

Pós-Graduação

Segurança de Processos



ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA DE UM PROCEDIMENTO CRÍTICO ESTABELECIDO PARA CONTINGENCIAMENTO DE INTERTRAVAMENTO DE PRESSÃO ALTA EM UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ÓLEO E GAS OFFSHORE

**Danilo Haddad, Luciana Monteguti, Marcelo J. de S. Melo,
Peterson D. Assunção, Rodrigo de S. Pinto**

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia de análise de confiabilidade humana Petro-HRA para avaliar a influência dos fatores humanos no desempenho efetivo e seguro de uma tarefa de contingenciamento relacionada a uma falha de elemento de uma malha de segurança de um sistema de compressão de gás que compõe o sistema de processamento de uma unidade marítima de produção de óleo e gás natural. O procedimento hipotético considerado no estudo de caso foi implementado em função da indisponibilidade de um sistema de intertravamento que é considerado pelos estudos de riscos um elemento de barreira preventiva de um cenário considerado crítico para a segurança das operações. A tarefa crítica de contingenciamento refere-se a medida baseada em procedimento (ação humana) em substituição a um sistema de intertravamento (hardware ativa) estabelecida em projeto, a fim de o risco permanecer minimamente mantido em seu nível original, ou seja, tolerável ou moderado (região ALARP). Os resultados do estudo de caso mostram que o procedimento com as tarefas conforme concebidas tinha uma probabilidade de insucesso igual a 100%. Foram identificados os principais fatores influenciadores de desempenho humano e propostas recomendações, as quais contribuiriam na redução da probabilidade de erro humano. Demonstrou-se que há ganhos efetivos em aplicar uma análise de confiabilidade humana para um procedimento elaborado para contingenciar um elemento crítico de segurança degradado ou indisponível, de modo a verificar se o procedimento configura um controle alternativo equivalente, ou no mínimo que mantenha o risco a nível aceitável de acordo com os critérios da empresa. Com relação aos fatores influenciadores de desempenho humano, o tempo de resposta se mostrou como um fator crucial na análise para o caso de substituição de uma barreira hardware ativa por um procedimento operacional, pois a análise do tempo disponível versus o tempo necessário pode revelar a viabilidade de tal substituição. Em uma situação de contingenciamento em que o tempo e equipe disponíveis para a aplicação completa de uma metodologia quantitativa de análise de confiabilidade humana sejam limitantes, de modo alternativo recomendou-se aplicar uma lista de verificação baseada em fatores influenciadores de desempenho humano durante a elaboração do procedimento, a fim de avaliar esses aspectos e considerá-los no procedimento, tornando-o mais robusto e menos propenso ao erro humano.

Palavras-chave: *fatores humanos, contingenciamento, petro-hra, tarefas críticas*

ABSTRACT

The present work aims to apply the human reliability analysis methodology called Petro-HRA to evaluate the influence of human factors on the effective and safe performance of a contingency task related to an element failure of a safety interlock of gas compression that makes up the processing system of a maritime oil and natural gas production unit that operates in Brazilian jurisdictional waters. The hypothetical procedure considered in the case study devised by the unit's technical team, to be carried out by the control room operators, was implemented due to the unavailability of an interlocking system that is considered by risk studies to be a preventive barrier element in a scenario considered critical for safety of operations. The critical task of contingency refers to the measurement based on a procedure (human action) in substitution of an interlocking system (active hardware) established in the project, so that the risk remains minimally maintained at its original level, that is, tolerable or moderate (ALARP region). The results of the case study show that the procedure with the tasks as they had been designed had a probability of failure equal to 100%. The main performance shaping factors were identified and recommendations were proposed, which contributed to the reduction of the probability of error human. It was demonstrated that there are effective gains in applying a human reliability analysis to a procedure designed to contingency a degraded or unavailable critical safety element, in order to verify whether the procedure can be deemed as an equivalent alternative control, or at least that it maintains the risk at an acceptable level according to the company's criteria. Regarding the performance shaping factors, the response time proved to be a crucial factor in the analysis for the case of replacing an active hardware barrier with an operational procedure, since the analysis of the available time versus the necessary time can reveal the feasibility of such replacement. In a contingency situation in which the time and team available for the complete application of a quantitative methodology of analysis of human reliability are limiting, alternatively it was recommended to apply a checklist based on performance shaping factors during the elaboration of the procedure, in order to evaluate these aspects and consider them in the procedure, making it more robust and less prone to human error.

Keywords:

human factors, contingency, petro-hra, critical tasks

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. A formulação da situação problema	7
1.3. Objetivos	10
2. DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1. Procedimento escolhido e cenário analisado	12
2.2. O Método PETRO-HRA	18
2.3. Estimativa do Tempo Disponível (Tempo de Segurança de Processo)	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.1. Estudo de Caso	24
3.2. Análise dos Resultados.....	33
4. CONCLUSÃO	40
5. REFERÊNCIAS.....	42
ANEXO I – DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PETRO-HRA NO ESTUDO DE CASO.....	44
ANEXO II – ESTIMATIVA DO TEMPO DE SEGURANÇA DE PROCESSO.....	59

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Com o mundo cada vez mais competitivo e dinâmico, a busca da excelência em operações que lidam com atividades complexas e tecnologia envolvendo operações perigosas não se restringem apenas à gestão dos aspectos relacionados à produção, mas envolve também a gestão dos aspectos relacionados à segurança operacional, de forma que o investimento de recursos e energia em busca do “Acidente Zero” poderá fazer a diferença entre a sobrevivência ou não de uma empresa no mercado que atua.

Nesse sentido, o estudo das principais causas geradoras dos acidentes ocorridos nos ambientes industriais é uma das principais formas de se aprender com eles e identificar quais fatores críticos contribuíram para materialização dessas ocorrências, de forma que sejam propostas melhorias no processo com o objetivo de evitar que eventos indesejados similares voltem a ocorrer no futuro.

Ao longo das últimas décadas, a pesquisa sobre falhas humanas foi ampla, contestando o senso comum de que incidentes (quase acidentes) e acidentes são resultantes do erro humano de um trabalhador da linha de frente (HSE,1999). Além disso, conforme Hollnagel (2004), a área de fatores humanos não acompanhou a evolução e melhoria da confiabilidade que os aspectos tecnológicos das plantas de processo industrial tiveram. Esses aspectos tornam fundamental entender sobre fatores humanos e incluir esse tema no sistema de gestão de segurança de processos no intuito de prevenir grandes acidentes.

O histórico de acidentes em plantas de processo industrial, mostra que fatores humanos e organizacionais têm sua importância aumentada em relação aos fatores tecnológicos (Hollnagel, 2004) como pode ser visto na Figura 1.

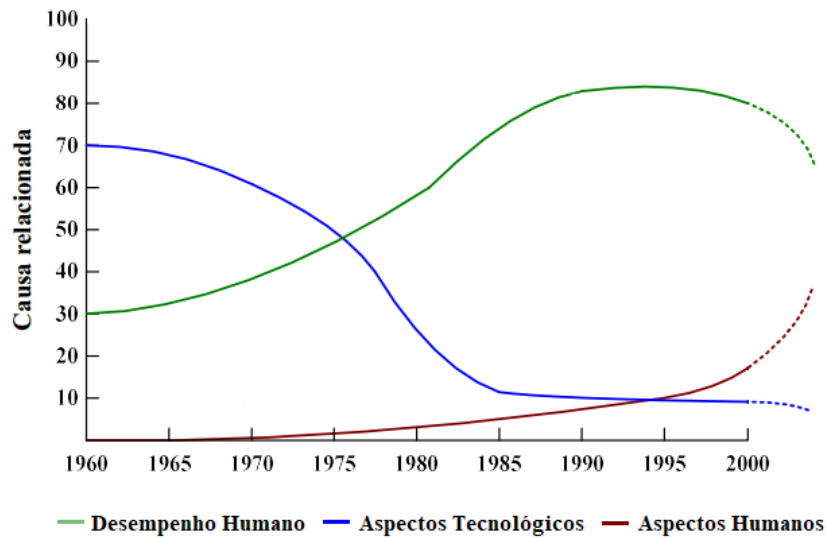


Figura 1- Evolução das causas de acidentes
Fonte: Hollnagel (2004)

Para se estabelecer formas seguras de operar uma planta de processamento de produtos químicos, e atividades correlacionadas, as empresas devem realizar avaliações de riscos baseadas na análise histórica dos acidentes ocorridos no sistema foco da análise, ou sistemas similares, identificando e categorizando os riscos dos cenários indesejados e definindo aqueles que são considerados críticos para as dimensões associadas à segurança de pessoas, instalações e meio ambiente, assim como o impacto à imagem da empresa perante o público de interesse e a sociedade como um todo, baseado em critérios de tolerabilidade de riscos.

Com base nessas avaliações de riscos e estabelecimento dos cenários de maior grau de risco são estabelecidas as salvaguardas preventivas e mitigadoras que vão assegurar que os acidentes de maior magnitude não ocorram ou sejam minimizados. Quando essas salvaguardas ou barreiras são de alguma forma degradadas, ou se tornam indisponíveis por algum tipo de falha ocorrida, torna-se indispensável a recomposição dessas o mais breve possível conforme planejado/projetado e, enquanto não for possível fazer a recomposição da salvaguarda/barreira, deve haver um conjunto de ações para o contingenciamento do cenário do qual ela protege, e uma reavaliação dos riscos com base nas ações de contingenciamento propostas para que o grau de risco se mantenha conforme

originalmente estabelecido e minimamente dentro de uma região de ALARP (tão baixo quanto razoavelmente praticável) definido pela empresa.

Dentro das inúmeras salvaguardas/barreiras estabelecidas para a proteção dos cenários indesejados, estão as respostas do operador frente a uma situação anormal do processo. Porém, como as ações humanas são passíveis de falhas, deve-se estabelecer condições favoráveis as quais possibilitem a execução da atividade de forma adequada e efetiva obtendo assim o melhor desempenho possível, diminuindo a probabilidade de falha na demanda da ação do operador, quando necessária. A mesma condução deve ser seguida para se evitar ou minimizar as falhas humanas que podem gerar os acidentes, por sua vez também identificadas nas avaliações de riscos.

É importante destacar que, de acordo com Reason (1997), pode-se dividir a falha humana em dois tipos: ações intencionais e não intencionais. Sendo o “Erro Humano”, a ação não intencional, que deve ser aplicado somente nas ações que o indivíduo tem a intenção de realizar a atividade a contento, enquanto as “Violações” são atos intencionais que resultam na não obediência de regra, políticas, normas e procedimentos conhecidos. Segundo Rasmussen (1989), existem três tipos de violação. A violação de rotina, em que a atividade faz parte da rotina e é executada com naturalidade. A Situacional, realizada situacionalmente para que se cumpra a tarefa em questão. A Excepcional, que deriva de situações únicas e não familiares. Já as ações não intencionais, “erros”, são baseadas no conhecimento e habilidade. O erro baseado no conhecimento ocorre quando há falhas no planejamento das ações intencionais para alcançar o objetivo esperado, sendo de regra quando o procedimento é equivocado ou de conhecimento quando o operador tem limitações de conhecimento e perícia frente ao cenário. O erro baseado na habilidade pode ser um deslize ou lapso na execução da tarefa, sendo os deslizes as falhas de atenção e percepção em ações observáveis, enquanto os lapsos envolvem falhas de memória.

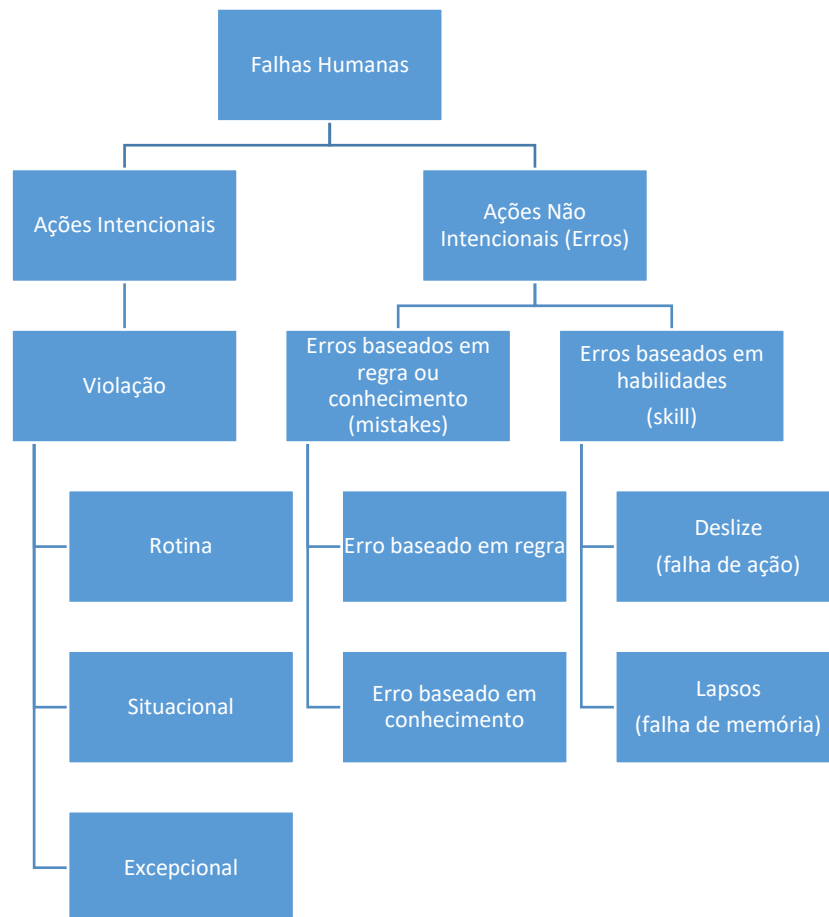


Figura 2 - Tipos de falhas humanas
Fonte: Reason (1997)

Durante várias décadas, diversos estudos apontaram o erro humano como principal fator causador dos acidentes industriais. Sebzali e Wang (2002), por exemplo, relatam que 80% dos acidentes nas indústrias químicas no Reino Unido envolveram erros humanos. Frutuoso (2007) revelou que 80 a 90% de todos os acidentes nas indústrias são devidos a erros humanos, assim como 58% dos incêndios em refinarias. Por sua vez, Rasmussen (1989) indica que em 190 acidentes ocorridos na indústria, 34% são relacionados a conhecimento insuficiente, 32% a erro de projeto, 24% a erro de procedimento e 16% a erros pessoais. Apesar disso, existem dados suficientes para provar que o erro humano raramente surge sozinho (apenas 0,8%) e com frequência é associado e influenciado por outros fatores, como os organizacionais ou tecnológicos (Moura et al., 2016).

Do ponto de vista dos Fatores Humanos, não existe a possibilidade de uma operação livre de erros humanos. Por ser a falibilidade humana um fato inegável, diversas

teorias foram desenvolvidas para explicar as razões dos diferentes tipos de erro, pois alguns deles podem ser causados por simples incompatibilidade física, como letras impressas que podem ser confundidas quando muito pequenas, enquanto outros podem ser causados por complexos fatores psicológicos ou por certos tipos de estressores como fadiga e limites de tempo rígidos (Helmreich, 1998) e (FAA, 2002).

Segundo Dekker (2002) para ter uma explicação para as falhas humanas é necessária uma reconstrução do que ocorreu na perspectiva de quem estava realizando a tarefa, sendo preciso compreender por que as avaliações e ações faziam sentido no momento do erro e não buscar exatamente onde os trabalhadores erraram. Ou seja, o sucesso no desempenho de atividades laborais pelos seres humanos não depende unicamente de questões individuais. Os aspectos individuais são apenas a “ponta do *iceberg*” que por décadas foram apontados como fator crítico na ocorrência de acidentes industriais. Entretanto, com o aprofundamento dos estudos relacionados aos Fatores Humanos, foram identificados que, além dos fatores individuais, os fatores tecnológicos e organizacionais, com suas múltiplas e complexas interfaces influenciam nas falhas humanas (Reason, 1991). Este aprendizado resgatou a visão sociotécnica das organizações, utilizada pela ergonomia, que analisa as organizações como sistemas abertos, a partir da dimensão técnica, humana e organizacional, considerando o contexto do seu ambiente.

Dessa forma, os Fatores Humanos estão relacionados a todos aqueles fatores que influenciam o desempenho do ser humano nas suas atividades de trabalho. Tais fatores atuam em conjunto e podem ser individuais, tecnológicos ou organizacionais. Por exemplo, os fatores individuais estão relacionados às características da cognição humana; os tecnológicos referem-se aos diferentes modos de falhas para o sistema, subsistemas e componentes, enquanto os aspectos organizacionais dizem respeito às práticas estabelecidas para comunicação, controle, normas de desempenho e políticas da empresa, conforme Reason (1991). É importante destacar que outros autores podem indicar fatores influenciadores diferentes dos citados acima.

Segundo Leveson (2002), a segurança é uma propriedade do sistema e não do componente. Pode-se dizer que um sistema é um conjunto determinado de elementos discretos (ou componentes) interconectados ou em interação (Vesely, 1981). Assim, a segurança deve ser controlada em nível sistêmico, mais do que no nível dos componentes do sistema ou de seus equipamentos.

Dessa forma, ao analisar os fatores humanos, busca-se verificar os quatro pontos abaixo conforme HSE (2005):

- O que as pessoas foram solicitadas a fazer (características da tarefa);
- Quem está realizando a tarefa (o indivíduo e sua competência);
- Onde está sendo realizada a tarefa (a organização e seus atributos);
- A influência exercida por questões mais amplas, como a cultura nacional, local e do ambiente de trabalho.

Nesse ponto é importante introduzir o conceito de Confiabilidade Humana, que é o oposto do erro humano e consiste na probabilidade de sucesso de realizar uma tarefa (HSE, 1999). Assim, é importante a viabilidade de analisar a confiabilidade humana, especialmente em um sistema complexo de alto risco. A Análise de Confiabilidade Humana (*Human Reliability Analysis* - HRA) é uma forma estruturada e sistemática de estimar a probabilidade de erros humanos em tarefas específicas, em função dos fatores influenciadores presentes no contexto em que a tarefa é executada. A HRA é usada nas indústrias de processamento químico, *offshore* e nuclear como parte do processo de avaliação de risco. O método geral é aplicável e pode ser usado em outros setores industriais. Existem três razões principais para o uso de HRA conforme HSE (1999):

- fornece uma referência para casos de segurança e resumos de design;
- para permitir a comparação de projetos alternativos ou soluções organizacionais;
- identificar os elos humanos mais fracos em um sistema para que medidas de controle apropriadas possam ser introduzidas.

Atualmente há mais de 70 métodos de HRA disponíveis, entretanto apenas 17 foram considerados de uso potencial para avaliação de grandes acidentes pelo HSE, conforme pode ser visto a seguir no Quadro 1.

Quadro 1- Métodos de HRA

Ferramenta	Comentário	Aplicação
THERP	Uma abordagem abrangente de HRA desenvolvida para o USNRC.	Nuclear com aplicação mais ampla
ASEP	Uma versão abreviada do THERP desenvolvida para o USNRC.	Nuclear
HEART	Relativamente rápido de aplicar e compreendido por engenheiros e especialistas em fatores humanos. O método está disponível através de artigos de pesquisa publicados. (Um manual está disponível através da British Energy).	Genérico
SPAR-H	Abordagem útil para situações em que uma avaliação detalhada não é necessária. Desenvolvido para o USNRC. Baseado no HEART.	Nuclear com aplicação mais ampla

Ferramenta	Comentário	Aplicação
ATHEANA	Recurso intensivo e beneficiaria de um maior desenvolvimento. Desenvolvida para o USNRC.	Nuclear com aplicação mais ampla
CREAM	Requer maior desenvolvimento. Disponível em várias referências publicadas.	Nuclear com aplicação mais ampla
APJ	Requer controles rígidos para minimizar o viés, caso contrário, a validade pode ser questionável. Visto por alguns como mais válido que PC e SLIM.	Genérico
PC	Requer controles rígidos para minimizar o viés, caso contrário, a validade pode ser questionável	Genérico
SLIM-MAUD	Requer controles rígidos para minimizar o viés do elemento SLIM, caso contrário, a validade pode ser questionável. O elemento SLIM está disponível publicamente.	Nuclear com aplicação mais ampla
HRMS	Ferramenta computadorizada abrangente. Não disponível publicamente.	Nuclear
JHEDI	Técnica de triagem mais rápida que HRMS, sua ferramenta principal. Não disponível publicamente.	Nuclear
INTENT	Foco estreito em erros de intenção. Pouca evidência de uso, mas potencialmente útil. Disponível entrando em contato com os autores.	Nuclear
CAHR	Um método de banco de dados potencialmente útil. Disponível entrando em contato com os autores (site do CAHR).	Genérico
CESA	Potencialmente útil. Disponível entrando em contato com os autores.	Nuclear
CODA	Requer maior desenvolvimento e CAHR ou CESA podem ser mais úteis. Disponível entrando em contato com os autores.	Nuclear
MERMOS	Desenvolvido e utilizado pela EdF, o seu desenvolvimento está em curso. Não disponível publicamente.	Nuclear
NARA	Uma versão nuclear específica do HEART (autor diferente do original). Não disponível publicamente.	Nuclear

Fonte: adaptado de HSE (2009)

1.2. A formulação da situação problema

Em Segurança de Processo, uma barreira de segurança é caracterizada como uma medida de redução de risco para um determinado cenário acidental que seja capaz de prevenir que uma ameaça se materialize no evento de perda (barreira preventiva) ou que seja capaz de mitigar as consequências do cenário uma vez que o evento de perda ocorreu (barreira mitigadora). As barreiras de segurança desempenham um papel fundamental no controle dos riscos de segurança de processo.

A norma ISO 17776 - *Petroleum and Natural Gas Industries – Offshore Production Installations – Major Accident Hazard Management During the Design of New Installations* (ISO, 2016) define que as barreiras de segurança podem ser de dois tipos: barreiras do tipo *hardware*, que correspondem a sistemas, equipamentos e

dispositivos projetados para prevenir ou mitigar um cenário acidental, e barreiras humanas, que se referem a ações das pessoas/operador para este mesmo fim.

O CCPS (2022), por sua vez, categoriza as barreiras em cinco tipos, conforme mostra o Quadro 2 abaixo:

Quadro 2: Tipos de barreiras.

Tipo de Barreira	Exemplos
<i>Hardware</i> passiva	Parede corta-fogo; proteção passiva contra incêndio
<i>Hardware</i> ativa	Sistemas Instrumentados de Segurança; Sistema de parada de emergência
<i>Hardware</i> ativa + humana	Resposta do operador a alarmes
Humana (ativa)	Operador detecta um vazamento de gás e procede a evacuação
<i>Hardware</i> contínua	Sistema de ventilação; Sistema de injeção de inibidor de corrosão

Fonte: CCPS (2022)

Pela hierarquia dos controles, o tipo das barreiras indica a sua efetividade/robustez, sendo as barreiras do tipo “*hardware* passiva” e “*hardware* contínua” as mais robustas, seguidas pelas barreiras do tipo “*hardware* ativa”, na sequência pelas barreiras do tipo “*hardware* ativa + humana” e finalmente “humana”.

Em instalações marítimas de produção de óleo e gás, uma quantidade significativa de barreiras de segurança para os cenários acidentais é identificada nos estudos de riscos. A grande maioria das barreiras de segurança nesse tipo de instalação é do tipo “*hardware* ativa” em função das características de desempenho requeridas como funcionalidade, disponibilidade e confiabilidade para as barreiras.

As barreiras que atendem a determinados critérios de seleção, conforme definido por cada operadora e atendendo ao Regulamento Técnico (RT) de Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANP, são denominadas de Elementos Críticos de Segurança Operacional. Cabe ressaltar que este RT determina a gestão dos elementos críticos ao longo do ciclo de vida da Instalação, estabelecendo a necessidade da definição de procedimentos de contingência a serem adotados quando um elemento crítico de segurança operacional estiver em condições degradadas ou fora de operação, de modo a manter a segurança da unidade e consequentemente permitir a continuidade operacional. Os procedimentos de contingência podem incluir a adoção de medidas alternativas equivalentes ao elemento crítico que se encontra degradado.

Neste âmbito, o contingenciamento por vezes apresenta como medida alternativa a adoção de uma instrução/procedimento operacional, de modo a suprir a degradação ou indisponibilidade temporária da barreira. Esta barreira contingencial tem sua performance dependente de ações do operador e, portanto, propenso a falhas no desempenho humano e a erros potenciais.

Em se tratando de uma barreira do tipo *hardware* sendo contingenciada, é necessário avaliar se o procedimento/instrução operacional alternativo será efetivo em substituir a função da barreira degradada ou indisponível e manter o risco em nível aceitável. Para que tal objetivo seja alcançado, a avaliação da confiabilidade humana para as tarefas críticas associadas ao procedimento/instrução operacional do contingenciamento de um elemento crítico tem papel fundamental.

O estudo proposto visa avaliar os aspectos relacionados ao contingenciamento de barreiras críticas degradadas ou fora de operação utilizando como uma das medidas alternativas a implementação de instruções operacionais e aplicar uma técnica de Análise de Confiabilidade Humana a um caso hipotético de contingenciamento de elemento crítico, com foco em avaliar a efetividade da medida contingencial proposta e propor recomendações para aumentar a confiabilidade humana, caso seja aplicável.

Para a execução de uma análise de confiabilidade humana há uma série de métodos qualitativos e quantitativos desenvolvidos com foco em avaliar a contribuição dos riscos das tarefas desempenhadas pelos trabalhadores. Para o presente estudo, foi selecionada a metodologia qualitativa e quantitativa de análise de confiabilidade humana, a Petro-HRA, desenvolvida em um projeto de P&D chamado “Análise de ações humanas como barreiras em acidentes graves na indústria do petróleo, aplicabilidade de métodos de análise de confiabilidade humana” (Bye et al.,2016). Esta metodologia foi selecionada pelo grupo em virtude da disponibilidade de material de referência e devido à sua aplicabilidade para o tipo de indústria selecionado (setor de óleo e gás).

O cenário fictício avaliado neste trabalho é uma instrução operacional elaborada como medida de contingenciamento para a degradação de um equipamento/sistema que é uma salvaguarda/barreira de um cenário considerado crítico para a segurança das operações em uma unidade marítima de produção de petróleo do tipo FPSO (*Floating Production, Storage and Offloading*). A motivação para seleção desse caso para estudo é a adoção de uma medida alternativa baseada em procedimento (barreira humana) em

substituição a uma barreira *hardware* que entrou em estado de degradação. Ou seja, a substituição de uma barreira composta por elementos que detectam, avaliam e agem sem a necessidade da intervenção humana por uma barreira na qual essencialmente todas essas funções dependem da atuação humana. Nesse caso, temos claramente uma questão a ser avaliada que diz sobre a efetividade/robustez do controle alternativo, ou seja, do procedimento/instrução operacional de contingenciamento.

Com a aplicação da Petro-HRA para o procedimento de contingenciamento selecionado temos um melhor detalhamento das etapas do procedimento, bem como a identificação dos erros humanos potenciais e suas consequências, a estimativa da probabilidade de erro humano das tarefas, o entendimento de quais fatores influenciadores de desempenho degradam/impactam esta probabilidade e a proposição de recomendações para melhoria dos fatores influenciadores mais impactantes e consequente redução do erro humano e, por consequência, o aumento da confiabilidade do sistema (barreira).

As ações humanas estabelecidas nesse procedimento crítico visam substituir, de forma temporária e efetiva, o sistema originalmente projetado para proteção do cenário crítico estabelecido durante os estudos de riscos da instalação impactada.

Considerando a salvaguarda/barreira degradada ou indisponível, o grau de risco do cenário, associado à perda de contenção primária, deve minimamente permanecer em seu risco original, ou seja, Tolerável ou Moderado (região ALARP), mantendo a confiabilidade da barreira e do sistema que ela compõe.

Portanto será necessário realizar a avaliação da confiabilidade humana na execução do procedimento com relação à redução do risco requerida para a segurança e continuidade operacional.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é a aplicação da técnica quantitativa de avaliação de confiabilidade humana PETRO-HRA em um procedimento crítico de um FPSO (*Floating Production, Storage and Offloading*) desenvolvido como parte de um plano de

ação de contingenciamento necessário em decorrência da falha de uma salvaguarda/barreira de segurança de processo estabelecida em projeto.

1.3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos propostos por este trabalho são os seguintes:

- Analisar os principais fatores influenciadores de desempenho (PSFs) associados às instruções do procedimento operacional adotado como medida alternativa em contingenciamento de elementos críticos degradado de uma instalação Offshore;
- Para cada tarefa, serão avaliados os fatores influenciadores de desempenho, visando calcular a probabilidade de erro humano do procedimento crítico comparando-o com um critério de tolerabilidade;
- Propor recomendações de melhoria, caso a probabilidade de erro humano do procedimento crítico esteja acima do critério de tolerabilidade, a fim de garantir a efetividade da medida de contingenciamento proposta e manter o risco ALARP;
- Avaliar a viabilidade de aplicação da metodologia selecionada, considerando tempo e recursos requeridos, frente a uma situação real de contingenciamento;
- Identificar a abrangência das recomendações de redução da probabilidade de erro humano para outras situações similares de contingenciamento de elementos críticos utilizando procedimento/instrução operacional.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Procedimento escolhido e cenário analisado

O procedimento escolhido para aplicação da metodologia Petro-HRA consiste na instrução operacional para contingenciamento da degradação de intertravamento de pressão na descarga do segundo estágio de compressão da planta de processamento em um FPSO. A unidade de produção opera em águas jurisdicionais brasileiras acima de 2000 metros de lâmina d'água, extraindo petróleo e gás das reservas do campo. Esta degradação é fictícia e o cenário foi criado para fins do estudo de caso.

O sistema de intertravamento é uma salvaguarda preventiva de segurança para os cenários acidentais em que há desvios de variáveis de processo, nos quais o sistema de controle da planta de processo não consegue trazer os parâmetros para dentro da faixa de condição normal de operação. Quando esta situação indesejada acontece, o sistema de intertravamento entra em ação, interrompendo o processo através da parada de máquinas/equipamentos e fechamento de válvulas a fim de prevenir que o cenário acidental se materialize, dentre outras ações. Um intertravamento é composto por um elemento sensor (por exemplo, um sensor de pressão, sensor de nível, etc.), um atuador de lógica como um CLP (controlador lógico programável) e um ou mais elementos finais de atuação (por exemplo, válvulas de *shutdown*). A Figura 3 fornece uma representação gráfica de uma situação operacional anormal em uma planta de processo em que as barreiras preventivas atuam para evitar uma perda de contenção primária de um produto perigoso.

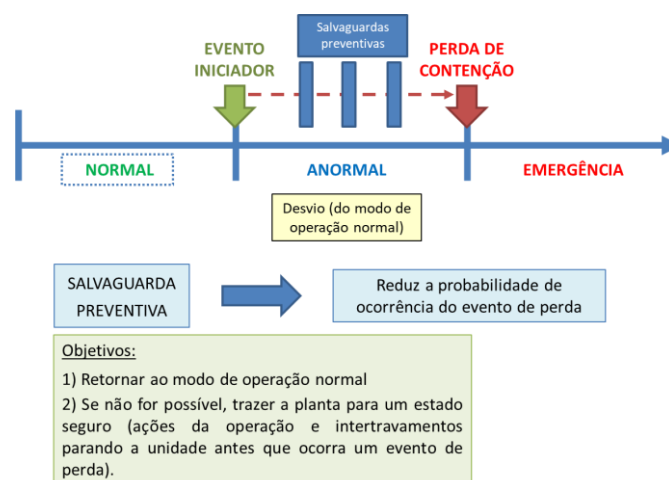


Figura 3 - Atuação de salvaguardas/barreiras de segurança preventivas em uma condição operacional anormal.

Fonte: Documentos internos Petrobras

Em geral, para uma planta de processo *topside* de um FPSO, diversos intertravamentos estão configurados. Para as instalações que seguem os requisitos do API RP 14C, para cada cenário acidental identificado em HAZOP são requeridas minimamente duas barreiras: a primeira trata-se de um intertravamento, e a segunda barreira geralmente é um dispositivo mecânico.

Conforme definido no Regulamento Técnico (RT) de Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANP, “os elementos são considerados críticos quando essenciais para a prevenção ou mitigação ou que, em caso de falha, possam provocar um acidente operacional”. Seguindo essa definição, os intertravamentos que configuram barreiras para cenários de risco associados a acidentes com consequências severas para as pessoas, instalação ou meio ambiente devem ser identificados como elementos críticos de segurança operacional, cujo gerenciamento e controle deve seguir os requisitos definidos no Regulamento Técnico (RT) de Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANP (ANP, 2007).

O cenário hipotético selecionado para o estudo de caso deste trabalho foi a degradação do intertravamento de pressão na descarga do segundo estágio de compressão do sistema de recuperação de vapor. A Figura 4 apresenta o trecho do estudo de HAZOP da Unidade no qual o intertravamento 23-PZT-1062 encontra-se inserido.

Nó 1: Unidade de Recuperação de Vapor (VRU)

Desvio	Causa	Consequência	Salvaguardas Efetivas		Classificação de Risco		
			Salvaguardas Preventivas	Salvaguardas Mitigadoras	S	F	R
1. Nenhum Fluxo	23-XV-1061 falha fechada na descarga do 2º estágio do Compressor VRU (23-KC-101) para os resfriadores da sucção do 1º estágio do Compressor Principal (26-HA-100/200/ 300)	1. Potencial para alta pressão na descarga do 2º estágio do Compressor VRU, sobrepressão, possibilidade de incêndio/ explosão	- 23-PAH-1554 na descarga do 2º estágio do Compressor VRU (detecção)	-Detecção de fogo e gás no módulo, com ações executivas em caso de fogo ou gás confirmado	4	2	M
			- 23-PZT-1062 na descarga do 2º estágio do Compressor VRU, com PAHH parando o Compressor VRU	- Controle de fontes de ignição no módulo			
			- 23-PSV-1063A/B na descarga do 2º estágio do Compressor VRU	- Hidrantes e extintores de combate a incêndio no módulo			
				- Plano de resposta a emergências			

Figura 4 – Extrato do HAZOP

Na Figura 5 a seguir temos um extrato do diagrama de processo e intertravamento para o sistema selecionado para o estudo caso (Unidade de Recuperação de Vapor, VRU). Destaque para os instrumentos e válvulas que serão mencionados durante a avaliação do cenário e salvaguardas.

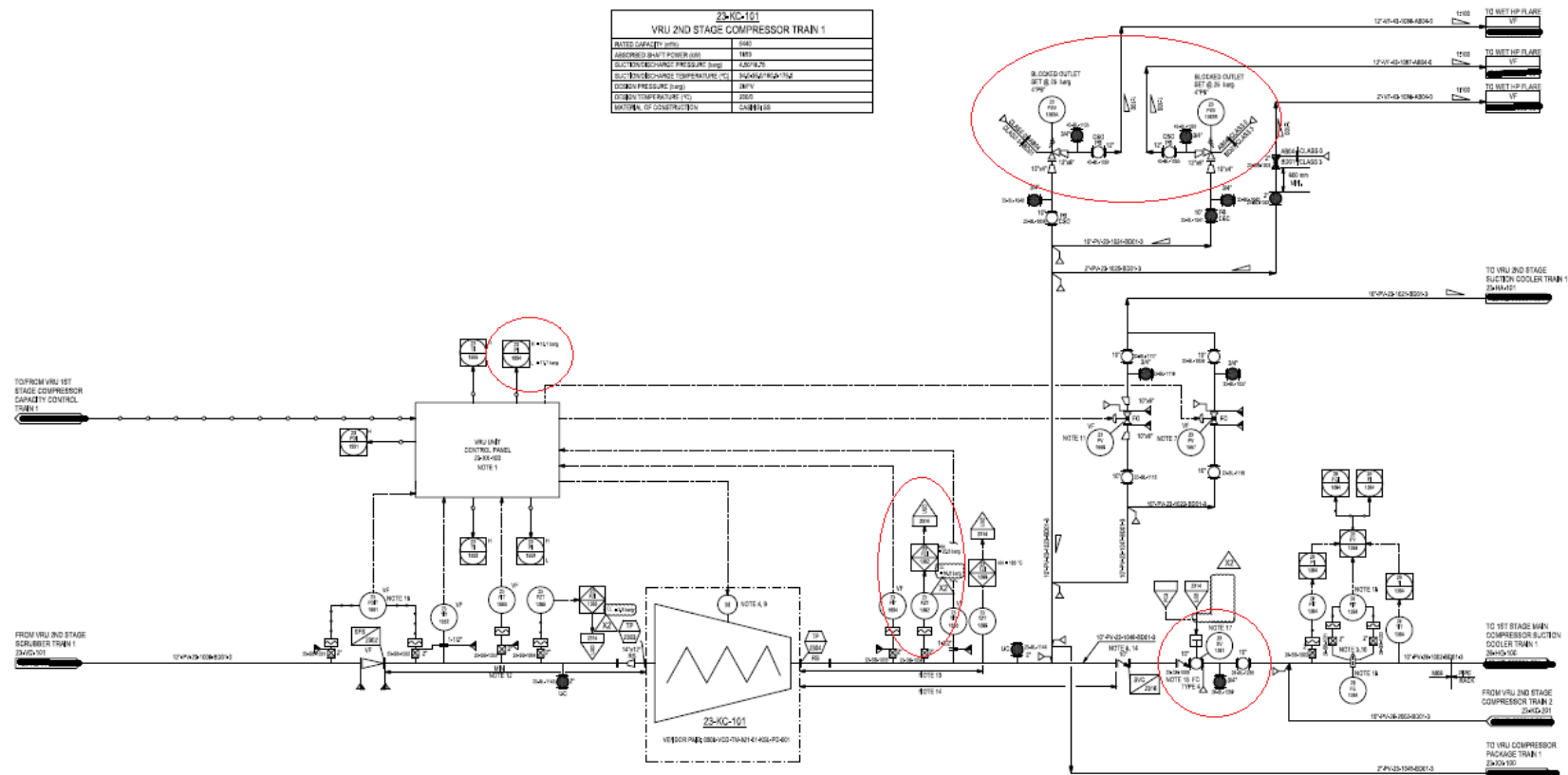


Figura 5 – Fluxograma de processo e instrumentação para a descarga do segundo estágio de compressão do VRU

Na situação em estudo, o intertravamento 23-PZT-1062 não se encontrava operacional. Conforme pode ser visto no estudo de HAZOP, este intertravamento configura uma barreira preventiva para o cenário de sobrepressão na descarga do segundo estágio do compressor da unidade de recuperação de vapor (VRU). Pelo estudo de HAZOP, podemos identificar que há também uma PSV dimensionada para o cenário e um alarme de pressão alta na descarga do compressor, mas este alarme não tem uma ação associada, de modo que se configura apenas em um meio de detecção do aumento de pressão. As possíveis consequências mapeadas para o cenário são incêndio e explosão devido a perda de contenção associada à sobrepressão, e a severidade das consequências foi determinada como 4 (uma fatalidade ou várias pessoas lesionadas), sendo o risco avaliado para o cenário como moderado, conforme a matriz de risco aplicável para o FPSO.

Para a situação de degradação de elemento crítico, a estratégia de gerenciamento da operadora do FPSO é abrir uma ordem de trabalho corretiva com alta prioridade e realizar uma análise de risco para definir as medidas necessárias para o contingenciamento. Através da análise de risco, o cenário de risco do HAZOP é reavaliado considerando a barreira degradada ou indisponível, e medidas de controle alternativo são avaliadas e recomendadas para serem implementadas, de modo a substituir temporariamente a barreira em questão.

A Figura 6 abaixo apresenta a análise de risco feita para o contingenciamento da degradação do intertravamento 23-PZT-1062.

Avaliação de Riscos - Gerenciamento de Barreiras												
Perigo	Consequência	Análise do cenário	Categoria	Risco Inicial			Ações de Contingenciamento	Responsável	Categoria	Risco Residual		
				S	F	R				S	F	RR
Transmissor de Pressão 23-PZT-1062 fora de operação na descarga do 2º estágio do Compressor VRU	Falha no intertravamento do Compressor VRU em caso de sobrepressão, levando a perda de contenção, com possibilidade de incêndio/explosão	Revisão do HAZOP Nó 1 - VRU Nenhum fluxo CAUSA: 23-XV-1061 falha fechada na descarga do 2º estágio do Compressor VRU (23-KC-101) para os resfriadores da sucção do 1º estágio do Compressor Principal (26-HA-100/200/ 300) CONSEQUÊNCIAS: Potencial para alta pressão na descarga do 2º estágio do Compressor VRU, sobrepressão, possibilidade de incêndio/explosão	Pessoas	4	3	M	SALVAGUARDAS EM VIGOR: 1- 23-PAH-1554 na descarga do 2º estágio do Compressor VRU 2- 23-PSV-1063A/B na descarga do 2º estágio do Compressor VRU 3- Detecção de fogo e gás no módulo, com ações executivas em caso de fogo ou gás confirmado 4- Controle de fontes de ignição no módulo 5- Hidrantes e extintores de combate a incêndio no módulo 6- Plano de resposta a emergências AÇÕES DE CONTINGENCIAMENTO: 1- Emitir Instrução de trabalho para a operação	AÇÃO DE CONTINGENCIAMENTO 1: Supervisor de Produção	Pessoas	4	2	M
		SALVAGUARDAS PREVENTIVAS: 23-PAH-1554 na descarga do 2º estágio do Compressor VRU (detecção) 23-PZT-1062 na descarga do 2º estágio do Compressor VRU, com PAHH parando o Compressor VRU - BARREIRA DEGRADADA 23-PSV-1063-A/B na descarga do 2º estágio do Compressor VRU	Patrimônio	4	3	M			Patrimônio	4	2	M
		SALVAGUARDAS MITIGADORAS: Detecção de fogo e gás no módulo, com ações executivas em caso de fogo ou gás confirmado; Controle de fontes de ignição no módulo; Hidrantes e extintores de combate a incêndio no módulo; Plano de resposta a emergências	Méio Ambiente	3	3	M			Méio Ambiente	3	2	L
		CLASSIFICAÇÃO DE RISCO conforme HAZOP (Severidade/Frequência): 4 / 2 - Risco Médio	Imagem	4	3	M			Imagem	4	2	M

Figura 6 – Análise de risco para o contingenciamento do 23-PZT-1062

Na situação de degradação de uma barreira preventiva de um cenário de HAZOP, a ausência dessa barreira implica em um possível aumento na frequência associada ao cenário acidental. Essa consideração foi feita na análise de risco apresentada na Figura 5. Mesmo com o aumento da frequência do cenário, o risco manteve-se na região de risco moderado. Nas ações de contingenciamento, foram revisitadas as barreiras disponíveis para o cenário acidental e recomendada a adoção de uma instrução operacional para a operação, de modo a suprir temporariamente a ação do intertravamento de pressão 23-PZT-1062.

A Figura 7 a seguir apresenta a instrução operacional elaborada para o contingenciamento.

Instrução Operacional
Número: ----
Data: ----
Emitida por: xxxx
Departamento: Produção
Transmissor de segurança 23-PZT-1062 – Pressão na descarga do VRU Devido à falha do 23-PZT-1062 é necessário tomar algumas precauções na operação do segundo estágio do compressor de VRU: 1- O operador da sala de controle deve monitorar a tendência da pressão da descarga no segundo estágio do VRU#1 através do 23-PIT-1554; 2- Em caso de a pressão subir ou abaixar além dos valores de intertravamento, o operador deve parar o VRU#1, seguindo as ações da matriz de causa e efeito (USD 2314), página anexada para mais informações.”

Figura 7– Instrução Operacional

Esta instrução operacional, considerando que seu objetivo é atingir um controle alternativo equivalente ao intertravamento degradado, precisa ser tratada como procedimento crítico para a segurança operacional. Portanto, nesse cenário, avalia-se se uma barreira de intertravamento (barreira do tipo *hardware*, sem ação humana) pode ter sua função substituída temporariamente por uma barreira que depende de ações humanas/do operador para: a) identificar o desvio da variável de processo; b) processar a informação e tomar decisão; c) parar o compressor e executar as ações previstas na matriz de causa e efeito.

Considerando a salvaguarda/barreira indisponível, o grau de risco do cenário de HAZOP com a implementação da Instrução Operacional deve minimamente permanecer em seu risco original, ou seja, Moderado (região ALARP), mantendo a confiabilidade da barreira e do sistema que ela compõe. Uma análise de interesse é avaliar também se a probabilidade de falha humana na execução das etapas críticas da instrução operacional é compatível com a falha na demanda do intertravamento contingenciado, e propor recomendações.

Assim, o estudo de caso visa avaliar a confiabilidade humana das tarefas críticas do procedimento apresentado na Figura 7 utilizando a metodologia Petro-HRA no contexto de contingenciamento do intertravamento de pressão alta na descarga do segundo estágio do compressor do sistema de VRU.

2.2. O Método PETRO-HRA

O método Petro-HRA foi desenvolvido em um projeto de P&D chamado “Análise de ações humanas como barreiras em acidentes graves na indústria do petróleo, aplicabilidade de métodos de análise de confiabilidade humana”, Projeto Número 220824/E30 (Bye et al., 2022). Trata-se de um método para avaliação qualitativa e quantitativa da confiabilidade humana na indústria de petróleo e gás. Para a parte da quantificação do método, o Petro-HRA tomou o SPAR-H como ponto de partida, ajustando e adaptando os fatores influenciadores de desempenho (PSFs) ao contexto do petróleo. O método permite a identificação sistemática, modelagem e avaliação de tarefas que afetam o risco de acidentes graves, e destina-se principalmente para uso dentro de uma estrutura de análise quantitativa de risco (QRA), mas também pode ser usado como uma análise independente (Bye et al., 2022).

O principal objetivo da avaliação quantitativa é identificar quais tarefas são mais sensíveis ao erro humano e quais fatores influenciadores de desempenho têm maior influência na probabilidade de erro. Isso permite uma melhor priorização de riscos e medidas de redução de riscos (Bye et al., 2022). A quantificação também é essencial para a integração direta na QRA (Bye et al., 2016).

O Petro-HRA foi desenvolvido e deve ser usado para estimar a probabilidade de eventos de falha humana (HFEs) em cenários de eventos pós-início, especialmente tarefas

de sala de controle executadas em, por exemplo, controle de processo de perfuração ou operações marítimas. O método não foi desenvolvido especificamente para analisar eventos de pré-início, como causas de vazamentos de gás ou queda de cargas de guindaste. No entanto pode ser usado para analisar um amplo conjunto de tarefas, desde que seus PSFs sejam os fatores de influência mais importantes (Bye et al., 2016).

O Petro-HRA consiste em sete etapas, abrangendo os requisitos de análise qualitativa e quantitativa para um método completo de análise de confiabilidade humana (HRA): 1) Definição do cenário; 2) coleta de dados qualitativos; 3) análise de tarefas; 4) identificação do erro humano; 5) modelagem de erro humano; 6) quantificação do erro humano; 7) redução de erros humanos (Taylor et al., 2016).

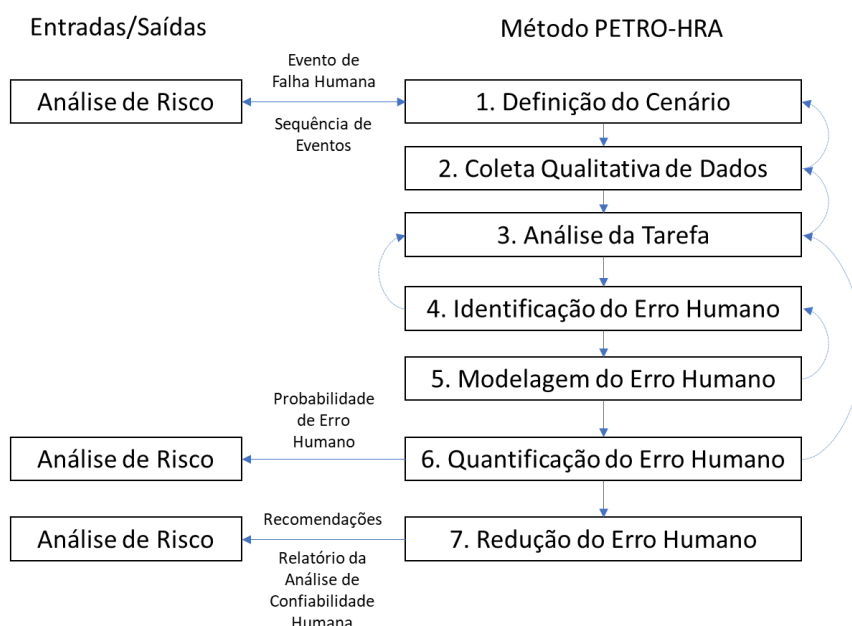


Figura 8- Petro-HRA; um método HRA completo

Fonte: Bye et al. (2022)

Embora as etapas sejam descritas linearmente na Figura 8, é importante observar que a HRA raramente é um processo linear. Há iterações dentro e entre as etapas ao longo de todo o processo (mostrado pelas linhas pontilhadas na Figura 8), e o analista de HRA frequentemente terá que revisar e repetir algumas etapas para garantir uma análise robusta e abrangente (Taylor et al., 2016).

Etapa 1 - Definição do Cenário

O principal objetivo desta etapa é definir o cenário a ser analisado (Bye et al., 2016).

Existem várias maneiras de descrever o cenário, mas, no mínimo, deve incluir o seguinte: Localização do evento; Condições ambientais externas; Modo operacional da planta no momento do evento; Sistemas/barreiras de segurança; Funções e responsabilidades do pessoal; Evento iniciador do cenário; Eventos intermediários; Fim da sequência de eventos; Duração do cenário (Bye et al., 2022).

Etapa 2 - Coleta de dados qualitativos

Esta etapa da HRA envolve uma coleta de dados específica e focada para permitir uma descrição detalhada da tarefa, que inclui informações sobre fatores que podem afetar (positiva ou negativamente) o desempenho humano e o resultado do cenário (Bye et al., 2016).

Etapa 3 - Análise da Tarefa

Uma análise de tarefa é uma descrição das etapas que são executadas como parte de uma atividade e fornece um meio sistemático de organizar as informações coletadas em torno das tarefas. A análise da tarefa serve como base para entender o impacto dos PSFs nas tarefas humanas e, portanto, a base para a quantificação (Bye et al., 2022).

Etapa 4 - Identificação do Erro Humano

Os objetivos da etapa de identificação do erro humano (HEI) são: identificar erros potenciais relacionados a ações ou etapas de tarefas no cenário; identificar e descrever as prováveis consequências de cada erro; identificar oportunidades de recuperação; e identificar e descrever fatores influenciadores de desempenho (PSFs) que podem ter um impacto na probabilidade de erro (Bye et al., 2022).

Etapa 5 - Modelagem de Erro Humano (HEM)

Um objetivo da modelagem de erro humano é modelar as tarefas ou eventos de tal forma que, quando tarefas ou eventos individuais escolhidos são quantificados, a lógica do modelo pode ser usada para calcular a probabilidade de erro humano (HEP) para o HFE que entra no QRA (Bye et al., 2016).

Existem duas abordagens que são relativamente padrões na modelagem de análise de risco: Análise de Árvore de Eventos (ETA) e Análise de Árvore de Falhas (FTA),

(Kirwan, 1994). A Petro-HRA recomenda o uso de Árvores de Eventos em HRAs de eventos pós-início, pois elas correspondem à natureza sequencial de um cenário, de um evento inicial comum que, dependendo de como o operador responde, pode ter vários resultados/estados finais (Bye et al., 2016).

Etapa 6 - Quantificação do Erro Humano

Esta etapa descreve como uma probabilidade de erro humano (HEP) de um evento ou etapa da tarefa é quantificada com base em um valor nominal e um conjunto de fatores influenciadores de desempenho (PSFs) (Bye et al., 2022).

A probabilidade nominal de erro humano (NHEP) é um valor que supostamente contém todas as pequenas influências que podem contribuir para erros nas etapas da tarefa que não são cobertos pelos PSFs. Esse valor nominal em Petro-HRA para todas as tarefas é 0,01, o que significa que uma tarefa falha 1 em 100 vezes (Bye et al., 2022).

Com relação aos PSFs, trata-se de aspectos das características individuais, do ambiente, da organização, ou da tarefa que especificamente dificultam ou melhoram o desempenho humano, aumentando ou diminuindo, respectivamente, a probabilidade de erro humano (Boring & Blackman, 2007).

Conforme a Figura 9, existem nove PSFs no Petro-HRA (Bye et al. 2022).

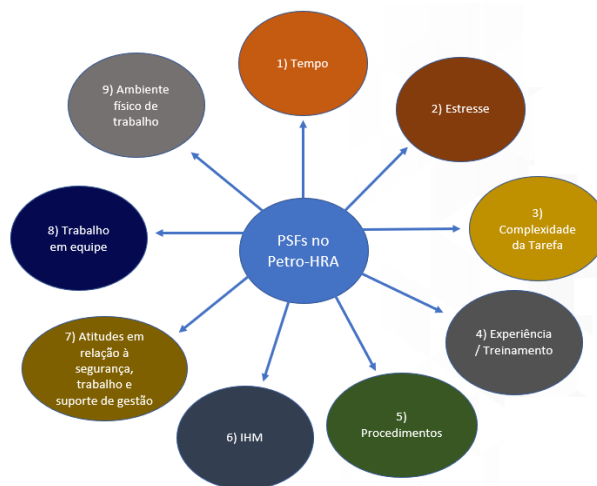


Figura 9 – PSFs do Petro-HRA

Cada PSF tem vários níveis e um multiplicador correspondente. A partir do valor nominal (já definido pelo método) e dos multiplicadores PSFs é calculada uma probabilidade de erro humano (HEP) (Bye et al., 2022).

É importante destacar que o tempo costuma ser um fator importante, se não crítico, em incidentes da indústria de óleo e gás, com os operadores tendo que responder em minutos ou mesmo segundos após o início do evento para controlar e mitigar os efeitos do cenário. Portanto, muitas vezes é necessária uma análise da linha do tempo, conforme a Figura 10 para entender a relação entre as ações do operador, o tempo necessário para executar as ações necessárias e o tempo disponível para o operador executar essas ações (Bye et al., 2022).

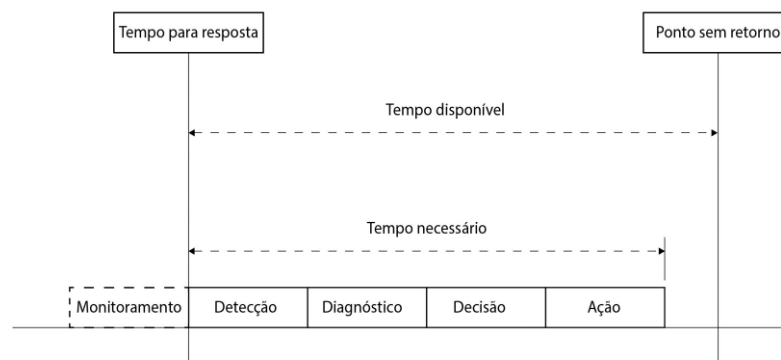


Figura 10 - Relação entre tempo disponível e tempo requerido

Fonte: Bye et al. (2022)

Etapa 7 - Redução de Erros Humanos

Esta etapa visa desenvolver medidas de redução de erros visando erros humanos específicos e/ou estratégias de redução de erros visando o desempenho humano em um nível mais geral, por exemplo, em várias tarefas e cenários de acidentes (Bye et al., 2016).

Após a conclusão da Etapa 6, (ou Etapa 7, quando pertinente) um relatório final deve ser escrito detalhando os resultados do Petro-HRA. Os resultados quantitativos do Petro-HRA (ou seja, os HEPs calculados) normalmente serão inseridos diretamente na árvore de falhas da QRA ou nos modelos de árvore de eventos (Bye et al., 2016).

2.3. Estimativa do Tempo Disponível (Tempo de Segurança de Processo)

Para a aplicação do estudo de caso assumiu-se como estimativa inicial que o tempo disponível (o tempo que o operador tem para iniciar as ações prescritas na matriz

de causa e efeito e interromper a cadeia de eventos que podem levar à perda de contenção) é de 10 segundos. Esta estimativa inicial foi julgada adequada considerando que todas as ações serão desempenhadas pelo(s) operador(es) da sala de controle, ou seja, não envolvem deslocamento ao campo ou atividades manuais em campo como abertura de válvulas, etc.

Em paralelo à aplicação da metodologia de Petro-HRA, buscou-se validar a premissa assumida para o tempo disponível através de cálculos com suporte de simulação dinâmica do processo, conforme apresentado no Anexo II.

Para os cálculos foram consideradas as informações provenientes de documentos como diagramas de processo e instrumentação, modelo 3D da Unidade e parâmetros de processo, como pressão de operação e set de alarmes e de abertura da PSV. A estimativa considera o tempo em que a pressão aumenta da pressão de operação normal (17,7 bar) até o set de abertura da PSV (25,5 bar), ou seja, qual seria o tempo disponível que o operador teria para acionar manualmente a parada do compressor, realizando assim a ação similar à do intertravamento que era a primeira barreira de proteção, que no caso em estudo foi considerado como degradado. A estimativa utiliza equações e o simulador Aspen Hysys, sendo que as premissas são apresentadas no Anexo II.

Os cálculos, os quais ficaram disponíveis somente após a finalização da aplicação da metodologia de HRA, demonstram que a premissa adotada não pode ser validada, pois o tempo disponível para o operador executar as ações de resposta e interromper a cadeia de eventos foi calculado como sendo igual a 2,8s. Considerando que o estudo de caso já se encontrava realizado no momento em que a estimativa do tempo disponível foi obtida, optou-se por manter o estudo com a premissa inicial adotada. Contudo, caso o tempo fosse revisitado e adotado o valor de 2,8s na análise de confiabilidade humana, o valor atribuído ao fator influenciador de desempenho – tempo – seria diferente do que o adotado na avaliação apresentada neste trabalho, pois teria um impacto significativamente mais negativo. O item 3 deste trabalho apresenta uma análise mais detalhada a respeito desse fator influenciador de desempenho e de sua aplicação no estudo de caso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estudo de Caso

A seguir será apresentado o estudo de caso referente à aplicação da metodologia Petro-HRA ao cenário escolhido. O detalhamento de todos os passos pode ser consultado no Anexo I deste trabalho.

3.3.1 Passo 1: Definição do cenário

- Cenário: perda de contenção de gás inflamável com possibilidade de incêndio, explosão e fatalidade, devido a falha no contingenciamento do 23-PZT-1062 para o cenário de descarga bloqueada do segundo estágio do compressor do VRU.
- Início do evento: 23-XV-1061 falha fechada na descarga do segundo estágio do compressor de VRU.
- Eventos intermediários: Aumento da pressão (acima do esperado) no trecho bloqueado; nenhum fluxo para o sistema de compressão principal (*main gas compressor*).
- Finalização do evento (sucesso): Operador da sala de controle identifica o evento e interrompe a operação do compressor de VRU e/ou atuação da PSV (23-PSV-1063A/B) liberando a pressão do trecho; sem consequências perigosas.
- Finalização do evento (fracasso): Rompimento da linha, com perda de contenção de gás inflamável, incêndio, explosão e lesões pessoais severas (potencial para uma fatalidade).

3.3.2 Passo 2: Coleta de dados qualitativos

O cenário selecionado e o respectivo procedimento foram avaliados conforme as perguntas orientativas definidas na metodologia PETRO-HRA, com o objetivo de entender melhor as características das tarefas e sua relação com o cenário selecionado. Esse passo também foi muito importante para o levantamento e entendimento dos fatores que afetam o desempenho humano, os quais foram avaliados com mais profundidade no passo 6 da aplicação da metodologia. Os dados coletados são apresentados no Anexo I.

3.3.3 Passo 3: Análise das tarefas

O procedimento operacional para contingenciamento do intertravamento degradado foi avaliado em uma análise hierárquica de tarefas de modo a identificar as subtarefas mais relevantes para a análise de confiabilidade humana.

A Figura 11 apresenta a Análise Hierárquica de Tarefa (HTA) realizada para o procedimento, com destaque para as subtarefas selecionadas para quantificação da probabilidade de erro humano. Estas foram selecionadas com base na identificação das ações mais críticas para o sucesso da execução do procedimento, e consequentemente, prevenção do cenário acidental de perda associado.

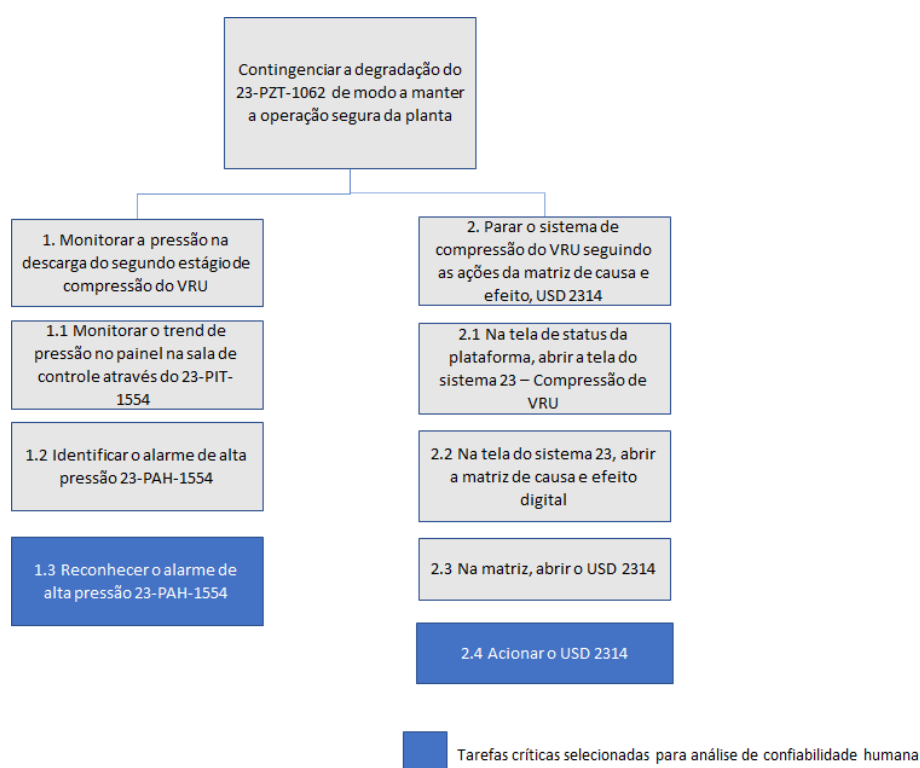


Figura 11– Análise Hierárquica da Tarefa

3.3.4 Passo 4: Identificação dos erros humanos

Foram identificados os seguintes tipos de erros humanos para as subtarefas críticas selecionadas:

- Subtarefa: 1.3 Reconhecer o alarme de alta pressão 23-PAH-1554; Erro humano: V1 – Verificação omitida;
- Subtarefa: 2.4 Acionar o USD 2314; Erro humano: A8 – Operação omitida.

3.3.5 Passo 5: Modelagem dos erros humanos

A modelagem dos erros humanos foi feita com a elaboração de uma árvore de falhas para o cenário selecionado, conforme Figura 12.

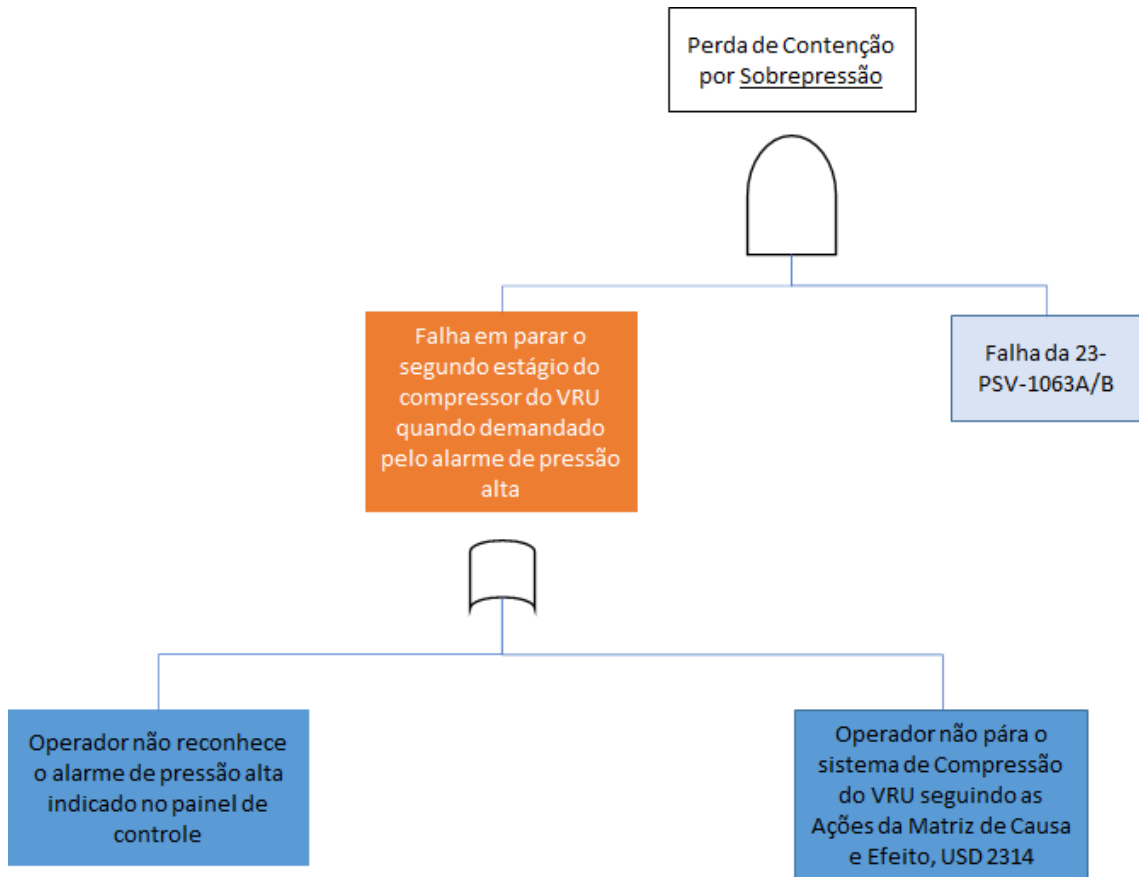


Figura 12– Árvore de Falhas para o cenário selecionado

3.3.6 Passo 6: Quantificação dos erros humanos

Para as subtarefas selecionadas para a quantificação dos erros humanos, os fatores influenciadores de desempenho foram avaliados de acordo com seu potencial para impactar o erro humano. Após essa avaliação, a probabilidade de ocorrência de erro humano (HEP) foi calculada de acordo com a fórmula proposta por por Bye et al. (2017):

$$HEP = (Nominal\ HEP) \times Nível\ PSF$$

Sendo:

HEP = Probabilidade de erro humano (do inglês, Human Error Probability)

Nominal HEP = 0,01, valor definido conforme o método selecionado

Nível PSF = Nível dos fatores influenciadores de desempenho

O valor calculado de HEP reflete a probabilidade e, portanto, deve estar entre 0 e 1. Caso o resultado calculado seja maior que 1, este deverá ser arredondado para 1 (probabilidade de 100%), conforme definido no método em aplicação.

A Tabela 1 e Tabela 2 a seguir mostram um resumo dos fatores influenciadores de desempenho humano avaliados para cada uma das subtarefas selecionadas na análise. O Anexo I apresenta a avaliação completa realizada para os PSF em cada subtarefa analisada, com as justificativas para os valores adotados.

Tabela 1– Resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA avaliados para a subtarefa 1.3

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA		
Instalação		FPSO
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.3 Reconhecer o alarme de alta pressão 23-PAH-1554	
Cenário do evento de falha humana	Operador não reconhece o alarme de pressão alta 23-PAH-1554	
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Nível do PSF atribuído na análise	Multiplicador
Tempo	Altamente negativo	50
Stress de ameaça	Pouco negativo	5
Complexidade da tarefa	Muito pouco negativo	2
Experiência/Treinamento	Pouco negativo	5
Procedimentos	Nominal	1
Interface humano-máquina (IHM)	Moderadamente negativo	10
Atitudes em relação à Segurança, Trabalho e Apoio da Gestão	Nominal	1
Trabalho em equipe	Muito pouco negativo	2
Ambiente físico de trabalho	Moderadamente negativo	10

Tabela 2– Resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA avaliados para a subtarefa 2.4

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA		
Instalação		FPSO
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	2.4 Acionar o USD 2314	
Cenário do evento de falha humana	Operador falha em acionar o USD 2314	
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Nível do PSF atribuído na análise	Multiplicador
Tempo	Altamente negativo	50
Stress de ameaça	Pouco negativo	5
Complexidade da tarefa	Nominal	1
Experiência/Treinamento	Pouco negativo	5
Procedimentos	Pouco negativo	5
Interface humano-máquina (IHM)	Moderadamente negativo	10
Atitudes em relação à Segurança, Trabalho e Apoio da Gestão	Nominal	1
Trabalho em equipe	Muito pouco negativo	2
Ambiente físico de trabalho	Moderadamente negativo	10

A Tabela 3 a seguir traz um resumo dos resultados obtidos neste passo.

Tabela 3 – Quantificação da probabilidade de erro humano (HEP)

Descrição do Evento de Falha Humana	Cenário do evento de falha humana	Cálculo do HEP antes do arredondamento	HEP antes da redução
1.3 Reconhecer o alarme de alta pressão 23-PAH-1554	Operador não reconhece o alarme de pressão alta 23-PAH-1554	5000	1
2.4 Acionar o USD 2314	Operador falha em acionar o USD 2314	12500	1

Como pode ser visto na Tabela 3, a probabilidade de erro humano foi estimada em 100% para as duas subtarefas selecionadas para a análise.

Na quantificação dos erros humanos, o grupo identificou alguns fatores influenciadores de desempenho impactando significativamente as subtarefas avaliadas, os quais são: tempo disponível, estresse de ameaça,

experiência/treinamento, interface humano-máquina, trabalho em equipe e ambiente físico de trabalho.

3.3.7 Passo 7: Redução dos erros humanos

Recomendações foram propostas pelo grupo para redução de erros, as quais estão classificadas como medidas de redução de risco (ERM) e estratégias de redução de risco (ERS).

A Tabela 4 apresenta as recomendações correlacionadas aos PSFs que necessitam de atuação para melhoria no nível de impacto.

Tabela 4 - Recomendações propostas e PSFs impactados

PSFs com impacto negativo	Estratégias de redução de erros /Medidas de redução de erros
Tempo: O tempo disponível é o tempo que o operador tem para iniciar as ações prescritas na matriz de causa e efeito e interromper a cadeia de eventos que podem levar à perda de contenção. Foi assumido o tempo disponível para o operador implementar as ações como sendo de 10s segundos, portanto, o operador tem uma pressão de tempo muito alta.	ERM04- Na situação de contingenciamento do 23-PZT-1062 através do alarme 23-PAH-1554, o operador da sala de controle deve deixar a tela para acionamento direto do USD 2314 aberta ao lado do <i>trend</i> do alarme de alta pressão. Isto facilita e agiliza a ação em caso de alarme. ERM05- Configurar o alarme 23-PAH-1554 como alarme de alta prioridade.
Estresse de ameaça: O Operador tem conhecimento de que um erro nesta operação pode causar uma perda de contenção, contudo o estresse de ameaça é moderado pois ele se encontra na sala de controle (ambiente protegido). Não é esperada a presença contínua de pessoas no módulo do sistema de VRU (área onde ocorreria a perda de contenção de gás inflamável) visto que a planta está em operação normal.	ERM01- Restringir o acesso de pessoas na área em que há a potencial perda de contenção associada ao sistema do VRU, desde a descarga do segundo estágio do compressor de VRU até a XV na entrada do módulo de compressão de gás principal. ERM02- Sinalizar a área e restringir trabalhos a quente enquanto a situação de contingenciamento estiver em vigor. ERM03- Garantir a comunicação do risco nos briefings, reuniões de DDS, reuniões de simultaneidade, passagem de serviço e na liberação de serviços na área.
Experiência/treinamento: O operador tem experiência e treinamento em operação da planta, mas não são treinados especificamente no cenário em si. Apenas dão ciência ao procedimento operacional definido, uma vez que este é de caráter temporário.	ERS03- Garantir treinamento específico para os operadores da sala de controle nos procedimentos críticos de contingenciamento implementados. ERS04- Aplicar a sistemática de VCP (verificação de conformidade de procedimento) para os procedimentos críticos/instruções operacionais de contingenciamento.
Interface humano-máquina: Para executar a tarefa, algumas telas precisam ser abertas sequencialmente, portanto esta navegação entre telas aumenta a dificuldade de realizar a tarefa. Para executar a tarefa, algumas telas precisam ser abertas sequencialmente, portanto esta navegação	ERM04- Na situação de contingenciamento do 23-PZT-1062 através do alarme 23-PAH-1554, o operador da sala de controle deve deixar a tela para acionamento direto do USD 2314 aberta ao lado do <i>trend</i> do alarme de alta pressão. Isto facilita e agiliza a ação em caso de alarme.

PSFs com impacto negativo	Estratégias de redução de erros /Medidas de redução de erros
entre telas aumenta a dificuldade de realizar a tarefa. O alarme de alta pressão não está configurado como um alarme de alta prioridade, não tendo nenhuma diferenciação em relação a demais alarmes da planta, o que pode impactar no reconhecimento do alarme, dada a avalanche de alarmes que é esperada.	ERM05- Configurar o alarme 23-PAH-1554 como alarme de alta prioridade.
Ambiente físico de trabalho: A iluminação da sala de controle não está adequada, gerando ofuscamento e reflexo na tela, e por conta disso algumas luminárias permanecem apagadas o que impacta a iluminação do ambiente e pode afetar negativamente o desempenho na execução da tarefa.	ERS01- Rever projeto de iluminação da sala de controle (quantidade de luminárias, tipo de iluminação) e telas de monitores utilizadas de modo a minimizar o impacto desta condição no ambiente de trabalho (por exemplo, telas antirreflexo).
Trabalho em equipe: No turno da noite há somente um operador na sala de controle, então isto pode ter uma influência negativa na tarefa, dado que ele terá que desempenhar outras atividades exclusivas da sala de controle sozinho, o que pode levá-lo a sobrecarga. Além disso, o fato de estar sozinho nas tarefas pode ser um fator que leve a sonolência e afete o desempenho na tarefa.	ERS02- Aumentar o número de operadores de sala de controle no turno da noite para 2 pessoas. Os dois operadores deverão estar devidamente treinados e aptos a executarem as ações de contingenciamento da barreira degradada, caso necessário, de forma independente, garantindo assim uma redundância da barreira humana nessa medida de contingenciamento.
Procedimento: O procedimento disponível é superficial e bem simplificado, e está disponível somente na língua inglesa, apesar dos operadores da sala de controle serem brasileiros.	ERS05- Os procedimentos de contingenciamento devem ser elaborados e estar disponíveis em português e em inglês, bem como conter claramente o passo a passo para a execução das tarefas.

A seguir apresentamos a lista de recomendações propostas.

Medidas de redução de risco:

ERM01- Restringir o acesso de pessoas na área em que há a potencial perda de contenção associada ao sistema do VRU, desde a descarga do segundo estágio do compressor de VRU até a XV na entrada do módulo de compressão de gás principal.

ERM02- Sinalizar a área e restringir trabalhos a quente enquanto a situação de contingenciamento estiver em vigor.

ERM03- Garantir a comunicação do risco nos briefings, reuniões de DDS, reuniões de simultaneidade, passagem de serviço e na liberação de serviços na área.

ERM04- Na situação de contingenciamento do 23-PZT-1062 através do alarme 23-PAH-1554, o operador da sala de controle deve deixar a tela para acionamento direto do USD 2314 aberta ao lado do *trend* do alarme de alta pressão. Isto facilita e agiliza a ação em caso de alarme.

ERM05- Configurar o alarme 23-PAH-1554 como alarme de alta prioridade.

Estratégias de redução de riscos:

ERS01- Rever projeto de iluminação da sala de controle (quantidade de luminárias, tipo de iluminação) e telas de monitores utilizadas de modo a minimizar o impacto desta condição no ambiente de trabalho (por exemplo, telas antirreflexos,).

ERS02- Aumentar o número de operadores de sala de controle no turno da noite para 2 pessoas. Os dois operadores deverão estar devidamente treinados e aptos a executarem as ações de contingenciamento da barreira degradada, caso necessário, de forma independente, garantindo assim uma redundância da barreira humana nessa medida de contingenciamento.

ERS03- Garantir treinamento específico para os operadores da sala de controle nos procedimentos críticos de contingenciamento implementados.

ERS04- Aplicar a sistemática de VCP (verificação de conformidade de procedimento) para os procedimentos críticos/instruções operacionais de contingenciamento.

ERS05- Os procedimentos de contingenciamento devem ser elaborados e estar disponíveis em português e em inglês, bem como conter claramente o passo a passo para a execução das tarefas.

Considerando a implementação das medidas e estratégias propostas, os fatores influenciadores de desempenho foram revisitados e recalculada a probabilidade de erro humano das tarefas consideradas, cujos resultados são apresentados sumariamente na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 a seguir.

Tabela 5– Resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA avaliados para a subtarefa 1.3 antes e após redução de risco

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA				
Instalação		FPSO		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.3 Reconhecer o alarme de alta pressão 23-PAH-1554			
Cenário do evento de falha humana	Operador não reconhece o alarme de pressão alta 23-PAH-1554			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Nível do PSF atribuído na análise antes da redução	Multiplicador	Nível do PSF atribuído na análise após redução	Multiplicador
Tempo	Altamente negativo	50	Nominal	1
Stress de ameaça	Pouco negativo	5	Nominal	1

Complexidade da tarefa	Muito pouco negativo	2	Nominal	1
Experiência/Treinamento	Pouco negativo	5	Moderadamente positivo	0,1
Procedimentos	Nominal	1	Nominal	1
Interface humano-máquina (IHM)	Moderadamente negativo	10	Nominal	1
Atitudes em relação à Segurança, Trabalho e Apoio da Gestão	Nominal	1	Nominal	1
Trabalho em equipe	Muito pouco negativo	2	Nominal	1
Ambiente físico de trabalho	Moderadamente negativo	10	Nominal	1

Tabela 6 – Resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA avaliados para a subtarefa 2.4 antes e após redução de risco

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA				
Instalação		FPSO		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	2.4 Acionar o USD 2314			
Cenário do evento de falha humana	Operador falha em acionar o USD 2314			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Nível do PSF atribuído na análise antes da redução	Multiplicador	Nível do PSF atribuído na análise após redução	Multiplicador
Tempo	Altamente negativo	50	Moderadamente negativo	10
Stress de ameaça	Pouco negativo	5	Nominal	1
Complexidade da tarefa	Nominal	1	Nominal	1
Experiência/Treinamento	Pouco negativo	5	Moderadamente positivo	0,1
Procedimentos	Pouco negativo	5	Nominal	1
Interface humano-máquina (IHM)	Moderadamente negativo	10	Nominal	1
Atitudes em relação à Segurança, Trabalho e Apoio da Gestão	Nominal	1	Nominal	1
Trabalho em equipe	Muito pouco negativo	2	Nominal	1
Ambiente físico de trabalho	Moderadamente negativo	10	Nominal	1

Tabela 7 – Quantificação da probabilidade de erro humano (HEP)

Descrição do Evento de Falha Humana	Cenário do evento de falha humana	HEP antes da redução (arredondado)	HEP após a redução
1.3 Reconhecer o alarme de alta pressão 23-PAH-1554	Operador não reconhece o alarme de pressão alta 23-PAH-1554	1	0,001
2.4 Acionar o USD 2314	Operador falha em acionar o USD 2314	1	0,01

3.2. Análise dos Resultados

Com o desenvolvimento do presente trabalho, foi possível aplicar uma técnica quantitativa e avaliar a confiabilidade humana em um procedimento crítico desenvolvido de forma emergencial como parte de um plano de ação de contingenciamento, necessário em decorrência de falha de um elemento crítico de segurança operacional. O cenário em estudo é referente à perda de contenção de gás inflamável com possibilidade de incêndio, explosão e fatalidade, devido a ruptura de equipamento por falha no contingenciamento do intertravamento de pressão alta para o cenário de descarga bloqueada do segundo estágio do compressor do VRU, em uma unidade de produção de óleo e gás *offshore*.

O procedimento criado para substituir o intertravamento em falha contemplava duas tarefas críticas a serem realizadas pelo operador da sala de controle, as quais foram desdobradas em subtarefas. Duas subtarefas foram selecionadas para ser realizada a estimativa da probabilidade de erro humano através da elaboração de uma árvore de falhas para o evento topo em estudo.

Na etapa de quantificação do erro humano, onde foi utilizada a metodologia PETRO-HRA, foram avaliados os principais fatores influenciadores de desempenho que impactavam negativamente as subtarefas avaliadas, os quais foram identificados como tempo disponível, estresse de ameaça, experiência/treinamento, procedimento, interface humano-máquina, trabalho em equipe e ambiente físico de trabalho.

Considerando as condições e situações das tarefas impostas ao operador da sala de controle, a probabilidade de erro humano calculada muito superior a 1(um), e por aproximação, igual a 1(um) ou 100% das vezes as quais o conjunto de subtarefas

avaliadas era necessário de ser executado. Ou seja, considerando os fatores que influenciam o desempenho dos operadores de sala de controle na execução do procedimento crítico, a probabilidade de que haja fracasso é de 100%, ou seja, sempre que for demandado a tarefa por ele executada não terá sucesso, considerando as condições avaliadas e o procedimento conforme estabelecido.

Adicionalmente a análise de probabilidade de falha da tarefa, a probabilidade do cenário “perda de contenção por sobrepressão” será igual à probabilidade de falha da segunda camada de proteção do cenário, a PSV interligada ao sistema de compressão de gás. Assim sendo, o contingenciamento do intertravamento de pressão de forma manual, do modo que foi concebido e avaliado no estudo de caso, não configura um controle alternativo equivalente, à luz do conceito do Regulamento Técnico (RT) de Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANP, item 11.3.2 a) (ANP, 2007).

Com os resultados obtidos nessa avaliação, o cenário de sobrepressão avaliado neste estudo de caso contaria com apenas uma salvaguarda (a PSV) enquanto a indisponibilidade do intertravamento perdurar. A Figura 13 abaixo mostra a comparação entre a probabilidade do cenário considerando as duas salvaguardas previstas em projeto versus a probabilidade do cenário considerando o intertravamento contingenciado através de um procedimento operacional avaliado no estudo de caso e considerando a PSV em operação.

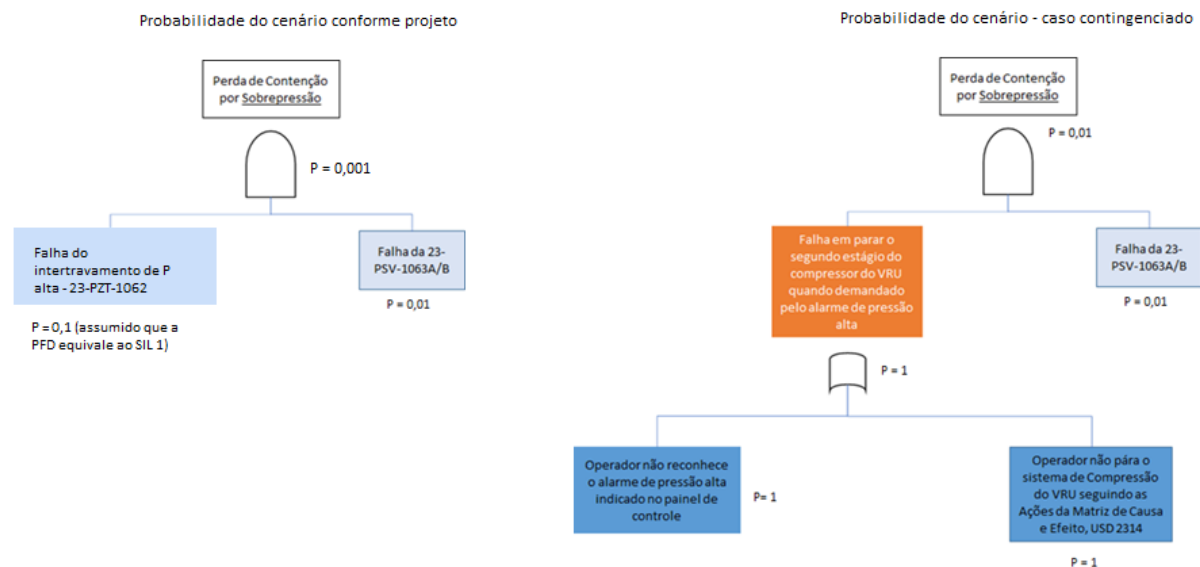


Figura 13 – Comparação entre as probabilidades para o cenário, considerando a situação de projeto x caso contingenciado sem medidas e estratégias para redução da probabilidade de erro humano

Ao todo, 10 (dez) recomendações foram propostas pelo grupo para redução de erros, as quais foram classificadas como medidas de redução de risco (ERM – 5 recomendações) e estratégias de redução de risco (ERS – 5 recomendações).

Considerando a efetiva implementação das recomendações, foi possível obter uma redução relevante na probabilidade de erro humano na execução da instrução operacional de contingenciamento, o que se traduz na melhora da efetividade do contingenciamento proposto frente ao risco do cenário. Nesta condição, o procedimento crítico poderia potencialmente ser considerado uma medida de controle alternativa equivalente à barreira de segurança prevista em projeto.

Através da realização do estudo de caso, evidenciou-se que há ganhos em aplicar uma técnica de Análise de Confiabilidade Humana para avaliar o contingenciamento de um intertravamento através da adoção de um procedimento operacional, pois a análise minuciosa dos fatores que afetam o desempenho humano é uma ferramenta importante para a definição de recomendações que irão conferir robustez à nova barreira temporária, e promover condições para que esta configure realmente um controle alternativo equivalente, conforme requerido pelo Regulamento Técnico (RT) de Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANP (item 11.3.2 a) (ANP, 2007). Além disso, a HRA tem a função de confirmar,

ou não, a viabilidade de adoção do procedimento como contingenciamento, pois a análise possibilita a identificação de fatores que podem impossibilitar a eficácia do procedimento. Por exemplo, o tempo de resposta disponível é um parâmetro fundamental para esse tipo de contingenciamento.

No caso em estudo, para a avaliação foi tomado como estimativa inicial que o tempo disponível (o tempo que o operador tem para iniciar as ações prescritas na matriz de causa e efeito e interromper a cadeia de eventos que podem levar à perda de contenção) é de 10 segundos. Esta estimativa inicial foi considerada adequada pelo grupo ao se tratar de uma variável de resposta rápida (pressão). As avaliações dos PSFs foram então realizadas considerando esse tempo disponível como sendo igual a 10s, e considerando que todas as ações serão desempenhadas pelo(s) operador(es) da sala de controle, ou seja, não envolvem deslocamento ao campo ou atividades manuais em campo como abertura de válvulas, etc. Cabe ressaltar que em uma situação real, seria necessário uma simples análise temporal medida/cronometrada junto ao operador na simulação deste cenário. O tempo de 10 segundos foi utilizado como premissa deste trabalho acadêmico.

Em paralelo à aplicação da metodologia de Petro-HRA, buscou-se validar a premissa assumida para o tempo disponível através de cálculos com suporte de simulação dinâmica do processo, conforme apresentado no Anexo II. Os cálculos, que ficaram disponíveis somente após a finalização da aplicação da metodologia de HRA, demonstram que a premissa adotada não pode ser validada, pois o tempo disponível para o operador executar as ações de resposta e interromper a cadeia de eventos foi calculado como sendo igual a 2,8s. Como o tempo disponível recalculado foi muito inferior à estimativa inicial, conclui-se que o procedimento proposto para o contingenciamento é inexecutável, ou seja, o tempo necessário para o operador da sala de controle executar as tarefas descritas no procedimento é superior ao tempo disponível (tempo de segurança de processo).

Adicionalmente, considerando critérios estabelecidos em normas e publicações que versam sobre gerenciamento de alarmes, como a Norma Petrobras N-2900 (Gerenciamento de Alarmes), onde há a recomendação de que para tempo disponível inferior a 1 minuto, deve ser avaliado se a ação do operador pode ser executada adequadamente, e caso esta ação não seja possível, deve ser prevista uma atuação automática. Ou seja, o tempo de resposta disponível em situações de

contingenciamento de uma barreira degradada através de procedimento operacional pode ser insuficiente para que o operador execute as ações com sucesso, o que representa uma vulnerabilidade nesse contingenciamento, ou até mesmo inviabilizar a adoção do mesmo, como ocorreu com o caso em estudo. Para o cenário em estudo, como há a disponibilidade de uma segunda barreira, e analisando uma forma de aumentar a confiabilidade do sistema de proteção contra sobrepressão, uma recomendação adicional seria avaliar a possibilidade de alinhar a segunda PSV projetada para o cenário, de modo a aumentar a confiabilidade da segunda barreira. A adoção de uma medida como esta requer avaliação devido a possíveis efeitos de *chattering*¹.

Uma questão central sobre a execução de uma análise de confiabilidade humana em uma situação real de contingenciamento é o tempo para a análise e equipe capacitada para tal. Em uma situação de constatação da degradação de uma barreira de segurança, é requerido que a medida de controle alternativa seja identificada e implementada em uma janela de tempo curta, dado que tal solução é algo de caráter emergencial e temporário. Aplicar uma técnica de HRA quantitativa como o Petro-HRA requer tempo e outros recursos para a aplicação de todas as etapas, as quais são relevantes para o resultado final pretendido com a metodologia.

Em se tratando de uma instalação de produção de óleo e gás *offshore*, esta atividade de análise deveria ser conduzida por pessoas capacitadas do departamento de segurança da base, indispensavelmente com a participação do pessoal da operação envolvido, pois são essas pessoas que conhecem o trabalho real, conforme executado no campo, e podem discutir os fatores influenciadores de desempenho humano, assim como uma equipe multidisciplinar com conhecimento e experiência nos sistemas analisados. Dependendo da dinâmica da empresa e disponibilidade dos envolvidos, uma análise de confiabilidade humana poderia levar alguns dias para ser executada, e quando o procedimento finalmente estivesse pronto para ser aplicado, já contemplando todas as recomendações da HRA, possivelmente a barreira degradada já teria sido mantida e estaria operacional novamente.

¹ O fenômeno de *chattering* é caracterizado por sucessivos ciclos de abertura e fechamento que ocorrem em pequenos intervalos durante todo o ciclo da válvula.

Uma alternativa à aplicação completa de uma técnica quantitativa de HRA seria aplicar uma abordagem qualitativa na implementação de contingenciamentos baseados em procedimentos/ação humana, através, por exemplo, de uma lista de verificação com perguntas considerando os fatores influenciadores de desempenho humano e seus limites, e buscar considerar tais fatores na elaboração do procedimento crítico.

A seguir temos alguns exemplos de perguntas a serem feitas que podem trazer uma abordagem de fatores humanos na elaboração de um procedimento crítico como medida alternativa em um contingenciamento:

- Qual parâmetro de processo e as condições de processo o contingenciamento está suprindo? É uma variável de resposta rápida ou lenta?
- O tempo é um fator para o potencial de erro nesta tarefa?
Se sim, o operador tem tempo suficiente para concluir a tarefa?
Ou o tempo disponível é o mínimo necessário?
Ou o operador tem que acelerar muito para fazer a tarefa a tempo?
Há alguma maneira de garantir que o operador tenha tempo suficiente para realizar a tarefa? (Notar que um critério que pode ser tomado como base é que se o tempo disponível é inferior a 1 minuto, deve ser avaliado se a ação do operador pode ser executada adequadamente, e caso esta ação não seja possível, deve ser prevista uma atuação automática)
- A complexidade das tarefas é um fator potencial para o erro humano? Se sim, como as tarefas podem ser simplificadas?
- Os operadores têm experiência e/ou treinamento sobre as tarefas do procedimento?
- A qualidade do procedimento é boa? O procedimento está completo, em linguagem clara, objetiva e no idioma dos operadores, e é possível de ser seguido?
- A HMI causa algum problema na obtenção de informações relevantes ou na execução da tarefa? Como a HMI poderia tornar o desempenho humano na tarefa o mais confiável possível?
- Existem desafios ergonômicos na conclusão da tarefa? Como tais desafios podem ser superados?

Como recomendações de redução da probabilidade de erro humano abrangentes para outras situações similares de contingenciamento de elementos críticos, utilizando procedimento/instrução operacional, podemos elencar:

- Garantir uma comunicação efetiva da situação de contingenciamento e da medida alternativa adotada a todos os envolvidos;
- Quando adotado um alarme para monitoramento da variável de interesse, definir esse alarme como prioritário temporariamente, enquanto o contingenciamento estiver ativo;
- Garantir que o monitoramento seja contínuo e que haja fácil acesso com o mínimo de telas sendo abertas para ação do operador de sala de controle, quando aplicável;
- Garantir treinamento e aplicação de VCP (Verificação de Conformidade com o Procedimento) no procedimento estabelecido.

4. CONCLUSÃO

Para o emprego de um procedimento crítico operacional elaborado como contingenciamento de uma barreira de segurança de forma emergencial e temporária, o presente trabalho demonstrou que há ganhos efetivos em avaliar os fatores influenciadores do desempenho humano e estimar a probabilidade de erro humano em sua execução, de modo a avaliar se o procedimento configura um controle alternativo à barreira degradada/indisponível e se o risco do cenário é mantido conforme projeto. Alguns fatores são determinantes para que esse procedimento seja efetivo tais como: tempo disponível de resposta do operador, meios que ele dispõe para tomar as ações, o treinamento prévio nas etapas críticas do procedimento, a capacidade cognitiva, stress, quantidade alarmes presentes no painel supervisão, dentre outros. Ainda, o tempo de resposta configura um fator crucial na análise, pois caso o tempo de segurança de processo calculado (tempo disponível) seja menor que o tempo necessário para o operador proceder a detecção, diagnóstico, decisão e ação, o contingenciamento utilizando um procedimento operacional configura-se inviável e outra medida alternativa deverá ser considerada, como por exemplo, considerando ações automatizadas.

No caso hipotético que foi avaliado, somente com a implementação de diversas recomendações provenientes da análise de confiabilidade humana foi possível tratar os fatores influenciadores de desempenho com impacto negativo e diminuir a probabilidade de erro humano nas tarefas avaliadas. As recomendações principais são: definir o alarme como prioritário temporariamente, enquanto o contingenciamento estiver ativo; garantir uma comunicação efetiva da situação de contingenciamento e da medida alternativa adotada a todos os envolvidos; garantir que o monitoramento seja contínuo e que haja fácil acesso com o mínimo de telas sendo abertas para ação do operador de sala de controle, quando aplicável; e garantir treinamento e aplicação de VCP (Verificação de Conformidade com o Procedimento) no procedimento estabelecido.

Em uma situação de contingenciamento em que o tempo e equipe disponíveis para a aplicação de uma metodologia quantitativa de análise de confiabilidade humana sejam limitantes, de modo alternativo recomendou-se aplicar uma lista de verificação baseada em fatores influenciadores de desempenho humano durante a elaboração do

procedimento, de modo a avaliar os possíveis aspectos que influenciam o desempenho na realização das tarefas e considerá-los no procedimento, tornando-o mais robusto e menos propenso ao erro humano.

5. REFERÊNCIAS

Boring, R. L., & Blackman, H. S. (2007). The origins of the SPAR-H method's performance shaping factor multipliers. In Human Factors and Power Facilities and HPRCT 13th Annual Meeting (pp. 177-184). IEEE.

BYE, A., LAUMANN, K., TAYLOR, C., RASMUSSEN, M., ØIE, S., VAN DE MERWE, K., ØIEN, K., BORING, R., PALTRINIERI, N., WÆRØ, I., MASSAIU, S., GOULD, K., *The Petro-HRA Guideline*, Revision 1, Vol. 1, IFE/E-2022/001.

BYE, A., LAUMANN, K., TAYLOR, C., RASMUSSEN, M., ØIE, S., VAN DE MERWE, K., ØIEN, K., BORING, R., PALTRINIERI, N., WÆRØ, I., MASSAIU, S., GOULD, K., *Petro-HRA, A New Method for Human Reliability Analysis in the Petroleum Industry*, Conference Paper, 2016.

CCPS and Energy Institute – Bow ties in risk Management – A concept Book for Process Safety, 2022.

DEKKER, S. The field guide to human error investigations. London: Ashgate, 2002.

FEDERAL AVIATION ASSOCIATION (FAA). FAA Research 1989 - 2002/Human Factors in Aviation Maintenance and Inspection/Human Factors Guide for Aviation Maintenance. Publicação do Human Factors on Aviation Maintenance and Inspection (HFAMI) website 2002.

Disponível em:

https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/training_tools/media/hf_guide.pdf
f > Acesso em: 16/03/2023.

FRUTUOSO, P. F. M. Análise da Confiabilidade Humana (ACH) na AQR, São Paulo: ABIQUIM. 2007.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. HSG48: Reducing error and influencing behaviour. 1999. Disponível em: < <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg48.pdf> > Acesso em 10/03/2023

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. Human factors in the management of major accident hazards. 2005.

Disponível em: < <https://www.hse.gov.uk/humanfactors/topics/toolkit.pdf> > Acesso em: 11/03/2023

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. RR679: Review of human reliability assessment methods. 2009

Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr679.pdf> Acesso em: 11/03/2023

HELMREICH, R.L. Error management as organizational strategy. In: Proceedings of the IATA Human Factors Seminar. Bangkok, Thailand, April 20-22, p. 1-7, 1998.

HOLLNAGEL E., Barriers and Acccident Prevention, Ashgate, Hampshire, England, 2004.

KIRWAN, B., *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*, London: Taylor & Francis, (1994).

ISO 17776:2016 – Petroleum and Natural Gas Industries – Offshore Production Installations – Major Accident Hazard Management During the Design of New Installations

LEVESON, N. A accident model for engineering safer systems. In: PROCEEDINGS OF THE MIT ENGINEERING SYSTEM DIVISION INTERNAL SYMPOSIUM. 2002. Massachusetts. Proceedings Massachusetts: MIT, May 2002.

LEVESON, N. System safety engineering: back to the future. Cambridge, MA: MIT. 2002. Disponível em: <<http://sunnyday.mit.edu/book2.pdf>>. Acesso em: 16/03/2023.

MOURA, R., BEER, M., PATELLI, E., LEWIS, J., KNOLL, F. learning from major accidents to improve system design. Safety Science, April 2016.

RASMUSSEN, J. Information Processing and Human-Machine Interaction. In An Approach to Cognitive Engineering. Vol. 12. New-York: North-Holland. 1989.

REASON, J., Managing the risks of organizational accidents. Ashgate, Burlington, 1997.

REASON, J.T. Reducing the risk of organizational accident in complex systems. Paper presented to the Colloquium on Human Reliability in Complex Systems, Nancy. 1991.

SEBZALI, Y. M.; WANG, X. Z. Joint analysis of process and operator in chemical process operational safety. In Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Leeds, UK. n. 15, p. 555-564, 2002. 10p.

TAYLOR, C., ØIE, S., PALTRINIERI, N., *Human Reliability in the Petroleum Industry: A Case Study of the Petro-HRA Method*, Conference Paper, 2016.

VESELY, W. E.; et al. Fault tree handbook (NUREG 0492). Washington, DC: U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1981.

Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional das Instalações Marítimas de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural – RT 43/2008 – ANP

Norma Petrobras N-2900 – Gerenciamento de Alarmes, revisão B. Disponível em <http://nortec.engenharia.petrobras.com.br/nortec/frame.asp?cod=N-2900>. Acesso em 14/07/2023

ANEXO I – DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PETRO-HRA NO ESTUDO DE CASO

Passo 1 – Definição do Cenário

Definição do cenário: perda de contenção de gás inflamável com possibilidade de incêndio, explosão e fatalidade, devido a falha no contingenciamento do 23-PZT-1062 para o cenário de descarga bloqueada do segundo estágio do compressor do VRU		
Tópico	Descrição	Comentários
Localização e ambiente externo		
Localização do evento	O evento ocorre no sistema de compressão de recuperação (<i>vapour recovery unit – VRU</i>), na descarga do segundo estágio de compressão do VRU, em uma unidade flutuante de produção, estocagem e transferência de petróleo (FPSO) operando no Brasil	
Condições ambientais externas	Profundidade da lâmina d'água: aproximadamente 2000 m Ambiente offshore: temperatura ambiente, dados de vento (velocidade e direção), correnteza e outros dados ambientais conforme dados metoceanográficos da região	
Sistema e contexto da tarefa		
Modo operacional	O sistema de compressão de recuperação encontra-se em operação normal	
Sistema de segurança/Barreiras	23-PAH-1554 na descarga do segundo estágio de compressão do VRU 23-PSV-1063A/B na descarga do segundo estágio de compressão do VRU 23-PZT-1062 na descarga do segundo estágio de compressão do VRU, com PAHH e parada do compressor do VRU (DEGRADADO) Procedimento operacional para monitorar o <i>trend</i> de pressão através do 23-PIT-1554 e parar manualmente o sistema de compressão do VRU (CONTINGÊNCIA)	Considerando o cenário de descarga bloqueada no segundo estágio de separação, desvio “sem fluxo” do HAZOP, consequência sobrepressão
Funções e responsabilidades	O procedimento é integralmente executado pelo operador da sala de controle (<i>CRO – control room operator</i>)	
Sequência do evento e duração		
Início do evento	23-XV-1061 falha fechada na descarga do segundo estágio do compressor de VRU	
Eventos intermediários	Aumento da pressão (acima do esperado) no trecho bloqueado Nenhum fluxo para o sistema de compressão principal (<i>main gas compressor</i>)	
Finalização do evento (sucesso)	Operador da sala de controle identifica o evento e interrompe a operação do compressor de VRU E/OU Atuação da PSV (23-PSV-1063A/B) liberando a pressão do trecho Sem consequências perigosas	
Finalização do evento (fracasso)	Rompimento da linha, com perda de contenção de gás inflamável, incêndio, explosão, lesões pessoais severas (potencial para uma fatalidade)	

Ref. "PETRO-HRA Guideline", tabela 3, Pag 29.

Lista de perguntas para reuniões iniciais		
Pergunta	Descrição	Comentários
Qual cenário de acidente grave é relevante para esta HRA e qual a importância desse cenário para o quadro geral de risco para o QRA?	Fornece informações sobre como o cenário é representado no QRA e a significância do risco do cenário.	Aumento da pressão (acima do esperado) no trecho bloqueado na descarga do segundo estágio de compressão do VRU, devido a falha fechada ou fechamento inadvertido da válvula XV. Possibilidade de perda de contenção de gás inflamável com consequências severas (incêndio, explosão, fatalidade).
Como o cenário provavelmente se desenvolverá, conforme definido pelo QRA?	Fornece informações sobre a sequência de eventos conhecida e escala de tempo.	O cenário se desenvolverá com o aumento de pressão na descarga do segundo estágio do VRU causado por falha ou fechamento inadvertido da válvula 23-XV-1061 na descarga do segundo estágio do compressor de VRU. Caso não ocorra a parada do compressor pela atuação do operador após identificação do desvio da variável de processo (primeira camada de proteção com alarme de alta pressão a 19,1 barg), a PSV existente poderá atuar de modo a aliviar o excesso de pressão (segunda camada de proteção para o cenário setada para a pressão de 25,5 barg e dimensionada para o cenário de descarga bloqueada). Se a PSV falhar na demanda poderá haver perda de contenção de gás inflamável, com consequente incêndio, explosão e ferimentos severos a pessoas/fatalidade. Ocorrerá também a interrupção do fluxo de gás para o sistema de compressão principal (main gas compressor), o que irá desencadear alarmes e intertravamentos específicos.
Quais são os comportamentos, condições e maneiras esperados em todo o cenário?	Fornece informações sobre os parâmetros que ajudarão a definir o cenário e quaisquer limitações ou limites.	O parâmetro para identificação do cenário é a pressão na descarga do segundo estágio do compressor do VRU através do monitoramento do 23-PIT-1554. Este PIT tem um alarme de pressão alta configurado a 19,1 barg. A pressão de operação normal é 17,7 barg.
Quando são necessárias ações críticas do operador, conforme definido pela QRA?	Fornece informações sobre em que ponto do cenário o operador deve intervir.	Alarme de pressão alta a 19,1 barg no 23-PIT-1554
Qual é o papel do operador humano neste cenário e onde o operador provavelmente está localizado?	Fornece informações sobre o que o operador deve fazer durante o cenário e se essas são ações baseadas na sala de controle ou no campo.	O operador estará na sala de controle. O operador deve monitorar o comportamento do 23-PIT-1554 pelo <i>trend</i> da variável na tela do supervisor. Em caso de alarme de pressão alta o operador deverá atuar interrompendo o compressor de VRU e realizando as demais ações previstas na matriz de causa e efeito.
Quais são as tarefas críticas ou ações do operador neste cenário, e quais fatores irão desempenhar um papel no sucesso dessas tarefas ou ações?	Fornece informações sobre quais tarefas ou ações provavelmente terão o impacto mais significativo nas funções de barreira de segurança ou no resultado bem-sucedido da tarefa se não forem realizadas corretamente.	Identificar o cenário através do alarme de pressão alta na descarga do segundo estágio do compressor VRU. Atuar parando o compressor e demais ações da matriz de causa e efeito.
Que pistas, alarmes, feedback do sistema ou outras indicações o operador provavelmente receberá?	Fornece informações sobre como o operador deve saber que algo deu errado e o que fazer a seguir.	Trend do 23-PIT-1554 na tela do supervisor para monitoramento. Alarme de alta pressão 23-PAH-1554. Procedimento operacional escrito, disponível para consulta e com ciência do operador.
Qual o tempo disponível para o operador realizar as ações necessárias?	Fornece informações sobre se essas ações são alcançáveis dentro do prazo determinado.	Tempo disponível (tempo de segurança de processo) assumido como sendo 10s para a análise.

		Nota: após a aplicação do método, efetuou-se o cálculo considerando equações com suporte de simulação e o tempo disponível foi determinado como sendo de 2,8s (Anexo II).
Quais equipamentos, ferramentas, informações e permissões são necessários para que o operador execute as ações necessárias?	Fornecer informações sobre as prováveis interações homem-sistema (HSIs) em todo o cenário.	A atuação é diretamente no painel na sala de controle e o operador é pessoa treinada e capacitada para tal. Operador deve ter ciência do procedimento operacional uma vez que o mesmo é contingência para degradação de elemento crítico. O <i>trend</i> do 23-PIT-1554 deve estar disponível na tela de <i>trend</i> . Alarme 23-PAH-1554 deve estar configurado como alta prioridade.
Quando o operador é obrigado a tomar decisões e que tipos de decisões eles terão que tomar?	Quando o operador é obrigado a tomar decisões e que tipos de decisões eles terão que tomar?	Quando ele detecta o cenário, ele precisa entender o cenário e decidir parar o compressor VRU. Ele detecta através de um alarme e precisa tomar ações de mandar fechar válvulas e parar sistemas através do comando de parada da unidade de compressão (USD 2314).
É provável que os operadores tenham experimentado um cenário semelhante antes?	Fornecer informações sobre a experiência operacional ou relatórios de eventos que podem informar a análise.	Não.
Os operadores são treinados em como responder a este cenário?	Fornecer informações sobre procedimentos de resposta a emergências ou outras orientações para apoiar o operador e familiaridade dos operadores com a resposta necessária.	De modo geral, sim, mas não são treinados especificamente no cenário em si. Apenas dão ciência ao procedimento operacional definido, uma vez que este é de caráter temporário.
É possível para o operador se recuperar de uma ação anterior que pode ter falhado?	Fornecer informações sobre se as ações são verificadas ou verificadas à medida que são realizadas e se há tempo e recursos para replanejar a resposta.	Não, não haveria tempo disponível. Contudo, o sistema tem uma segunda barreira (PSV).
Há algum problema conhecido neste local que poderia influenciar o resultado bem-sucedido deste cenário?	Fornecer informações sobre fatores relacionados à instrumentação, alarmes, treinamento, níveis de tripulação etc. que podem influenciar negativa ou positivamente o resultado.	Gestão de alarmes – como no cenário haverá a queda do fluxo de gás para o compressor principal, vários alarmes serão acionados e isto pode afetar a resposta do operador em reconhecer o cenário e tomar as ações conforme previsto no procedimento.

Ref. "PETRO-HRA Guideline", tabela 1, Pag 23.

Passo 2 – Coleta de dados qualitativos

Lista de tópicos para revisão procedimental do cenário		
#	Tópico	Comentários
1	Compreensão clara do cenário e requisitos para a resposta do operador	O operador tem ciência do procedimento, contudo quando o cenário ocorrer poderá ser de difícil identificação uma vez que outros alarmes prioritários também serão ativados. O procedimento é claro quando estabelece que o compressor de VRU deve ser parado e através de qual comando.
2	Facilidade de uso de controles e telas durante o cenário	O <i>trend</i> do PIT em monitoramento fica em uma das telas superiores que são destinadas a <i>trends</i> para acompanhamento contínuo. As telas para que o operador feche válvulas e tome outras ações são de fácil acesso e de uso rotineiro, contudo, para o comando de parada do sistema de compressão, por exemplo, há necessidade de abrir várias telas para poder acionar a parada.
3	Disponibilidade e uso de documentação de apoio, como procedimentos de resposta a emergências	Procedimento escrito fica em uma pasta em meio digital apenas. A matriz de causa e efeito está anexa ao procedimento. A documentação está disponível, mas seu acesso não é facilitado. Procedimento escrito apenas na língua inglesa, mas operadores são brasileiros.
4	Resolução de problemas, tomada de decisão e estratégias e protocolos de ação	Os operadores da sala de controle têm autonomia para tomada de decisão, sem necessidade de consulta ao supervisor de produção.
5	Nível e qualidade do treinamento no cenário de análise	Não há treinamento específico, apenas ciência no procedimento.
6	Qualidade do ambiente de trabalho, telas e controles	Ambiente de trabalho bom, todas as telas em bom estado de funcionamento. Ambiente tranquilo e silencioso.
7	Nível e qualidade do trabalho em equipe e comunicação entre os operadores	Durante o turno do dia temos 2 operadores na sala de controle. Então o monitoramento fica facilitado, além da troca de experiências e conhecimentos facilitada. À noite, porém, temos apenas um operador na sala de controle.
8	Dificuldades reais ou percebidas associadas à resposta ao cenário	Gestão de alarmes – como no cenário haverá a queda do fluxo de gás para o compressor principal, vários alarmes serão acionados e isto pode afetar a resposta do operador em reconhecer o cenário e tomar as ações conforme previsto no procedimento. Pouco tempo disponível para o operador reconhecer o alarme e tomar as ações necessárias. Como o tempo não era conhecido, foi assumido como sendo 10s para a análise (tempo de segurança de processo). Nota: após a aplicação do método, efetuou-se o cálculo considerando equações com suporte de simulação e o tempo disponível foi determinado como sendo de 2,8s (Anexo II).

Ref. "PETRO-HRA Guideline", tabela 4, Pag 32.

Passo 6 - Quantificação da probabilidade de erro humano (HEP)

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA			
Instalação	FPSO		
Data	22/06/2023		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.3 Reconhecer o alarme de alta pressão 23-PAH-1554		
Cenário do evento de falha humana	Operador não reconhece o alarme de pressão alta 23-PAH-1554		
Analistas	Danilo Haddad, Luciana Monteguti, Marcelo Junio, Peterson Diniz, Rodrigo Pinto		
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	1,00E+00		
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
Available time	Extremely high negative	HEP=1	O tempo disponível é o tempo que o operador tem para iniciar as ações prescritas na matriz de causa e efeito e interromper a cadeia de eventos que podem levar à perda de contenção. O tempo disponível para o operador implementar as ações foi assumido como sendo 10 segundos*, portanto, o operador tem uma pressão de tempo muito alta.
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Nível PSF 50	Not applicable	* Nota: após a aplicação do método, efetuou-se o cálculo considerando equações com suporte de simulação e o tempo disponível foi determinado como sendo de 2,8s (Anexo II). Caso a avaliação fosse feita considerando esse tempo calculado, o HEP para esse PSF seria atribuído igual a 1 (extremamente positivo).
Threat stress	High negative	25	O Operador tem conhecimento de que um erro nesta operação pode causar uma perda de contenção, contudo o estresse de ameaça é moderado pois ele se encontra na sala de controle (ambiente protegido). Não é esperada a presença contínua de pessoas no módulo do sistema de VRU (área onde ocorreria a perda de contenção de gás inflamável) visto que a planta está em operação normal.
	Low negative	5	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Nível PSF 5	Not applicable	
Task complexity	Very high negative	50	A tarefa é pouco complexa, contudo, a quantidade de alarmes simultâneos tem um efeito negativo sobre o desempenho.
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	

	Nível PSF	2	Moderate positive	0,1	
			Not applicable	1	
Experience/training			Extremely high negative	HEP=1	O operador tem experiência e treinamento em operação da planta, mas não são treinados especificamente no cenário em si. Apenas dão ciência ao procedimento operacional definido, uma vez que este é de caráter temporário.
			Very high negative	50	
			Moderate negative	15	
			Low negative	5	
			Nominal	1	
			Moderate positive	0,1	
	Nível PSF	5	Not applicable	1	
Procedures			Very high negative	50	Este PSF não é relevante para esta tarefa.
			High negative	20	
			Low negative	5	
			Nominal	1	
			Low positive	0,5	
	Nível PSF	1	Not applicable	1	
Human-machine interface (HMI)			Extremely high negative	HEP=1	O alarme de alta pressão não está configurado como um alarme de alta prioridade, não tendo nenhuma diferenciação em relação a demais alarmes da planta, o que pode impactar no reconhecimento do alarme, dada a avalanche de alarmes que é esperada. Apesar de existir esse problema, entende-se que o impacto não é altamente negativo (multiplicador =50), pois entende-se que a implementação de uma lógica de pop-up e repriorização desse alarme é de fácil implementação.
			Very high negative	50	
			Moderate negative	10	
			Nominal	1	
			Low positive	0,5	
	Nível PSF	10	Not applicable	1	
Attitudes to Safety, Work and Management Support			Very high negative	50	Os operadores têm atitudes adequadas em relação à segurança e conduta no trabalho e há apoio da gestão para priorizar a segurança quando apropriado. O operador demonstra estar atento à segurança na tarefa. Atitudes em relação à segurança trabalho no e apoio gerencial não têm um efeito negativo nem positivo impactante no desempenho.
			Moderate negative	10	
			Nominal	1	
			Low positive	0,5	
	Nível PSF	1	Not applicable	1	
Teamwork			Very high negative	50	No turno da noite há somente um operador na sala de controle, então isto pode ter uma influência negativa na tarefa, dado que ele
			Moderate negative	10	

Nível PSF	2	Very low negative	2	terá que desempenhar outras atividades exclusivas da sala de controle sozinho, o que pode levá-lo a sobrecarga. Além disso, o fato de estar sozinho nas tarefas pode ser um fator que leve a sonolência e afete o desempenho na tarefa.
		Nominal	1	
		Low positive	0,5	
		Not applicable	1	
Physical working environment		Extremely high negative	HEP=1	A iluminação da sala de controle não está adequada, gerando ofuscamento e reflexo na tela, e por conta disso algumas luminárias permanecem apagadas o que impacta a iluminação do ambiente e pode afetar negativamente o desempenho na execução da tarefa.
Nível PSF	10	Moderate negative	10	
		Nominal	1	
		Not applicable	1	

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA			
Instalação	FPSO		
Data	22/06/2023		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	2.4 Acionar o USD 2314		
Cenário do evento de falha humana	Operador falha em acionar o USD 2314		
Analistas	Danilo Haddad, Luciana Monteguti, Marcelo Junio, Peterson Diniz, Rodrigo Pinto		
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	1,00E+00		
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
Available time	Extremely high negative	HEP=1	O tempo disponível é o tempo que o operador tem para iniciar as ações prescritas na matriz de causa e efeito e interromper a cadeia de eventos que podem levar à perda de contenção. O tempo disponível para o operador implementar as ações foi assumido como sendo 10 segundos*, portanto, o operador tem uma pressão de tempo muito alta.
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
Nível PSF	50	Not applicable	1
			* Nota: após a aplicação do método, efetuou-se o cálculo considerando equações com suporte de simulação e o tempo disponível foi determinado como sendo de 2,8s (Anexo II). Caso a avaliação fosse feita considerando esse tempo calculado, o HEP para esse PSF seria atribuído igual a 1 (extremamente positivo).
Threat stress	High negative	25	O Operador tem conhecimento de que um erro nesta operação pode causar uma perda de contenção, contudo o estresse de ameaça é
	Low negative	5	

Nível PSF	5	Very low negative	2	moderado pois ele se encontra na sala de controle (ambiente protegido). Não é esperada a presença contínua de pessoas no módulo do sistema de VRU (área onde ocorreria a perda de contenção de gás inflamável) visto que a planta está em operação normal.
		Nominal	1	
		Not applicable	1	
Task complexity		Very high negative	50	A tarefa não é complexa, e a complexidade da tarefa não afeta o desempenho do operador.
		Moderate negative	10	
		Very low negative	2	
		Nominal	1	
		Moderate positive	0,1	
Nível PSF	1	Not applicable	1	
Experience/training		Extremely high negative	HEP=1	O operador tem experiência e treinamento em operação da planta, mas não são treinados especificamente no cenário em si. Apenas dão ciência ao procedimento operacional definido, uma vez que este é de caráter temporário.
		Very high negative	50	
		Moderate negative	15	
		Low negative	5	
		Nominal	1	
		Moderate positive	0,1	
Nível PSF	5	Not applicable	1	
Procedures		Very high negative	50	O procedimento disponível é superficial e bem simplificado, e está disponível somente na língua inglesa, apesar dos operadores da sala de controle serem brasileiros.
		High negative	20	
		Low negative	5	
		Nominal	1	
		Low positive	0,5	
Nível PSF	5	Not applicable	1	
Human-machine interface (HMI)		Extremely high negative	HEP=1	Para executar a tarefa, algumas telas precisam ser abertas sequencialmente, portanto esta navegação entre telas aumenta a dificuldade de realizar a tarefa.
		Very high negative	50	
		Moderate negative	10	

		Nominal	1	
		Low positive	0,5	
		Not applicable	1	
Nível PSF	10			
Attitudes to Safety, Work and Management Support		Very high negative	50	Os operadores têm atitudes adequadas em relação à segurança e conduta no trabalho e há apoio da gestão para priorizar a segurança quando apropriado. O operador demonstra estar atento à segurança na tarefa. Atitudes em relação à segurança trabalho no e apoio gerencial não têm um efeito negativo nem positivo impactante no desempenho.
		Moderate negative	10	
		Nominal	1	
		Low positive	0,5	
		Nível PSF	1	
Teamwork		Very high negative	50	No turno da noite há somente um operador na sala de controle, então isto pode ter uma influência negativa na tarefa, dado que ele terá que desempenhar outras atividades exclusivas da sala de controle sozinho, o que pode levá-lo a sobrecarga. Além disso, o fato de estar sozinho nas tarefas pode ser um fator que leve a sonolência e afete o desempenho na tarefa.
		Moderate negative	10	
		Very low negative	2	
		Nominal	1	
		Low positive	0,5	
		Nível PSF	2	
Physical working environment		Extremely high negative	HEP=1	A iluminação da sala de controle não está adequada, gerando ofuscamento e reflexo na tela, e por conta disso algumas luminárias permanecem apagadas o que impacta a iluminação do ambiente e pode afetar negativamente o desempenho na execução da tarefa.
		Moderate negative	10	
		Nominal	1	
		Nível PSF	10	

Passo 7: Proposição de medidas redutoras da probabilidade de erro humano

PSFs com impacto negativo	Estratégias de redução de erros /Medidas de redução de erros
Tempo disponível: O tempo disponível é o tempo que o operador tem para iniciar as ações prescritas na matriz de causa e efeito e interromper a cadeia de eventos que podem levar à perda de contenção. Foi assumido o tempo disponível para o operador implementar as ações como sendo de 10s segundos, portanto, o operador tem uma pressão de tempo muito alta.	ERM04- Na situação de contingenciamento do 23-PZT-1062 através do alarme 23-PAH-1554, o operador da sala de controle deve deixar a tela para acionamento direto do USD 2314 aberta ao lado do <i>trend</i> do alarme de alta pressão. Isto facilita e agiliza a ação em caso de alarme. ERM05- Configurar o alarme 23-PAH-1554 como alarme de alta prioridade.
Estresse de ameaça: O Operador tem conhecimento de que um erro nesta operação pode causar uma perda de contenção, contudo o estresse de ameaça é moderado pois ele se encontra na sala de controle (ambiente protegido). Não é esperada a presença contínua de pessoas no módulo do sistema de VRU (área onde ocorreria a perda de contenção de gás inflamável) visto que a planta está em operação normal.	ERM01- Restringir o acesso de pessoas na área em que há a potencial perda de contenção associada ao sistema do VRU, desde a descarga do segundo estágio do compressor de VRU até a XV na entrada do módulo de compressão de gás principal. ERM02- Sinalizar a área e restringir trabalhos a quente enquanto a situação de contingenciamento estiver em vigor. ERM03- Garantir a comunicação do risco nos briefings, reuniões de DDS, reuniões de simultaneidade, passagem de serviço e na liberação de serviços na área.
Experiência/treinamento: O operador tem experiência e treinamento em operação da planta, mas não são treinados especificamente no cenário em si. Apenas dão ciência ao procedimento operacional definido, uma vez que este é de caráter temporário.	ERS03- Garantir treinamento específico para os operadores da sala de controle nos procedimentos críticos de contingenciamento implementados. ERS04- Aplicar a sistemática de VCP (verificação de conformidade de procedimento) para os procedimentos críticos/instruções operacionais de contingenciamento.
Interface humano-máquina: Para executar a tarefa, algumas telas precisam ser abertas sequencialmente, portanto esta navegação entre telas aumenta a dificuldade de realizar a tarefa. Para executar a tarefa, algumas telas precisam ser abertas sequencialmente, portanto esta navegação entre telas aumenta a dificuldade de realizar a tarefa. O alarme de alta pressão não está configurado como um alarme de alta prioridade, não tendo nenhuma diferenciação em relação a demais alarmes da planta, o que pode impactar no reconhecimento do alarme, dada a avalanche de alarmes que é esperada.	ERM04- Na situação de contingenciamento do 23-PZT-1062 através do alarme 23-PAH-1554, o operador da sala de controle deve deixar a tela para acionamento direto do USD 2314 aberta ao lado do <i>trend</i> do alarme de alta pressão. Isto facilita e agiliza a ação em caso de alarme. ERM05- Configurar o alarme 23-PAH-1554 como alarme de alta prioridade.
Ambiente físico de trabalho: A iluminação da sala de controle não está adequada, gerando ofuscamento e reflexo na tela, e por conta disso algumas luminárias permanecem apagadas o que impacta a iluminação do ambiente e pode afetar negativamente o desempenho na execução da tarefa.	ERS01- Rever projeto de iluminação da sala de controle (quantidade de luminárias, tipo de iluminação) e telas de monitores utilizadas de modo a minimizar o impacto desta condição no ambiente de trabalho (por exemplo, telas antirreflexo).
Trabalho em equipe: No turno da noite há somente um operador na sala de controle, então isto pode ter uma influência negativa na tarefa, dado que ele	ERS02- Aumentar o número de operadores de sala de controle no turno da noite para 2 pessoas. Os dois operadores deverão estar devidamente

terá que desempenhar outras atividades exclusivas da sala de controle sozinho, o que pode levá-lo a sobrecarga. Além disso, o fato de estar sozinho nas tarefas pode ser um fator que leve a sonolência e afete o desempenho na tarefa.	treinados e aptos a executarem as ações de contingenciamento da barreira degradada, caso necessário, de forma independente, garantindo assim uma redundância da barreira humana nessa medida de contingenciamento.
Procedimento: O procedimento disponível é superficial e bem simplificado, e está disponível somente na língua inglesa, apesar dos operadores da sala de controle serem brasileiros.	ERS05- Os procedimentos de contingenciamento devem ser elaborados e estar disponíveis em português e em inglês, bem como conter claramente o passo a passo para a execução das tarefas.

Quantificação da probabilidade de erro humano (HEP) após a etapa de redução (considerando a implementação das recomendações)

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA				
Instalação	FPSO			
Data	22/06/2023			
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.3 Reconhecer o alarme de alta pressão 23-PAH-1554			
Cenário do evento de falha humana	Operador não reconhece o alarme de pressão alta 23-PAH-1554			
Analistas	Danilo Haddad, Luciana Monteguti, Marcelo Junio, Peterson Diniz, Rodrigo Pinto			
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,001			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF	
Available time	Extremely high negative	HEP=1	(ERM05) Alarme 23-PAH-1554 configurado como alarme de alta prioridade influencia positivamente o tempo para detecção + diagnóstico. Nota: após a aplicação do método, efetuou-se o cálculo considerando equações com suporte de simulação e o tempo disponível foi determinado como sendo de 2,8s (Anexo II).	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Nível PSF 1	Not applicable		
Threat stress	High negative	25	As seguintes medidas implementadas foram consideradas para avaliar o estresse de ameaça como nominal: (ERM01) Acesso restrito de pessoas na área em que há a potencial perda de contenção associada ao sistema do VRU. (ERM02) Área sinalizada e restrição de trabalhos a quente enquanto a situação de contingenciamento estiver em vigor. (ERM03) Comunicação efetiva do risco nos briefings, reuniões de DDS, reuniões de simultaneidade, passagem de serviço e na liberação de serviços na área.	
	Low negative	5		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Nível PSF 1	Not applicable		
		1		

Task complexity	Nível PSF	1	Very high negative	50	(ERM05) Alarme 23-PAH-1554 configurado como alarme de alta prioridade favorece o reconhecimento do alarme.
			Moderate negative	10	
			Very low negative	2	
			Nominal	1	
			Moderate positive	0,1	
			Not applicable	1	
Experience/training	Nível PSF	0,1	Extremely high negative	HEP=1	As seguintes medidas implementadas foram consideradas para avaliar a experiência e treinamento como moderadamente positivos: (ERS03)- Treinamento específico para os operadores da sala de controle nos procedimentos críticos de contingenciamento implementados. (ERS04)- Sistemática de VCP (verificação de conformidade de procedimento) implementada para os procedimentos críticos/instruções operacionais de contingenciamento.
			Very high negative	50	
			Moderate negative	15	
			Low negative	5	
			Nominal	1	
			Moderate positive	0,1	
Procedures	Nível PSF	1	Not applicable	1	
			Very high negative	50	Este PSF não é relevante para esta tarefa.
			High negative	20	
			Low negative	5	
			Nominal	1	
			Low positive	0,5	
Human-machine interface (HMI)	Nível PSF	1	Not applicable	1	(ERM05) Alarme 23-PAH-1554 configurado como alarme de alta prioridade favorece o reconhecimento do alarme.
			Extremely high negative	HEP=1	
			Very high negative	50	
			Moderate negative	10	
			Nominal	1	
			Low positive	0,5	
Attitudes to Safety, Work and Management Support			Not applicable	1	Os operadores têm atitudes adequadas em relação à segurança e conduta no trabalho e há apoio da gestão para priorizar a segurança quando apropriado. O operador demonstra estar atento à segurança na tarefa. Atitudes em relação à
			Very high negative	50	
			Moderate negative	10	
			Nominal	1	

Nível PSF	1	Low positive	0,5	segurança trabalho no e apoio gerencial não têm um efeito negativo nem positivo impactante no desempenho.
		Not applicable	1	
Teamwork	1	Very high negative	50	(ERS02) Número de operadores de sala de controle no turno da noite para 2 pessoas, mantendo o mesmo quantitativo diurno. Os dois operadores estão devidamente treinados e aptos a executarem as ações de contingenciamento da barreira degradada, caso necessário, de forma independente, garantindo assim uma redundância da barreira humana nessa medida de contingenciamento.
		Moderate negative	10	
		Very low negative	2	
		Nominal	1	
		Low positive	0,5	
		Not applicable	1	
Physical working environment	1	Extremely high negative	HEP=1	(ERS01) Iluminação da sala de controle adequada às tarefas (quantidade de luminárias, tipo de iluminação) e telas de monitores utilizadas de modo a minimizar o impacto desta condição no ambiente de trabalho (por exemplo, telas antirreflexo).
		Moderate negative	10	
		Nominal	1	
		Not applicable	1	

Tabela resumo dos fatores influenciadores de Petro-HRA			
Instalação	FPSO		
Data	22/06/2023		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	2.4 Acionar o USD 2314		
Cenário do evento de falha humana	Operador falha em acionar o USD 2314		
Analistas	Danilo Haddad, Luciana Monteguti, Marcelo Junio, Peterson Diniz, Rodrigo Pinto		
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,01		
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
Available time	Extremely high negative	HEP=1	(ERM04) Na situação de contingenciamento do 23-PZT-1062 através do alarme 23-PAH-1554, o operador da sala de controle deixa a tela para acionamento direto do USD 2314 aberta ao lado do trend do alarme de alta pressão. Isto facilita e agiliza a ação em caso de alarme.
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	* Nota: após a aplicação do método, efetuou-se o cálculo considerando equações com suporte de simulação e o tempo disponível foi determinado como sendo de 2,8s (Anexo II).
Threat stress	High negative	25	As seguintes medidas foram implementadas

		Nível PSF	1	Low negative	5	consideradas para avaliar o estresse de ameaça como nominal: (ERM01) Acesso restrito de pessoas na área em que há a potencial perda de contenção associada ao sistema do VRU. (ERM02) Área sinalizada e restrição de trabalhos a quente enquanto a situação de contingenciamento estiver em vigor. (ERM03) Comunicação efetiva do risco nos briefings, reuniões de DDS, reuniões de simultaneidade, passagem de serviço e na liberação de serviços na área.
				Very low negative	2	
				Nominal	1	
				Not applicable	1	
Task complexity				Very high negative	50	A tarefa não é complexa, e a complexidade da tarefa não afeta o desempenho do operador.
				Moderate negative	10	
				Very low negative	2	
				Nominal	1	
				Moderate positive	0,1	
Nível PSF				1	Not applicable	
Experience/training				Extremely high negative	HEP=1	As seguintes medidas implementadas foram consideradas para avaliar a experiência e treinamento como moderadamente positivos: (ERS03)- Treinamento específico para os operadores da sala de controle nos procedimentos críticos de contingenciamento implementados. (ERS04)- Sistemática de VCP (verificação de conformidade de procedimento) implementada para os procedimentos críticos/instruções operacionais de contingenciamento.
				Very high negative	50	
				Moderate negative	15	
				Low negative	5	
				Nominal	1	
				Moderate positive	0,1	
Nível PSF				0,1	Not applicable	1
Procedures				Very high negative	50	(ERS05) O procedimento de contingenciamento está disponível em português e em inglês, bem como contém claramente o passo a passo para a execução das tarefas.
				High negative	20	
				Low negative	5	
				Nominal	1	
				Low positive	0,5	
Nível PSF				1	Not applicable	
Human-machine interface (HMI)				Extremely high negative	HEP=1	(ERM04) Na situação de contingenciamento do 23-PZT-1062 através do alarme 23-PAH-1554, o operador da sala de
				Very high negative	50	

		<i>Moderate negative</i>	10	controle deixa a tela para acionamento direto do USD 2314 aberta ao lado do <i>trend</i> do alarme de alta pressão. Isto facilita e agiliza a ação em caso de alarme.
		<i>Nominal</i>	1	
		<i>Low positive</i>	0,5	
		<i>Not applicable</i>	1	
<i>Nível PSF</i>	1			
<i>Attitudes to Safety, Work and Management Support</i>		<i>Very high negative</i>	50	Os operadores têm atitudes adequadas em relação à segurança e conduta no trabalho e há apoio da gestão para priorizar a segurança quando apropriado. O operador demonstra estar atento à segurança na tarefa. Atitudes em relação à segurança trabalho no e apoio gerencial não têm um efeito negativo nem positivo impactante no desempenho.
		<i>Moderate negative</i>	10	
		<i>Nominal</i>	1	
		<i>Low positive</i>	0,5	
		<i>Not applicable</i>	1	
<i>Nível PSF</i>	1			
<i>Teamwork</i>		<i>Very high negative</i>	50	(ERS02) Número de operadores de sala de controle no turno da noite para 2 pessoas, mantendo o mesmo quantitativo diurno. Os dois operadores estão devidamente treinados e aptos a executarem as ações de contingenciamento da barreira degradada, caso necessário, de forma independente, garantindo assim uma redundância da barreira humana nessa medida de contingenciamento.
		<i>Moderate negative</i>	10	
		<i>Very low negative</i>	2	
		<i>Nominal</i>	1	
		<i>Low positive</i>	0,5	
		<i>Not applicable</i>	1	
<i>Nível PSF</i>	1			
<i>Physical working environment</i>		<i>Extremely high negative</i>	HEP=1	(ERS01) Iluminação da sala de controle adequada às tarefas (quantidade de luminárias, tipo de iluminação) e telas de monitores utilizadas de modo a minimizar o impacto desta condição no ambiente de trabalho (por exemplo, telas antirreflexo).
		<i>Moderate negative</i>	10	
		<i>Nominal</i>	1	
		<i>Not applicable</i>	1	
<i>Nível PSF</i>	1			

ANEXO II – ESTIMATIVA DO TEMPO DE SEGURANÇA DE PROCESSO

Volume do Inventário de Gás a ser Despressurizado da descarga do VRU

Objetivo: calcular o tempo que a pressão na descarga do VRU chega da Pop (17,7 barg) até a Pressão da PSV (25,5 barg)

	Valor	Unidade	
Comprimento Total	68,3	m	Valor fornecido pela OP
Diâmetro	0,254	m	Valor fornecido pela OP
Volume das linhas com Inventário de Gás Despressurizado	3,46	m³	

Referência: Descarga do VRU Trem 1 Estágio 2

P&ID -----

Limites (figura ao lado):

23-PSV-1063A/B

23-BL-1115/1118

23-XV-1061

Condições de Operação Normal

	Valor	Unidade	
Pressão de Descarga	17,7	barg	17,7
Temperatura	133	°C	25,12
Vazão volumétrica	25640	Sm³/h	7,42
Vazão molar	1085	kmol/h	575
			Fator de conversão: 23,64 Sm³/kmol
			0,159596

Resultados Hysys (Composição de um gás produzido típico (PM = 30,84kg/kmol))

Vazão mássica	33460	kg/h	
Densidade a P = 17,7 barg	17,55	kg/m³	
Densidade a P = 25,5 barg	25,12	kg/m³	
Vazão volumétrica a P = 17,7 barg	1907	m³/h	Condição de Pressão de Operação - Densidade menor, portanto a vazão volumétrica é maior
Vazão volumétrica a P = 25,5 barg	1332	m³/h	Condição de Pressão de Abertura - Densidade aumentou com a pressão, portanto reduz a vazão volumétrica
Tempo até P = 17,7 barg	6,53	s	
Tempo até P = 25,5 barg	9,35	s	
Diferença de tempo	2,8	s	

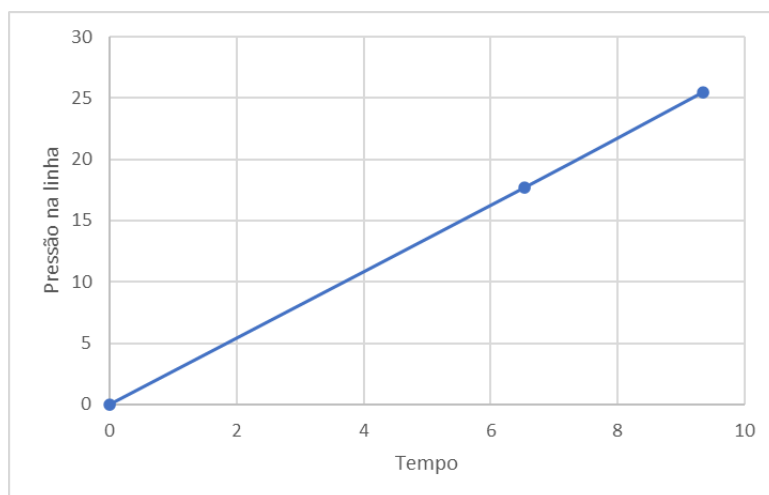
Premissas:

A vazão volumétrica se mantém constante em 1907 m³/h durante o aumento da pressão de 0 barg (partida) até 17,7 barg (apenas para determinação do tempo de subida)

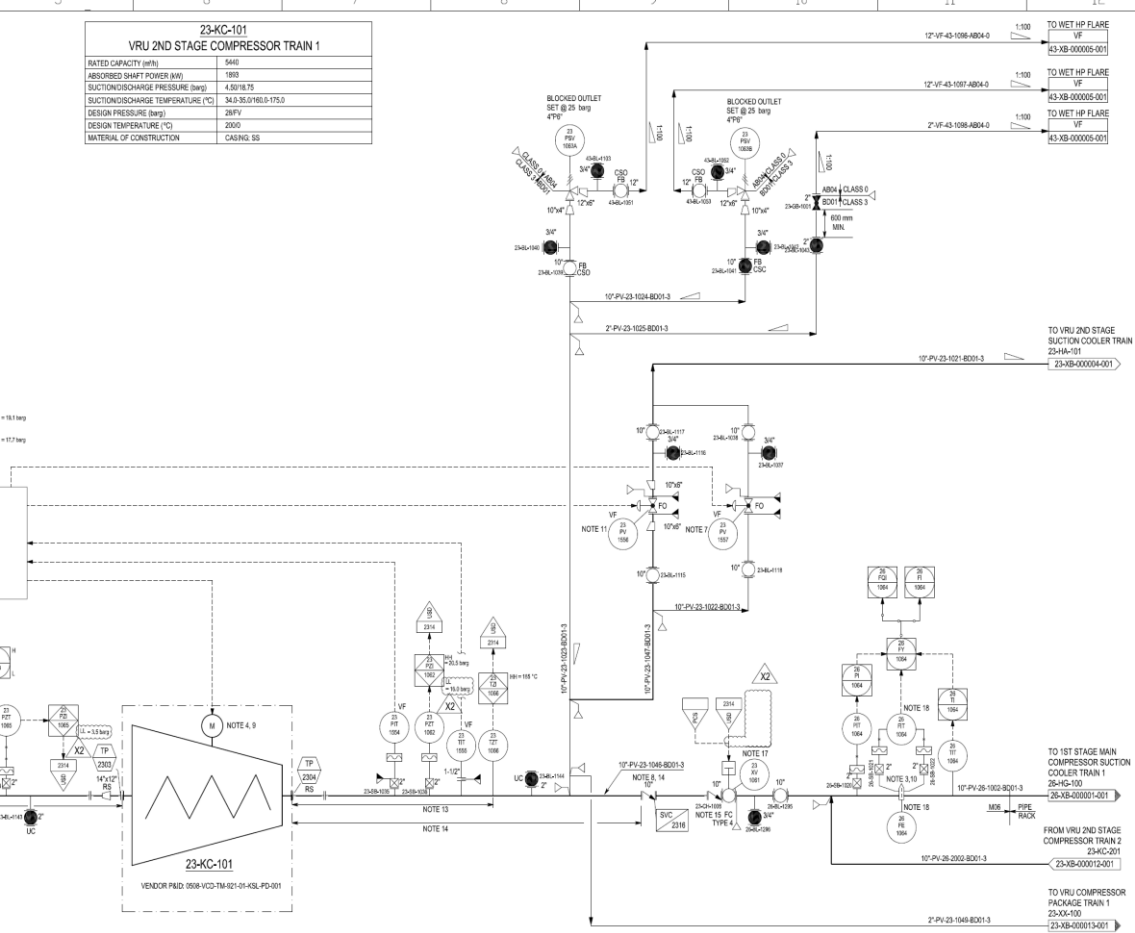
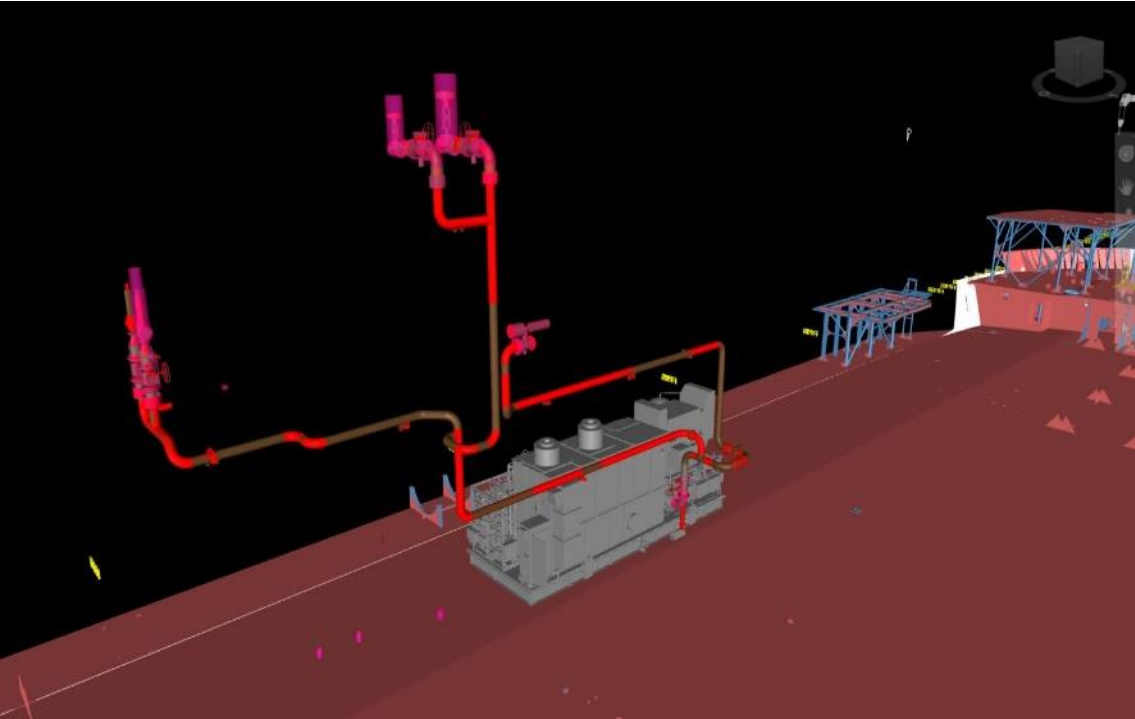
A vazão volumétrica se mantém constante em 1332 m³/h durante o aumento da pressão de 17,7 barg (partida) até 25,5 barg,

Assumiu-se uma linha reta de crescimento de pressão para determinar tempo aproximado de atingimento do SET da PSV

Tempo	Pressão
0	0
6,53	17,7
9,35	25,5



Figuras de suporte aos cálculos:



Material Stream: Inventário de VRU			
Worksheet Attachments Dynamics			
Worksheet			
Conditions	Stream Name	Inventário de VRU	Vapour Phase
Properties	Vapour / Phase Fraction	1,0000	1,0000
Composition	Temperature [C]	133,0	133,0
Oil & Gas Feed	Pressure [bar]	18,71	18,71
Petroleum Assay	Molar Flow [kgmole/h]	1085	1085
K Value	Mass Flow [kg/h]	3,346e+004	3,346e+004
User Variables	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	62,39	62,39
Notes	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,089e+005	-2,089e+005
Cost Parameters	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	175,6	175,6
Normalized Yields	Heat Flow [kJ/h]	-2,266e+008	-2,266e+008
Emissions	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	2,559e+004	2,559e+004
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Material Stream: Inventário de VRU			
Worksheet Attachments Dynamics			
Worksheet			
Conditions	Stream Name	Inventário de VRU	Vapour Phase
Properties	Molecular Weight	30,84	30,84
Composition	Molar Density [kgmole/m3]	0,5690	0,5690
Oil & Gas Feed	Mass Density [kg/m3]	17,55	17,55
Petroleum Assay	Act. Volume Flow [m3/h]	1907	1907
	Mass Enthalpy [kJ/kg]	-6773	-6773

Material Stream: Inventário de VRU-2			
Worksheet Attachments Dynamics			
Worksheet			
Conditions	Stream Name	Inventário de VRU-2	Vapour Phase
Properties	Vapour / Phase Fraction	1,0000	1,0000
Composition	Temperature [C]	133,0	133,0
Oil & Gas Feed	Pressure [bar]	26,51	26,51
Petroleum Assay	Molar Flow [kgmole/h]	1085	1085
K Value	Mass Flow [kg/h]	3,346e+004	3,346e+004
User Variables	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	62,39	62,39
Notes	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,090e+005	-2,090e+005
Cost Parameters	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	172,4	172,4
Normalized Yields	Heat Flow [kJ/h]	-2,268e+008	-2,268e+008
Emissions	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	2,559e+004	2,559e+004
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Material Stream: Inventário de VRU-2			
Worksheet Attachments Dynamics			
Worksheet			
Conditions	Stream Name	Inventário de VRU-	Vapour Phase
Properties	Molecular Weight	30,84	30,84
Composition	Molar Density [kgmole/m3]	0,8147	0,8147
Oil & Gas Feed	Mass Density [kg/m3]	25,12	25,12
Petroleum Assay	Act. Volume Flow [m3/h]	1332	1332
	Mass Enthalpy [kJ/kg]	-6778	-6778