porém também é possível integrar estes sensores ao sistema de monitoramento remoto mencionado no item 4.3.2.3 que é capaz de comparar o estado de equilíbrio e nível de tanques previsto para a unidade com o medido em tempo real. Caso o programa identifique que os estados não coincidem isso pode ser um alerta de avaria em um compartimento.

Deste modo, para a barreira de monitoramento de equilíbrio e nível de tanques, foi apontado como item de auditoria de integridade a própria operação e disponibilidade dos sensores e alarmes que acionam a resposta do operador. A este requisito foi atribuída criticidade alta, visto que sua não conformidade pode comprometer a segurança de toda a unidade.

O evento mais grave que pode ocorrer após uma perda parcial de flutuação é o comprometimento total da estabilidade do FPSO. Desta maneira o procedimento de

correção de equilíbrio emergencial da unidade é extremamente importante para que o equilíbrio e estabilidade da embarcação se mantenham em patamares seguros.

Sendo assim o procedimento abordado consiste em um plano estratégico de pronta resposta da unidade a avarias no casco. Primeiramente deve haver um procedimento documentado contendo as principais ações a serem tomadas após identificar uma avaria, como operações de transferência de carga e lastreamento (a existência desse documento se dá o primeiro item de auditoria da barreira). Além disso deve constar neste documento todo um plano de ação de reparo em caso de avarias. Algumas sociedades classificadoras exigem este documento para certificar a unidade, portanto será dada uma criticidade alta a este ponto devido ao possível caráter legislativo e a importância dele para a manutenção da barreira.

O procedimento emergencial de correção do equilíbrio do FPSO basicamente consiste na movimentação de carga e lastro por meio de bombas. Desta maneira é imprescindível que as bombas de carga ou lastro estejam em boas condições de manutenção e operação, portanto será considerado como um ponto de auditoria da barreira a boa condição de manutenção das bombas de movimentação de carga ou lastro. A este item será dado uma criticidade alta uma vez que estes equipamentos são essenciais para que a barreira exista.

Por último também é necessário que a tripulação da plataforma esteja treinada para enfrentar uma emergência, assim os operadores serão capazes de reconhecer suas responsabilidades e as legislações as quais a atividade está submetida. Entendendo a importância do operador de carga que garante a estabilidade da embarcação e confere se o trim e banda estão nos limites aceitáveis será entendido que o treinamento e qualificação da tripulação que será responsável por conduzir o procedimento de emergência será um ponto de auditoria da barreira. A este ponto foi dada uma criticidade alta, visto que um erro humano durante o procedimento de correção de equilíbrio poderia sozinho causar uma catástrofe. Algumas embarcações apresentam correção automática, com movimentação interna de lastro para aumentar a segurança quanto a erros humanos nestes quesitos.

Na Tabela 4.15 é possível visualizar a lista de verificação de integridade para a barreira.

Tabela 4.15 - Lista de verificação de integridade da barreira monitoramento com ação do operador

Barreira		Pergunta	Criticidade
Monitoramento com ação do operador	1.2.a	O Sistema de alarme e monitoramento dos níveis dos tanques e equilíbrio da embarcação estão com plano de manutenção e calibração em dia e operacionais?	Alta
	1.2.b	O Plano de movimentação de carga em caso de avaria está disponível e atualizado?	Alta
	1.2.c	As Bombas de movimentação de carga e lastro estão com plano de manutenção em dia e em boas condições de manutenção?	Alta
	1.2.d	A tripulação treinada no procedimento de operações de carga em caso de emergência e os treinamentos estão válidos?	Alta

4.4.1.3 Barreira Mitigadora: Evacuação Preventiva

A evacuação preventiva da plataforma utilizando helicópteros é a última barreira de segurança durante o enfrentamento do FPSO a uma perda parcial de flutuação, este procedimento visa salvar vidas. Para isso é necessário que haja um plano consistente de evacuação da unidade que seja capaz de identificar os gatilhos para início do processo considerando as limitações operacionais, como disponibilidade de helicópteros, tempo para evacuação total e prioridades de desembarque.

Esta barreira só deve ser usada caso haja a possibilidade de evolução da falha estrutural que gerou a avaria, podendo então a situação do FPSO evoluir de uma perda parcial de flutuação para um naufrágio ou perda de estabilidade (situação que será mais bem analisada no item 4.4.3). Por prudência é recomendável começar a evacuar a tripulação utilizando helicópteros até que o risco esteja totalmente controlado.

Vale ressaltar que em casos de emergências devido a risco iminente de naufrágio ou perda de estabilidade (quando não há mais tempo para evacuação via helicópteros) a evacuação deve ocorrer utilizando as baleeiras, ponto que será abordado no item 4.4.3.2, porém aqui trataremos de uma evacuação preventiva onde há tempo hábil para evacuar por helicópteros. Deve-se compreender que a tripulação de um FPSO é de (em média) 150 pessoas, porém normalmente os helicópteros não são capazes de transportar mais do que 18 pessoas por vez. Desta maneira esta evacuação por vias aéreas pode demorar semanas.

Durante uma emergência a operação da unidade é a primeira atividade a ser paralisada, portanto os funcionários que fazem parte da produção são os primeiros a serem evacuados. Obviamente os funcionários que compõem a brigada emergencial juntamente com os que fazem parte do procedimento de correção de equilíbrio mencionado no item 4.3.2.2 são um dos últimos a deixarem o FPSO.



Figura 4.12 - Helicóptero decolando de uma heliponto em uma plataforma de exploração de petróleo

FONTE: Imagem retirada do site de notícias UOL

O plano de evacuação deve considerar todos esses fatores e garantir que exista apoio logístico para isso. Como ponto de auditoria da barreira foi considerado a própria existência do plano de evacuação, ao qual foi atribuída criticidade alta, uma vez que se trata de uma barreira que evitará fatalidades (perda de vidas humanas), enquanto as outras barreiras reduzem os impactos da danos patrimoniais.

Na Tabela 4.16 é possível visualizar a lista de verificação de integridade para a barreira.

Tabela 4.16 - lista de verificação de integridade da barreira de evacuação preventiva

Barreira		Pergunta	Criticidade
Evacuação preventiva	1,4.a	O Plano de evacuação preventiva da unidade está válido e contempla a utilização de transporte aéreo?	Alta

4.4.2 Derramamento de óleo

Um dos maiores desastres ambientais que uma plataforma de exploração de petróleo pode causar é o derramamento de óleo em alta escala no oceano. O óleo possui uma densidade menor que a água do mar, portanto ao ser liberado no oceano o petróleo forma uma camada fina sobre a superfície da água. Isso impede a passagem da luz solar que é indispensável para o processo de fotossíntese dos fitoplanctons que são a base da cadeia alimentar marinha.

De maneira mais direta, o petróleo ao entrar em contato os animais marinhos pode causar morte por asfixia, intoxicação ou simplesmente por ficarem presos ao óleo na superfície. Aves marinhas que necessitam mergulhar para procurar alimento são cobertas de óleo durante sua passagem pela superfície do mar e não conseguem mais voar, morrendo afogadas após ficarem presas na superfície do mar. O óleo pode chegar a costas, contaminando praias e manguezais. Como impacto social o derramamento de petróleo pode causar perdas para quem depende da pesca e turismo da região afetada.



Figura 4.13 - Aves buscando refúgio em uma barreira de contenção de óleo, após não conseguir mais voar

FONTE: <https://www.theguardian.com/environment/2010/jun/29/bp-oil-spill-timeline-deepwater-horizon>

Uma vez compreendido a magnitude do problema e suas consequências, iremos abordar as barreiras mitigadoras e seus pontos de auditoria nas seções subsequentes.

4.4.2.1 Barreira Mitigadora: Parada de Emergência

O petróleo é extraído de poços subterrâneos no fundo do mar basicamente por princípios gravitacionais, o óleo por ser menos denso do que a água do mar sobe para a superfície por meio de tubulações chamadas de *risers*. Os FPSOs mais novos localizados no pré-sal possuem uma capacidade de produção diária de até 200 mil barris de petróleo e seria um problema caso essa vazão se destinasse ao mar.

Portanto a primeira barreira mitigadora para a ocorrência de um vazamento de óleo com consequências catastróficas é a parada emergencial do poço e da produção, uma vez que após o início de um derramamento de óleo é importante interromper a fonte para que o acidente não tome maiores escalas. Os Equipamentos de Segurança de Cabeça de Poço (ESCP) são um conjunto de válvulas que controlam o fluxo e pressão de saída do poço de petróleo e essa estrutura é responsável também por fazer a parada de emergência.

Especificamente o componente principal que é responsável por fechar o poço são as válvulas da árvore de natal molhada, equipamento que ganhou este nome devido ao fato das primeiras equipamentos deste tipo terem uma certa semelhança com as árvores que enfeitam as casas durante o natal. Na Figura 4.14 é possível ver uma árvore de natal molhada.



Figura 4.14 - Árvore de natal molhada

FONTE: Imagem retirado do site Panorama Offshore

É extremamente importante que haja uma correta manutenção dos equipamentos de segurança da cabeça de poço (ESCP), para que estes sempre estejam em boas condições para operar sobre emergências. A Agência Nacional de Petróleo (ANP) obriga que as operadoras de plataformas realizem teste periódicos no sistema de parada de produção, a fim de que eventuais problemas sejam identificados durante a testagem e possam ser corrigidos. Portanto, será entendido como ponto de auditoria de integridade da barreira se a os testes funcionais dos ESCPs estão sendo realizados em conformidade com o regulamento da ANP SGIP (Sistema de gerenciamento de integridade de poços). A isto será configurada uma criticidade alta pois uma falha nestes equipamentos pode significar a degradação total da barreira.

Na Tabela 4.17 é possível visualizar a lista de verificação de integridade para a barreira.

Tabela 4.17 - Lista de verificação de integridade da barreira de parada de emergência

Barreira		Pergunta	Criticidade
Parada de emergência	2.1.a	Os testes funcionais das válvulas das árvores de natal molhadas dos poços estão sendo realizados conforme Plano estabelecido e estão em conformidade com o SGIP?	Alta

4.4.2.2 Barreira Mitigadora: Plano SOPEP

De acordo com a Convenção Marítima para Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL) toda embarcação marítima que comporte mais do que 150 toneladas de óleo devem possuir um plano de emergência para conter pequenos vazamentos. A estes planos seu deu o nome de Plano de Emergência de Bordo para Poluição por Óleo ou SOPEP (do inglês, *Shipboard Oil Pollution Emergency Plan*) que se destina as ações as quais a tripulação de bordo deve tomar diante um vazamento de pequeno/médio porte.

O SOPEP é um plano que pode variar dependendo das particularidades da embarcação, porém nele deve conter os procedimentos de emergência e garantir que a bordo haja todos os materiais necessários para contenção inicial de vazamentos pela tripulação de bordo. Comumente se dá o nome de kit SOPEP aos materiais a bordo exigidos planos como absorventes de óleo, barreiras de contenção, tanques, bombas, bolsas de água, equipamentos de proteção individual (EPI), dissipadores de óleo e recolhedores de óleo. Normalmente estes kits se destinam a conter vazamentos de pequeno porte, mas dependendo do tamanho e risco da unidade ele podem contemplar também materiais para controle inicial de vazamentos maiores.



Figura 4.15 - Kit SOPEP necessário a bordo da embarcação para pequenos vazamentos

Entendendo que a existência do plano de ação de emergência (SOPEP) é de fundamental importância no controle de acidentes ambientais, será apontado como primeiro ponto de auditoria da barreira a própria existência do plano (configurado com criticidade alta, uma vez que a barreira depende da existência do plano para existir).

O segundo ponto de auditoria da barreira é a verificação da presença do kit SOPEP a bordo contendo todos os materiais contemplados dentro do plano para ação de controle de emergências ambientais, a este ponto também foi dada uma criticidade alta.

Por último, é de extrema importância que a tripulação destinada a brigada de emergência ambiental esteja devidamente treinada para responder aos alarmes e utilizar corretamente o kit SOPEP. Assim serão capazes de reconhecer suas responsabilidades e as legislações as quais a atividade está submetida. Este item de auditoria da barreira também foi classificado como sendo de criticidade alta, uma vez que se a tripulação não souber reagir ao evento toda a barreira estaria comprometida.

Na Tabela 4.18 é possível visualizar a lista de verificação de integridade para a barreira.

Tabela 4.18 - Lista de verificação de integridade da barreira de plano de emergência (SOPEP)

Barreira		Pergunta	Criticidade
Plano SOPEP	2.2.a	Há um plano disponível e atualizado de resposta à emergência da unidade para mitigação e controle com foco no cenário de derramamento de óleo?	Alta
	2.2.b	Os Kits SOPEP estão disponíveis na unidade e contém todos os materiais contemplados no plano em caso de emergência?	Alta
	2.2.c	A tripulação foi devidamente treinada para responder às emergências de derramamento de óleo e o treinamento está válido?	Alta

4.4.2.3 Barreira Mitigadora: Plano de Contingência

Como mencionado no item 4.4.2.2 o Kit SOPEP se destina a ação que pode ser tomada pela própria tripulação do navio em caso de vazamento de óleo no mar, porém em caso de um derramamento em larga escala de petróleo este plano já não se torna mais efetivo. Pois seria necessário a ação de muito mais agentes e recursos.

O plano de contingência é um documento a ser produzido pela instituição que opera a plataforma e se destina a casos em que o vazamento de óleo já ocorreu em larga escala, necessitando de uma força tarefa capaz de conter o vazamento e retirar o óleo do mar.

Para conter vazamentos de óleo no mar normalmente são formadas barreiras de contenção, uma vez que o óleo tende a se acumular na superfície da água são colocadas barreiras flutuadoras que impedem o óleo de se espalhar. Logo depois entra em ação os navios de resposta a vazamento de óleo ou OSRVs (*do inglês Oil Spill Response Vessel*) que procuram retirar o óleo do mar por meio de bombas de sucção e o armazena em tanques internos. O óleo é então levado para a costa para que possa ser devidamente descartado. Na Figura 4.16 é possível visualizar uma imagem esquemática de OSRV.



Figura 4.16 - Representação da operação de um OSRV

FONTE: Imagem retirada do site do estaleiro DAMEN

Outra maneira de conter vazamentos de óleo é utilizando dissipadores químicos sobre as manchas de óleo. A intenção desse método é reduzir o tamanho das manchas de óleo, o que facilita a coleta e ao mesmo tempo reduz o dano potencial. A redução do tamanho da mancha de óleo permite uma maior entrada de luz solar no ambiente marinho e reduz a probabilidade de contaminação dos animais.

Planos de contingência normalmente envolvem a operação de vários OSRVs, uso de satélites para rastreamento de manchas, centros de pesquisa e previsão meteorológica, sistemas para avaliar o volume de óleo derramado e outros inúmeros recursos. Além disso há de se pensar e aplicar um plano para esvaziamento dos tanques de cargas ainda cheios utilizando navios aliviadores para escoar o óleo nos tanques do FPSO.

Trata-se de atividades complexas que necessitam de atenção e planejamento. Portanto é fundamental que o plano já exista antes da ocorrência do acidente, para que a ação possa ser rápida o suficiente para que a mancha de óleo não se espalhe. É comum que as operadoras de plataformas contratem OSRVs para ficarem rondando as unidades, assim, em caso de um acidente, tem-se uma pronta resposta.

Como ponto de auditoria de integridade da barreira foi considerado que é fundamental a existência do próprio plano, para que se tenha uma ação rápida em caso de emergência. Por ser um requisito com alta eficácia na redução de um impacto ambiental catastrófico ele foi classificado como de criticidade alta.

Na Tabela 4.19 é possível visualizar a Lista de verificação de integridade para a barreira.

Tabela 4.19 - Lista de verificação de integridade da barreira do plano de contingência

Barreira		Pergunta	Criticidade
Plano de Contingência	2.3.a	O plano de contingência maior está disponível e atualizado?	Alta

4.4.3 Fatalidade devido a perda de estabilidade ou naufrágio

No item 4.4.1 foi abordado a possibilidade de uma perda parcial de flutuação, que ocorre após uma falha estrutural no casco ou avaria. Como mencionado, em casos extremos avarias podem levar a perda de estabilidade ou naufrágio da embarcação. A perda de estabilidade e/ou naufrágio ocorre quando o plano de avaria, citado no item 4.4.1.1, não é capaz de conter os danos devido a uma avaria muito grande.

Portanto o presente item se destina a discutir a possibilidade de uma falha estrutural tão extensa a ponto de a compartimentação do FPSO não ser capaz de suprir a perda de flutuação e estabilidade devido a avaria. Neste caso sabe-se que, diferentemente do tratado no item 4.4.1, fatalmente o FPSO precisará ser abandonado e toda a plataforma será perdida.

As ações mitigadoras nestes casos se resumem praticamente aos sistemas de abandono emergencial visando salvar vidas, uma vez que neste cenário a plataforma como um todo já estaria condenada. Na Figura 4.17 é possível visualizar o acidente na P-36, plataforma semissubmersível que naufragou em 2002 no Brasil. Apesar de ser uma plataforma de tipo diferente, o problema do naufrágio e ações de mitigação para o evento são as mesmas.



Figura 4.17 - Plataforma P-36 naufragando em 2002

Nos itens subsequentes serão apresentadas as barreiras mitigadoras das consequências de um naufrágio ou perda de estabilidade da embarcação.

4.4.3.1 Barreira Mitigadora: Plano de Emergência

Um plano de emergência para abandono do FPSO é fundamental para a segurança da vida humana presente na plataforma. Trata-se de um conjunto de procedimentos, definições de ações e responsabilidade e recursos que são previamente definidos para que a unidade tenha uma resposta rápida e assertiva durante uma emergência.

A convenção de Segurança da Vida no Mar ou SOLAS (do inglês, *Safety of Life at Sea*) emitido pela Organização Marítima Internacional (IMO) é o principal documento que trata sobre segurança da vida humana no mar. Nele são exigidos diversos itens nas

embarcações como sinalizadores de emergência, instalação de refúgios temporários, necessidade de treinamento por parte da tripulação e etc.

Portanto o plano deve ser construído com base nas exigências do SOLAS e no Brasil este documento deve ser apresentado à Marinha, entidade representante da IMO no país. Deste modo, por ser um item regulatório, será considerado como um ponto de auditoria da barreira a conformidade do plano de emergência da unidade em relação a Marinha brasileira. A este requisito foi atribuído criticidade alta.

Uma das exigências mais importantes do SOLAS em relação a práticas de abandono no mar é o refúgio temporário. Trata-se de espaços destinados a acomodar a tripulação no momento que precede o abandono durante uma situação emergencial; estes espaços devem ser salas seguras contra explosões, além de estar pressurizada, a fim de evitar a entrada de fumaça, gases tóxicos e inflamáveis. Estas salas devem se encontrar próximas às acomodações do FPSO, facilitando a chegada da tripulação ao refúgio e ficando longe dos equipamentos mais perigosos da planta de processo (como o *flare*).

Portanto a disponibilidade e operação dos refúgios temporários na unidade será considerada um ponto de auditoria de integridade da barreira, categorizada com criticidade alta uma vez que a existência destes espaços pode contribuir muito para salvar vidas.

As bandeiras das plataformas normalmente exigem que parte da tripulação presente nas embarcações façam parte do time de brigada que será responsável por conduzir e orientar os demais tripulantes durante uma emergência, para isso são exigidos diversos treinamentos. Portanto será considerado também como ponto de auditoria de integridade da barreira se a unidade possui um time de brigada devidamente treinado conforme os padrões da bandeira, a este requisito foi atribuída criticidade alta.

Na Tabela 4.20 é possível visualizar a lista de verificação de integridade para a barreira.

Tabela 4.20 - Lista de verificação de integridade da barreira plano de emergência

Barreira			Criticidade
Plano de emergência	3.1.a	O Plano de emergência da unidade foi aprovado pela autoridade marítima competente e está vigente?	Alta
	3.1.b	Os Refúgios temporários da unidade estão operacionais?	Alta
	3.1.c	O Time de brigada da unidade está com os treinamentos válidos e realizaram simulados práticos nos últimos 12 meses?	Alta

4.4.3.2 Barreira Mitigadora: Recursos para Evacuação

Baleeiras são botes salva-vidas especiais, capazes de suportar adversidades climáticas como tempestades e furacões, destinados ao abandono emergencial da unidade devido a naufrágio ou perda de estabilidade. O SOLAS exige que toda embarcação de grande porte possua baleeiras suficientes para acomodar toda a tripulação em caso de abandono. Sendo assim, em caso de abandono emergencial, as baleeiras são o meio principal de evacuação da tripulação.

As baleeiras podem ser lançadas ao mar por turcos de içamento ou podem ser do tipo queda-livre, onde o barco é lançado em queda livre do convés para o oceano.

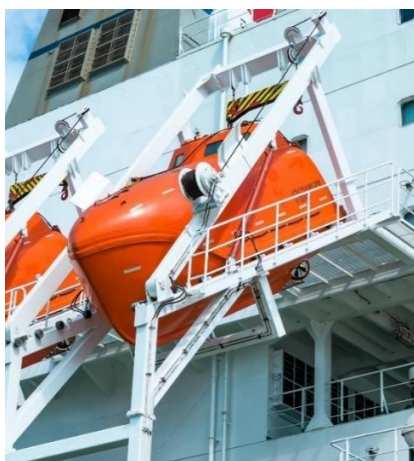


Figura 4.18 - (A) Baleeira do tipo "queda-livre". (B) Baleeira sendo lançada ao mar por turco de içamento

(A)

(B)

Baleeiras são designadas para ser o principal meio de evacuação em emergência da unidade, porém existe uma redundância nessa barreira devido a presença de botes salva-vidas na plataforma. Os botes salva-vidas aqui citados são botes infláveis comuns, por serem botes mais frágeis eles não são capazes de prover tanta segurança a tripulação em mares mais revoltos como uma tempestade. Por isso eles só são permitidos como redundância para as baleeiras, podendo ser utilizados caso alguma baleeira fique indisponível por algum motivo.



Figura 4.19 - Bote salva-vidas inflável

FONTE: Imagem retirada do site ShopNáutico

Como mencionado anteriormente a presença de baleeiras e botes infláveis em FPSOs é exigida pelo SOLAS, onde são explicitadas todas as características requeridas para a embarcação. Cabe a Marinha do Brasil auditar as plataformas brasileiras para verificar se elas estão em conformidade com a convenção, entre os pontos verificados destaca-se:

- Capacidade das baleeiras;
- Tipo de baleeiras;
- Tipo de configuração e localização das baleeiras;
- Etc.

Portanto, um primeiro item de auditoria de integridade da barreira será a verificação se a embarcação está em conformidade com as inspeções realizadas pela Marinha do Brasil para auditoria das baleeiras e botes. A este item foi configurado uma criticidade alta visto que se trata de um ponto de requisito de conformidade legal e que necessita ser atendido para garantir que a barreira esteja intacta.

O segundo item de auditoria de integridade da barreira será relacionado a manutenção dos turcos e sistemas de lançamento das baleeiras. Não se pode correr o risco de o equipamento falhar durante uma emergência, por isso a gerência da unidade deve se certificar que as inspeções e manutenções dos turcos de lançamento estejam sendo realizadas de maneira adequada. Este ponto de auditoria foi configurado com uma criticidade alta.

Na Tabela 4.21 é possível visualizar a lista de verificação de auditoria de integridade para a barreira.

Tabela 4.21 - Lista de verificação de integridade da barreira de evacuação utilizando baleeiras

Barreira			Criticidade
Recursos para Evacuação	3.2.a	As Inspeções regulares das baleeiras e botes salva vidas estão em conformidade com o SOLAS e válidas?	Alta
	3.2.b	Os Turcos e sistemas de lançamento estão com plano de manutenção em dia e em boas condições de manutenção?	Alta

4.4.4 Lado direito do *Bow Tie*

Como resultado de todas as consequências e barreiras mitigadoras discutidas ao longo deste capítulo podemos agora desenhar a árvore de consequências que irá compor o diagrama. Na Figura 4.20 é possível visualizar a parte do diagrama que foi desenhada.

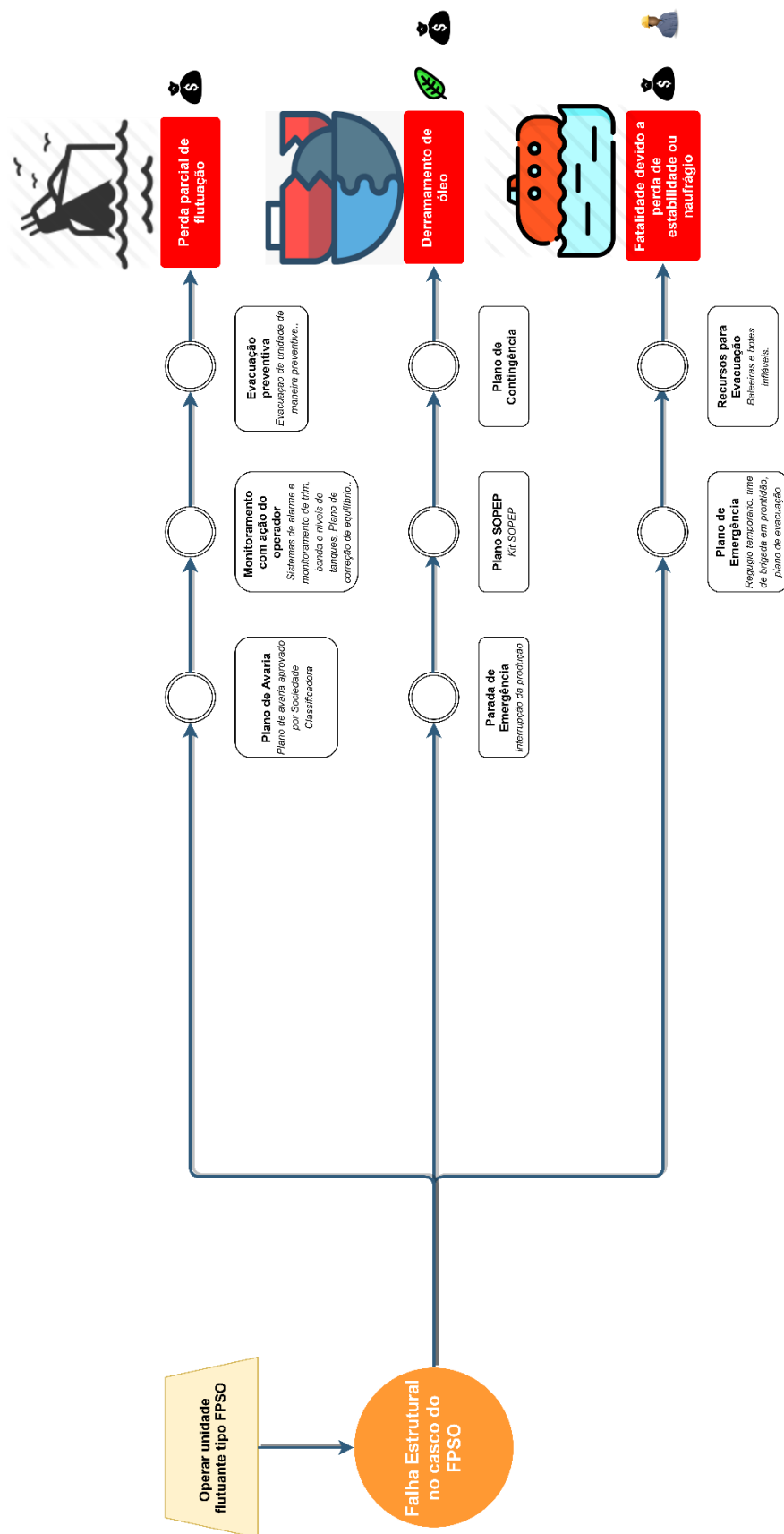


Figura 4.20 - Lado direito do Bow Tie

4.5 Diagrama *Bow tie* Final

Como resultado de todos os itens definidos e apresentado ao longo do presente capítulo, podemos agora desenhar o diagrama *Bow tie* final, apresentado na Figura 4.21.

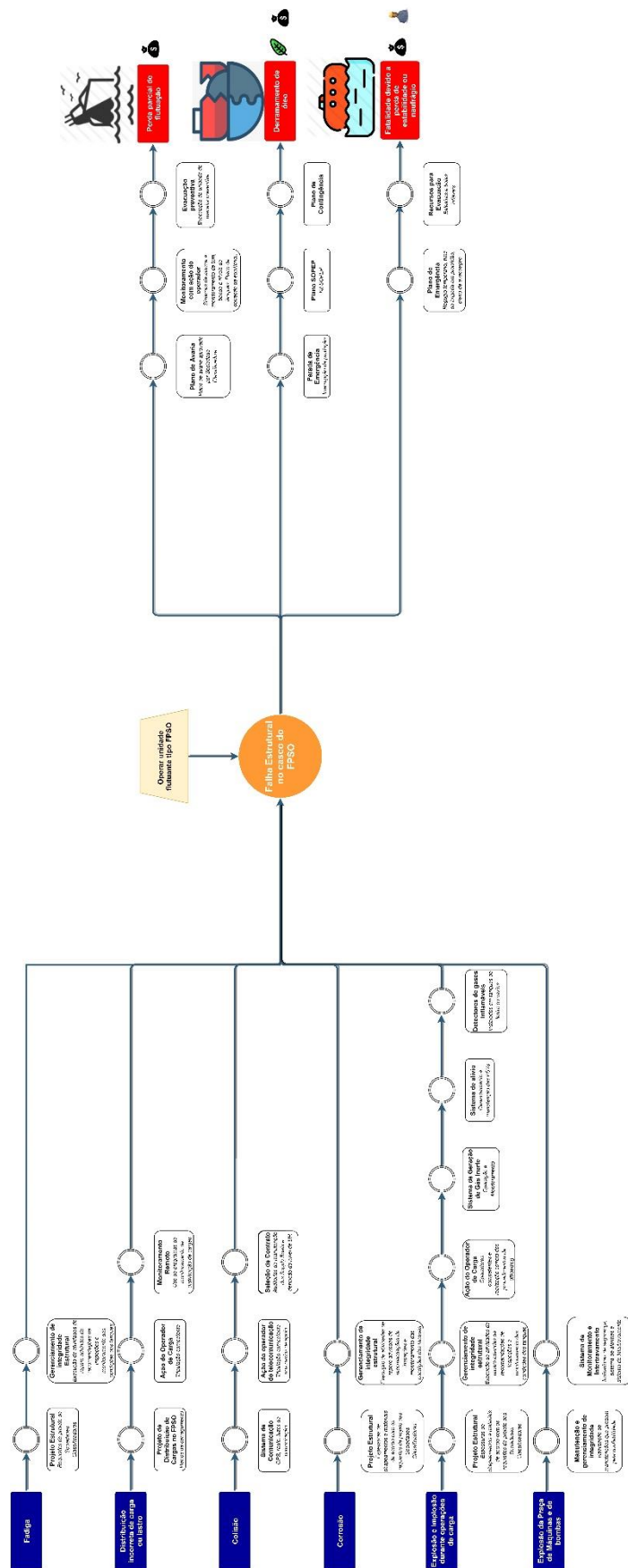


Figura 4.21 - Diagrama Bow tie final

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho se dedicou a desenvolver um diagrama *bow tie* para análise de risco de falhas estruturais em FPSOs que fosse capaz de ser aplicado a qualquer embarcação do tipo, fornecendo de maneira fácil uma visualização das principais barreiras associadas ao evento.

Para isso foram identificadas todas as principais características do *Bow tie* desejado como propósito e público-alvo. De maneira objetiva e simples definiu-se que o trabalho se destina a orientar instituições que gerenciam FPSOs a desenvolverem um *bow tie* para falhas estruturais em cascos de FPSOs.

Foi montado uma equipe multidisciplinar composta pela Prof. Marta Tapia, Prof. Isaias Masetti (ambos especialistas em estruturas navais), M.Sc Flávia Carreiro (especialista em segurança de processo na indústria de exploração de petróleo) e pelo graduando em engenharia naval Felipe Soares. Foram realizadas reuniões no modelo comumente chamado de *brainstorm*, encontros onde se buscou fazer a maior troca de ideias possível. Cada participante levantou questionamentos e sugestões sobre os temas discutidos, para que os demais do grupo pudessem debater sobre as ideias levantadas e questioná-las. Ressalta-se que todos os componentes do *bow tie*, além de validados pelo grupo de trabalho, também foram verificados segundo a literatura de segurança de processo da indústria de exploração de petróleo e de gerenciamento de integridade naval.

Primeiro a equipe procurou levantar as principais possíveis ameaças e consequências para uma falha estrutural no casco de um FPSO, logo após foram definidas as barreiras (preventivas ou mitigadoras) para cada ameaça ou consequência. Procurou-se aqui ser o mais objetivo e generalista possível para que o objetivo inicial de que o diagrama pudesse ser aplicável a qualquer embarcação do tipo fosse preservado. A partir da definição das barreiras foram identificadas as principais causas de degradação das mesmas, gerando matrizes de auditoria de integridade. A cada item foi dado uma criticidade de acordo com o potencial do mesmo de comprometer a barreira.

Uma vantagem do *bow tie* comparado com os estudos HAZID e HAZOP é ser possível gerenciar as barreiras com uma frequência maior. Algumas empresas já estão desenvolvendo *bow ties* dinâmicos que conseguem atualizar o status das barreiras com

frequência diária ou até menor, dependendo dos critérios utilizados para determinação de sua integridade.

O trabalho utiliza auditoria de barreiras como forma de verificar a integridade destas. Para isso, foram desenvolvidas as listas de verificação para serem utilizadas na auditoria. Esse *checklist* também não foi exaustivo, é apenas uma sugestão inicial, e trabalhos futuros podem incrementar o número de perguntas ou requisitos da lista, tornando-o muito mais robusto.

É importante ressaltar que uma vez elencados todos os itens principais do diagrama *bow tie* foram consultadas fontes bibliográficas sobre operação da indústria de petróleo e gás, processo de segurança, integridade naval e regulações marítimas para detalhar melhor cada item e validar a importância dos mesmos no diagrama.

Assim, depois de realizado esse processo, o desenvolvimento do *bow tie* foi realizado utilizando programas computacionais de desenho gráfico (o diagrama final foi apresentado no item 4.5). Julgou-se satisfatório o resultado apresentado uma vez que o *bow tie* é capaz de apresentar de maneira simples as principais barreiras que envolvem um acidente envolvendo uma falha estrutural no casco de um FPSO.

Porém, para compreender melhor a efetividade e consistência do *bow tie* desenvolvido seria necessário fazer uma comparação com casos reais da indústria. Confrontar o diagrama final com falhas estruturais apresentadas em FPSOs, ou outras plataformas flutuantes, seria uma maneira de validar e testar a estrutura do *bow tie*. Entretanto dados relativos a acidentes do tipo normalmente não são tornados públicos, uma vez que normalmente são protegidos por sigilo das empresas que gerenciam as plataformas ou pelos órgãos que avaliam os acidentes.

Com relação a aplicação prática do *bow tie*, o que foi apresentado no presente trabalho pode ser utilizado por empresas e instituições que gerenciam FPSOs para serem capazes de identificar barreiras críticas de segurança (SCB) envolvendo acidentes estruturais. Porém cada plataforma possui particularidades específicas, portanto a identificação dos equipamentos críticos de segurança que compõem as barreiras necessitaria de um trabalho individual para cada unidade. Entretanto, uma vez realizado o estudo de identificação destes equipamentos, a segurança do FPSO poderia ser

aumentada caso regimes especiais de monitoramento e inspeção dos mesmos fossem realizados.

O presente trabalho não se dedicou a abordar de forma profunda as questões relacionadas ao Fator Humano, pois não é o escopo do trabalho. Portanto foram abordadas questões relacionadas a treinamento e fadiga de operadores. Estudar a influência do Fator Humano poderia agregar de forma positiva no trabalho, uma vez que toda barreira que dependa da ação humana consequentemente é uma barreira mais fraca e suscetível a falhas. Devido a isso muitas empresas estão investindo cada vez mais em automação para que seus processos não sofram tanta influência pelo Fator Humano em questão de segurança.

Finalmente, entende-se que seguindo a diante com o projeto, o trabalho cumpre seu papel de auxiliar a identificação das barreiras que podem prevenir ameaças ou mitigar consequências para falhas estruturais em FPSOs e fornece ações de auditoria para estas barreiras. Em trabalhos futuros o diagrama pode ser mais bem confrontado com exemplos reais.

6 BIBLIOGRAFIA

- Bai, Y. (2016). *Prediction of Design Loads for Structure Design of FPSO Turret*. Research Gate.
- Beta Educação. (2017). *Fatores humanos que influenciam comportamentos de risco*. Fonte: Beta Educação: <https://betaeducacao.com.br/fatores-humanos-comportamentos-de-risco/#:~:text=Os%20fatores%20humanos%20referem%2Dse,ambientais%2C%20organizacionais%20e%20de%20trabalho.&text=Uma%20maneira%20simples%20de%20entender,comportamentos%20de%20sa%C3%BAde%20e%20seg>
- Brasil Escola. (2020). *O que é o pré-sal?* Fonte: Brasil Escola: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-que-presal.htm>
- Canada Oil & Gas Producers (CAPP). (2019). *Identification of Safety Critical*.
- CCPS. (2018). *Bow Ties in Risk Management: A concept Book for process safety*.
- CGE. (s.d.). *Risk Matrices*. Fonte: https://www.cgerisk.com/knowledgebase/Risk_matrices
- Healy, J. A. (2012). *Safety Critical Elements in Asset Management*. Springer.
- International Energy Agency. (2020). *Dados públicos da Agência Internacional de Energia*. Fonte: <https://www.iea.org/>.
- International Maritime Organization. (1999). *Harmonized System of Survey's and Certification*.
- International Organization of Standardization - ISO. (2018). *ISO 31000: Risk Assessment*.
- José C. Caranti, R. D. (2020). *Inertização de Tanques*.
- MDIC. (01 de Setembro de 2020). *Exportações e Importações*. Fonte: Comex Stat: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>

- Mitidieri, J. (2020). *O mercado de FPSO passa pelo Brasil*. Fonte: Brasil Energia: <https://editorabrasilenergia.com.br/o-mercado-de-fpso-passa-pelo-brasil/>
- New York Times. (2010). <https://www.nytimes.com/2010/12/26/us/26spill.html>. Fonte: NY Times.
- Offshore Magazine. (2020). *2020 Worldwide Survey of Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) Units*. Houston: Offshore Magazine.
- PETROBRAS. (2020). *Pre-sal*. Acesso em 2020, disponível em Site oficial Petrobras: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>
- Petrobras. (2020). *Somos a empresa que opera o maior número de plataformas flutuantes de produção no mundo*. Acesso em 2020, disponível em Site oficial Petrobras: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/somos-a-empresa-que-opera-o-maior-numero-de-plataformas-flutuantes-de-producao-no-mundo>.
- QSP - Centro de Qualidade, Segurança e Produtividade. (2020). *iso31000.net*. Fonte: iso31000.net.
- Rosa, E. d. (2002). *Análise de Resistência Mecânica - Mecânica da Fratura e Fadiga*.
- SAFE: Soluções em Saúde, Segurança do Trabalho e Meio ambiente. (2019). *Você sabe o que é HAZOP? Aprenda como funciona essa metodologia!*
- Schuler, M. (2020). *Photo Shows FSO Nabarima With Severe List Off Venezuela*. Fonte: GCaptain: <https://gcaptain.com/photo-shows-fso-nabarima-with-severe-list-off-venezuela/>
- Song, X. (2010). Three-Dimensional CFD Analysis of a Spring-Loaded Pressure Safety Valve From Opening to Re-Closure. *Research Gate*.
- Top 15 countries by oil production*. (2018). Fonte: https://youtu.be/1ZjOjO_5gjQ

União, D. O. (1 de Setembro de 2020). *RESOLUÇÃO Nº 5.899, DE 14 DE JULHO DE 2020*. Fonte: Governo do Brasil: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-5.899-de-14-de-julho-de-2020-267034742>

Vinnem, J. E. (2007). *Offshore Risk Assessment : Principles, Modelling and Applications* (2 ed., Vol. 1). Stavanger, Noruega: Springer.

Wengang Mao, Z. L. (2012). Application of a ship-routing fatigue model to case studies of 2800 TEU and 4400 TEU container vessels. *Journal of engineering for maritime enviroment*.

Yong Bai, Q. B. (2014). *Subsea Pipeline Integrity and Risk Management*.