

Pós-Graduação

Segurança de Processos



APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES COM CLORO GÁS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Débora H. Lauxen, Delano M. Moreira, Diego A. Silva, Francisco T. R. Almeida, Jéssica P. Cunha, Renata Lauermann e Rômulo L. Aragão.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar a análise de uma tarefa crítica de um sistema de dosagem de cloro gás de uma estação de tratamento de uma refinaria de petróleo, através da análise de confiabilidade humana (Human Reliability Analysis - HRA). A tarefa crítica selecionada foi a conexão e alinhamento dos cilindros cheios de cloro gás. A avaliação da influência dos fatores humanos no desempenho seguro dessa atividade foi realizada por meio da aplicação da metodologia Petro-HRA. A partir dos resultados da aplicação da técnica, identificou-se a maior probabilidade de erro humano na tarefa crítica e os principais fatores influenciadores de desempenho que contribuem para a ocorrência do erro humano. Por último, foram recomendadas medidas para redução da probabilidade de ocorrência do erro humano durante a atividade, reduzindo assim a probabilidade de ocorrência de cenário accidental.

Palavras-chave: *Cloro Gás, Tarefa Crítica, Fatores Humanos, Petro-HRA*

ABSTRACT

The present work aims to analyze a critical task of a chlorine gas dosing system at a treatment station in an oil refinery, through human reliability analysis (HRA). The critical task selected was the connection and alignment of the cylinders filled with chlorine gas. The assessment of the influence of human factors on the safe performance of this activity was carried out through the application of the Petro-HRA methodology. From the results of applying the technique, the highest probability of human error in the critical task and the main performance-influencing factors that contribute to the occurrence of human error were identified. Finally, measures were recommended to reduce the likelihood of human error occurring during critical activity, thus reducing the likelihood of an accidental scenario occurring.

Keywords: *Chlorine Gas, Critical Task, Human Factors, Petro-HRA*

INTRODUÇÃO

Acidentes de processo podem gerar consequências graves para o ser humano, instalações e para o meio ambiente, até mesmo perdas irreparáveis como a morte. O simples fato de identificar e gerenciar os riscos de uma operação poderia evitar inúmeros acidentes.

Técnicas de análise de risco onde se avalia a engenharia, modo operacional, sistema de segurança e ações humanas podem ser utilizadas para identificar os riscos nas áreas industriais. As técnicas de análise de risco da engenharia de segurança de sistemas possuem um histórico muito antigo, e sua evolução vem avançando gradativamente (Alberton, 1996). Estas técnicas de análise de risco, com o passar dos anos, vêm sofrendo alterações importantes, beneficiando e transformando assim a evolução da história da engenharia de segurança de sistemas. Estas alterações trazem uma visão diferenciada e mais ampla quanto à aplicação destas técnicas que segundo Reason (1991):

- Oferecem orientações claras sobre como operar de forma segura
- Criam compreensão e conscientização sobre os perigos locais
- Fornecem alarmes e advertências quando o perigo é iminente
- Restauram o sistema a um estado seguro em situações fora do comum
- Interpõe barreiras de segurança entre os perigos e as possíveis perdas
- Contêm e eliminam os perigos caso ultrapassem barreira
- Proporcionam os meios de escape e resgate caso a contenção dos perigos falhe.

A redução ou eliminação de acidentes que podem levar a consequências catastróficas, como perda de vidas e perdas patrimoniais, deve ser prioridade em qualquer indústria.

Entretanto, acidentes de processos continuam a ocorrer. Dos dados divulgados pela em 2023 pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) 85% das ocorrências de incidentes na indústria de óleo e gás off-shore, que ocorreram no Brasil, tem alguma causa raiz relacionada aos fatores humanos.

Dentre as técnicas de análise de risco, o HAZOP (*Hazard and Operability Studies*) visa a redução e a minimização dos riscos e aponta medidas preventivas e corretivas para os desvios identificados na área. Técnica qualitativa sistemática para identificar perigos de processo e potenciais problemas operacionais usando uma série de palavras-guia para estudar desvios de processo. Outra técnica de análise de risco, a APR (análise preliminar de risco) é a técnica indutiva estruturada para identificar os principais perigos e situações acidentais, suas possíveis causas e consequências, avaliar qualitativamente seus riscos,

analisar as salvaguardas existentes e propor medidas adicionais /recomendações (PETROBRAS - N-2782, 2015). Estas técnicas podem abordar os Fatores Humanos durante a análise, mas não se dedicam a identificar os fatores que influenciam na ocorrência do erro humano.

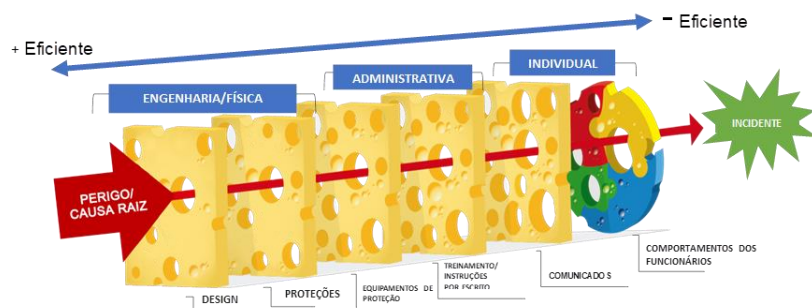
Mas o que são Fatores Humanos? Segundo *Healthy and Safety Executive* (HSE, 2023), fatores humanos referem-se a fatores ambientais, organizacionais e de trabalho, e a características humanas e individuais que influenciam o comportamento no trabalho de uma forma que pode afetar a saúde e a segurança.

Os fatores humanos é uma disciplina preocupada em projetar máquinas, operações e ambientes de trabalho para que correspondam às capacidades, limitações e necessidades humanas. Inclui qualquer trabalho técnico (engenharia, redação de procedimentos, treinamento de trabalhadores, seleção de trabalhadores, etc.) relacionado ao fator humano em sistemas operador-máquina. (CCPS, 2024).

O Modelo 'Queijo Suíço' de Reason (1991) apresenta que em um mundo ideal, todas as camadas defensivas estariam intactas, não permitindo a penetração por trajetórias de acidentes possíveis. No mundo real, no entanto, cada camada possui fraquezas e lacunas. Embora as camadas defensivas e seus 'buracos' sejam associados como fixos e estáticos, na realidade, eles estão em constante movimentação. A metáfora do 'Queijo Suíço' é melhor representada por uma imagem em movimento, com cada camada defensiva entrando e saindo do quadro de acordo com as condições locais. Defesas específicas podem ser removidas deliberadamente durante calibração, manutenção e testes, ou como resultado de erros e violações. Da mesma forma, os buracos dentro de cada camada podem ser vistos como se movendo, aparecendo e desaparecendo, diminuindo e aumentando em resposta às ações do operador e às demandas locais.

A condição necessária para um acidente organizacional é dada quando um conjunto de falhas em defesas sucessivas ocorrem permitindo que perigos entrem em contato prejudicial com pessoas e ativos. Um exemplo dessa trajetória de acidente é representado abaixo na Figura 1 segundo Reason (1991).

Figura 1: Uma trajetória de acidente que passa por buracos correspondentes nas camadas de defesas, barreiras e salvaguardas



Fonte: Reason (1991)

Peres (2006) citando Dekker (2002) entende que os sistemas complexos não são basicamente seguros, e que as pessoas que neles atuam precisam criar segurança adaptando-se, sob pressão e agindo sob incerteza, por meio de trade-offs entre a segurança e outros objetivos.

Por isto, o erro humano não é uma causa de falha, e sim o sintoma, de problemas mais profundos, estando ligado sistematicamente a características das ferramentas, tarefas e ambiente operacional em que os seres humanos atuam. Por isto, o erro humano não deve ser a conclusão de uma investigação, e sim seu ponto de partida.

A falha humana pode ter impacto significativo na segurança de processo, podendo levar à incidentes e acidentes. Conhecer as possíveis situações que estão envolvidas na falha é essencial e importante para evitá-las. Reason (1991), classifica a falha humana conforme a figura a seguir.

Figura 2: Tipos de erros humanos



Fonte: Reason (1991)

Para o HSE (2023), as consequências das falhas humanas podem ser imediatas ou retardadas. Este lapso temporal entre a ação errônea e seus resultados serve para fundamentar a classificação apresentada, que as divide em:

- “Falhas ativas”, que ocasionam consequências imediatas sobre saúde e segurança e que, em geral, são praticadas por profissionais da ponta, como motoristas, operadores de salas de controle ou de equipamentos, e o outro tipo de falha denominada.
- “Falhas latentes”, são cometidas por pessoas cujas tarefas estão afastadas no tempo e no espaço das atividades operacionais, por exemplo, projetistas, decisões e gestores. As falhas latentes são normalmente falhas nos sistemas de gestão de saúde e segurança (concepção, implementação ou monitorização).

Para entender as falhas humanas é necessário reconstruir o passo a passo da atividade sob a perspectiva da pessoa que a realiza em vez de focar apenas nos erros cometidos. (Dekker, 2002).

Entretanto, o sucesso na execução de uma atividade não é determinado apenas por fatores individuais (aqueles relacionados às características da cognição humana), o avanço nos estudos sobre Fatores Humanos revelou que fatores tecnológicos (aqueles que referem-se aos diferentes modos de falhas em sistemas), aspectos organizacionais (aqueles que abrangem práticas estabelecidas para comunicação, controle, normas de desempenho) e políticas empresariais interagem entre si durante a realização de uma atividade (Reason, 1991).

O objetivo principal deste trabalho é realizar a análise de uma tarefa crítica de um sistema de dosagem de cloro gás de uma estação de tratamento de uma refinaria de petróleo, através da análise de confiabilidade humana (Human Reliability Analysis - HRA) buscar identificar e quantificar erros e propor melhorias a fim de evitar acidentes.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Cenário analisado

Segundo Campos (2006), o cloro gasoso (Cl_2) é um desinfetante largamente utilizado para controle microbiano em águas. Trata-se de um gás amarelo esverdeado, mais denso que o ar, motivo pelo qual se acumula no chão em caso de vazamento. É um gás muito irritante das vias aéreas e fortemente agressivo. Além disso, Campos (2006) explica que o contato do gás com a pele e mucosas provoca irritação imediata e queimaduras em função de sua toxicidade elevada, pois a reação do cloro com a água

forma ácido clorídrico. A inalação, mesmo que de curta duração, provoca sérias lesões nos brônquios. Caso a exposição seja intensa, mesmo que por curto período, pode provocar edema pulmonar e insuficiência respiratória, levando à morte.

Norma Regulamentadora nº 15 (2003) considera o gás cloro um produto extremamente tóxico, com limite de tolerância de 0,8ppm. Um ambiente com concentração de 10ppm já é considerado uma atmosfera imediatamente perigosa a vida e a saúde (IPVS) pela NIOSH (2003).

Para manobras realizadas em sistemas com cloro gás, devido ao fato de baixas concentrações já serem suficientes para causar danos irreparáveis a seres humanos é necessário o uso de EPIs específicos como luva nitrílica, máscara facial inteira com ar mandado e em casos de vazamentos uso de roupa completa com vedação total. Na Figura 3 é apresentado uma simulação de como operador deve estar equipado para sanar vazamentos que possam ocorrer.

Figura 3: Simulação de manobra no sistema de cloro gás.



Fonte: Autores (2024)

Peres (2006) conceitua biocida como um produto químico que pode ser utilizado na desinfecção de água, visando controlar a proliferação de microrganismos. Gentil (2012) contextualiza que um biocida ideal deve possuir grande atividade contra microrganismos, mesmo que dosado em baixas concentrações.

Os desafios na prevenção de acidentes no uso biocidas são significativos devido aos riscos inerentes associados a processos que envolvem substâncias altamente tóxicas. Alguns dos principais desafios são:

- **Manutenção de Equipamentos:** Muitas instalações de refino têm equipamentos que já possuem muitos anos de operação e podem ser mais propensos a falhas. A manutenção e a atualização desses equipamentos são fundamentais.
- **Treinamento e Conscientização:** Garantir que todos os funcionários, incluindo contratados e terceirizados, estejam cientes dos riscos e de práticas seguras é um desafio contínuo.
- **Regulamentações em Evolução:** As regulamentações de segurança estão em constante evolução. Acompanhar e cumprir essas regulamentações pode ser um desafio para as empresas de refino.

Algumas das medidas de segurança que podem ser aplicadas no uso de biocidas em busca de mitigar e evitar a ocorrência de incidentes de segurança podem ser listadas abaixo:

- **Inspecções e Manutenção preditiva:** A realização de inspecções regulares e a manutenção preditiva de equipamentos são essenciais para identificar e corrigir problemas antes que se tornem críticos. Isso ajuda a evitar falhas inesperadas que podem resultar em acidentes.
- **Treinamento e Educação:** A capacitação de funcionários é fundamental. Os trabalhadores devem estar bem treinados em práticas seguras e conscientes dos riscos associados às operações do produto.
- **Uso de Tecnologia Avançada:** A adoção de tecnologias avançadas, como sensores de monitoramento em tempo real e sistemas de controle automatizado, ajuda a melhorar a segurança operacional e a resposta a situações de risco.
- **Gestão de Riscos:** A cloração com gás cloro envolve a manipulação de substância tóxica que em contato com umidade pode formar ácido clorídrico, uma substância altamente reativa, podendo resultar em acidentes graves se não forem devidamente controlados. É nesse contexto em que análises de risco e análise de confiabilidade humana desempenham um papel fundamental na prevenção de acidentes e na proteção das instalações, dos trabalhadores e do meio ambiente.

Numa gestão de riscos onde as barreiras mais eficientes sejam a eliminação ou a redução ou substituição, a melhor alternativa para o sistema de cloro gás seria a substituição por outros biocidas, como o hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, pastilhas de tri-cloroisocianúrico entre outros, que, mesmo possuindo um risco inerente do seu uso, não apresentam o risco letal do uso de cloro gás.

Ao se utilizar outros produtos com concentrações menores, em estado líquido ou sólido e que possuem uma toxicidade reduzida conseguimos obter uma redução drástica na probabilidade de acidentes graves, porém para realizar esta mudança é necessário tempo, recursos financeiros e estrutura física para tal.

No caso de permanência do uso de cloro gás deve-se buscar melhorias no processo para reduzir a possibilidade de que os erros humanos não ocasionem acidentes.

Portanto, neste trabalho, utilizaremos o Petro-HRA como metodologia de análise de confiabilidade humana para explorar as estratégias e desafios relacionados à prevenção de acidentes no processo de cloração no tratamento de águas, focando nas medidas de segurança, na cultura de segurança e nas tendências emergentes.

A unidade de cloro gás analisada, possui 2 baterias de 4 cilindros de cloro de aço carbono e tubulações para sua distribuição no processo de tratamento de águas.

Nos cilindros o cloro encontra-se na forma de gás liquefeito comprimido, estando em equilíbrio uma fase líquida e uma fase gasosa. Estes cilindros são conectados ao sistema de dosagem por um conjunto de válvulas e linhas denominado "manifold".

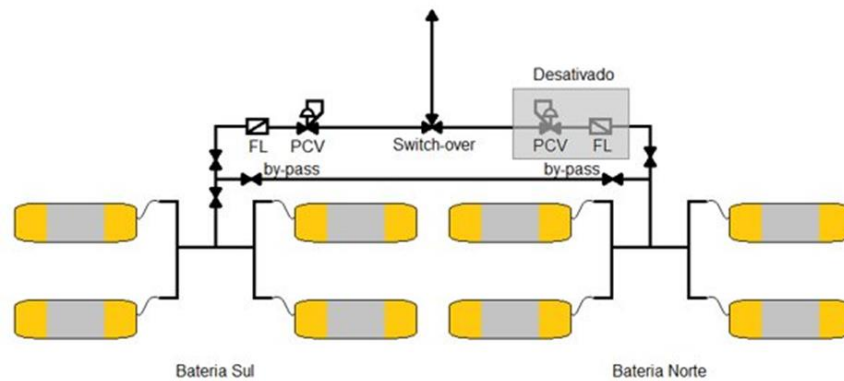
Cada cilindro armazena 900 kg de cloro e pesa 750 kg vazio, possui diâmetro externo de aproximadamente 76,2cm (30") e um comprimento de 208,3cm (82"). Ele é fornecido com dois orifícios para válvulas (em um dos tampos de extremidade).

Embora o cloro não seja inflamável, os cilindros devem ser protegidos de qualquer fonte de calor.

Os cilindros possuem 6 dispositivos fusíveis para alívio de sobrepressão, localizados 3 a 3 nas extremidades, 120 graus uns dos outros. Os dispositivos são projetados para fundir na faixa de temperatura entre 70-74°C e liberar o cloro do seu interior, visando aliviar a pressão interna do cilindro e evitar sua ruptura.

A figura a seguir mostra um desenho esquemático da unidade.

Figura 4: Unidade de cloro gás



Fonte: Autores (2024)

Para este trabalho foi verificado os estudos de risco da unidade. A análise preliminar de risco (APR) (anexo A) traz como cenário crítico o vazamento de gás cloro, principalmente devido a consequência de nuvem tóxica. No nó 04 do HAZOP (Anexo B) foram identificados desvios de fluxo maior e fluxo menor que apontam como consequência a formação de nuvem tóxica. A análise quantitativa de riscos (AQR) cita que o vazamento por ruptura de apenas um cilindro com liberação instantânea de 900kg de cloro tem impacto de grandes proporções em um raio de 3,5km, criando uma zona vulnerável a nuvem tóxica de cloro inclusive nas comunidades vizinhas.

Figura 5: Zona vulnerável a nuvem tóxica da empresa



Fonte: Autores (2024)

No entanto o risco social e o risco individual, traçados pelas curvas F-N e iso-risco respectivamente, foram considerados toleráveis de acordo com os critérios de tolerabilidade do órgão estadual de meio ambiente (FEPAM). Sendo risco social médio de 1,07E-04 fatalidades/ano e com um cenário de potencial de causar até 60 fatalidades e o quanto ao risco individual foi observado que a curva de nível de risco igual ou maior do que 10^{-6} /ano não atingem áreas residenciais externas Refinaria e a curva correspondente ao nível de risco igual 10^{-5} /ano atinge pontos externos à Refinaria, mas somente em áreas industriais.

2.2 Metodologia - Análise de Confiabilidade Humana e o Petro-HRA

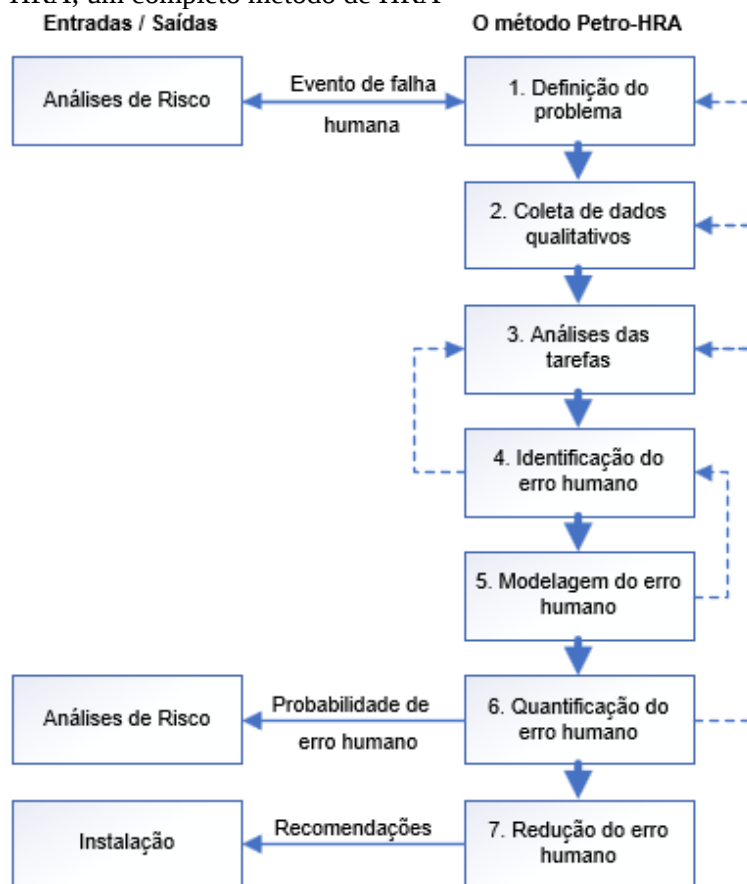
A Análise de Confiabilidade Humana (HRA) resume um conjunto de métodos qualitativos e quantitativos usados para analisar, de maneira sistemática, os fatores humanos nas indústrias, com objetivo de identificar os possíveis erros humanos em uma atividade e os fatores que podem desencadeá-los; como também os quantificar e propor soluções para prevenir ou mitigar erros humanos (Morais, 2019).

Ainda segundo Moraes (2019), os métodos qualitativos de confiabilidade humana fornecem a identificação de erros, possíveis soluções preventivas ou de mitigação e uma classificação de riscos, cenários ou atividades críticas. Já os métodos quantitativos de confiabilidade humana complementam com a adição de uma estimativa das probabilidades de erro humano, de acordo com os fatores de modelagem de desempenho definidos em um cenário específico.

O Petro-HRA, um método desenvolvido para atender especificamente ao setor de óleo e gás, é uma extensão do SPAR-H. (Morais, 2019). É um método de análise de confiabilidade humana que deve ser usado para estimar a probabilidade de falhas humanas em cenários de eventos pós-inicialização, também chamados de Eventos de Falha Humana, na indústria petrolífera *onshore* e *offshore*. (IFE, 2022).

O Petro-HRA aplica avaliações qualitativas e quantitativas para identificação, modelagem e avaliação sistemática de tarefas que afetam o risco de acidentes graves. Conforme IFE - The Petro-HRA Guideline (2022), o referido método destina-se principalmente ao uso dentro de uma estrutura de modelo de risco, como a análise quantitativa de risco (*Quantitative Risk Assessment* - QRA), mas também pode ser usado como uma análise autônoma. As etapas que compõem o método são mostradas na figura a seguir.

Figura 6: Petro-HRA; um completo método de HRA



Fonte: IFE (2022)

2.2.1 Definição do Cenário

A definição do cenário é uma das etapas mais importantes da HRA, pois define o escopo e os limites da análise e molda as análises qualitativas e quantitativas subsequentes. Esta etapa inclui a revisão do modelo da Análise Quantitativa de Riscos para compreender o contexto de HRA dentro da avaliação geral de riscos e do sistema de gerenciamento de barreiras de segurança (Dill, 2020).

2.2.2 Coleta de Dados Qualitativos

A etapa 2 da HRA envolve uma coleta de dados mais 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. Estas atividades geralmente ocorrem durante uma visita às instalações, ou em um workshop com operadores, ou ambos.

2.2.3 Análise da Tarefa

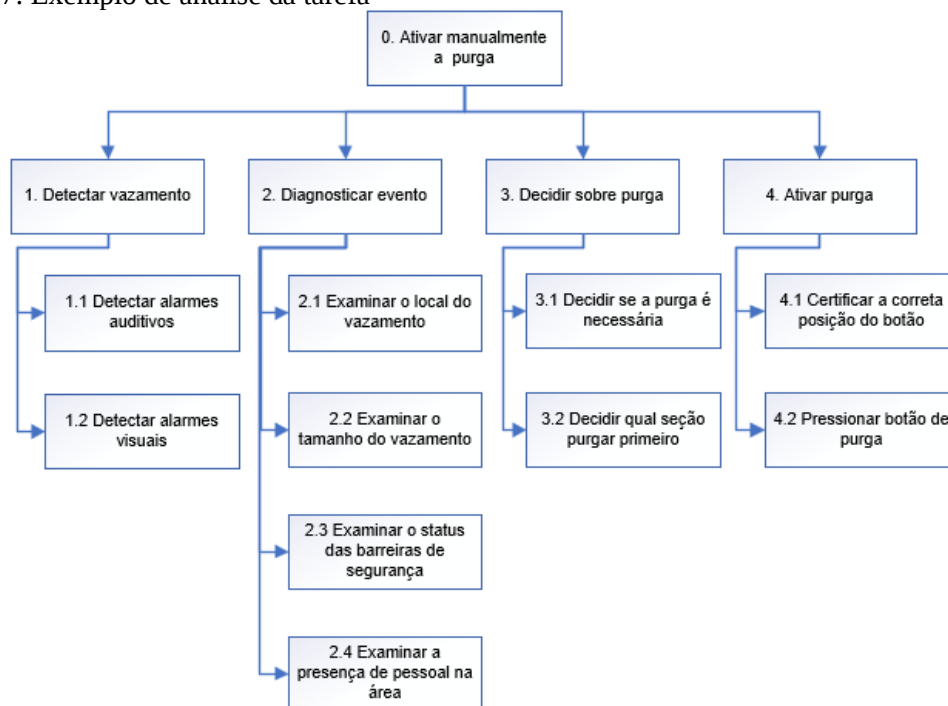
Após a coleta de informações, deve-se descrever as tarefas ou subtarefas que são realizadas como parte do procedimento que está sendo analisado. O objetivo da análise de tarefas é compreender as atividades que estão sendo analisadas e traduzir esses detalhes no nível de detalhe adequado para HRA.

A Análise Hierárquica de Tarefas (HTA - *Hierarchical Task Analysis*) decompõe as tarefas hierarquicamente, fornecendo uma visão gráfica das atividades envolvidas no cenário em análise, facilitando a visualização da sequência de ações e das etapas da tarefa em questão. (Dill, 2020).

A HTA fornece uma visão geral gráfica da(s) tarefa(s) envolvida(s) no cenário e pode fornecer um auxílio de trabalho útil para apontar durante discussões e entrevistas se, por exemplo, estiver discutindo uma sequência específica de etapas da tarefa.

A HTA decompõe uma determinada atividade realizada por humanos em objetivos, tarefas e etapas de tarefas. A meta (ou seja, a tarefa principal) representada no nível superior, e as submetas (ou seja, as etapas da tarefa) são representadas no próximo nível subordinado. As etapas da tarefa, por sua vez, podem ser decompostas em ações humanas mais detalhadas (isto é, subtarefas) representadas como caixas aninhadas abaixo de cada etapa da tarefa. A Figura 7 ilustra um exemplo de análise da tarefa.

Figura 7: Exemplo de análise da tarefa



Fonte: Adaptado de IFE (2022)

Após a estratificação das tarefas o método necessita da priorização de criticidade das tarefas, segundo o *Guidance on human factors safety critical task analysis - SCTA guidance* (Energy Institute, 2020) “uma das maneiras mais simples de priorizar tarefas é avaliar as consequências do fracasso da tarefa e o grau de envolvimento humano”, para tal utiliza-se as tabelas e matriz de criticidade e priorização.

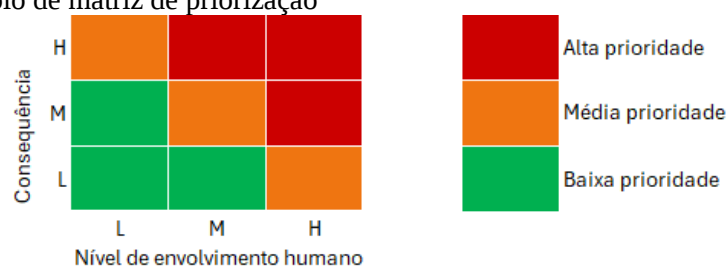
Tabela 1: Criticidade da consequência da falha humana (Energy Institute, 2020)

Consequência da falha humana	Orientação de Exemplo
Alto (H)	Uma falha humana pode resultar diretamente na concretização de um perigo acidente grave.
Médio (M)	Uma falha humana pode transformar-se num perigo de acidente grave se outras barreiras forem consideradas como estando em risco de falha.
Baixo (L)	Uma falha humana não deve conduzir direta ou indiretamente a um perigo de acidente grave.

Tabela 2: Criticidade do nível de envolvimento humano (Energy Institute, 2020)

Nível de envolvimento humano	Orientação de Exemplo
Alto (H)	A tarefa envolve interações humanas extensas ou complexas com equipamentos ou processos críticos para a segurança.
Médio (M)	A tarefa envolve interações humanas limitadas ou simples com equipamentos ou processos críticos para a segurança.
Baixo (L)	A tarefa envolve interações humanas mínimas com equipamentos ou processos críticos para a segurança.

Figura 8: Exemplo de matriz de priorização



Fonte: Energy Institute, (2020)

2.2.4 Identificação do Erro Humano

O objetivo da identificação da falha humana é evidenciar erros potenciais relacionados às ações ou tarefas no cenário estudado, além disso deve-se descrever as prováveis consequências de cada erro, identificar oportunidades de recuperação e identificar os fatores influenciadores de performance que podem impactar na

probabilidade de erro. Essa etapa deve ser desenvolvida de forma conjunta com a análise das tarefas. (Santana, 2020).

O método Petro-HRA utiliza a taxonomia de erros proposta no SHERPA (1986) acrescida da taxonomia de erros de decisão.

- Erros de Ação:
 - A1 - Operação muito longa/muito curta
 - A2 - Operação em momento errado
 - A3 - Operação na direção errada
 - A4 - Operação com muita ou pouca força
 - A5 - Desalinhar
 - A6 - Operação correta no objeto errado
 - A7 - Operação errada no objeto certo
 - A8 - Operação omitida
 - A9 - Operação incompleta
 - A10 - Operação errada no objeto errado
- Erro de aquisição:
 - R1- Informação não obtida
 - R2- Informação errada obtida
 - R3- Informação incompleta
- Erros de comunicação de informação:
 - I1- Informação não comunicada
 - I2- Informação errada comunicada
 - I3- Comunicação de informação incompleta
- Erros de seleção:
 - S1 - Seleção omitida
 - S2 - Seleção errada feita
- Erros de Verificação:
 - V1 - Verificação omitida
 - V2 - Verificação incompleta
 - V3 - Verificação certa em objeto errado
 - V4 - Verificação errada em objeto certo
 - V5 - Verificação no momento errado
 - V6 - Verificação errada no objeto errado
- Erros de decisão:
 - D1 - Decisão correta baseada em informação errada/ausente
 - D2 - Decisão incorreta baseada em informação certa
 - D3 - Decisão incorreta baseada em informação errada/ausente
 - D4 - Falha em tomar uma decisão

2.2.4.1 Modelagem do Erro Humano

A modelagem de erros humanos permite ao analista de risco identificar quais das ações humanas e/ou HFE (*Human Failure Event*) contribuem mais para o risco geral e como essas diferentes falhas interagem.

Existem duas abordagens que são relativamente padronizadas na modelagem de análise de risco: Análise de Árvore de Eventos e Análise de Árvore de Falhas. A Petro-

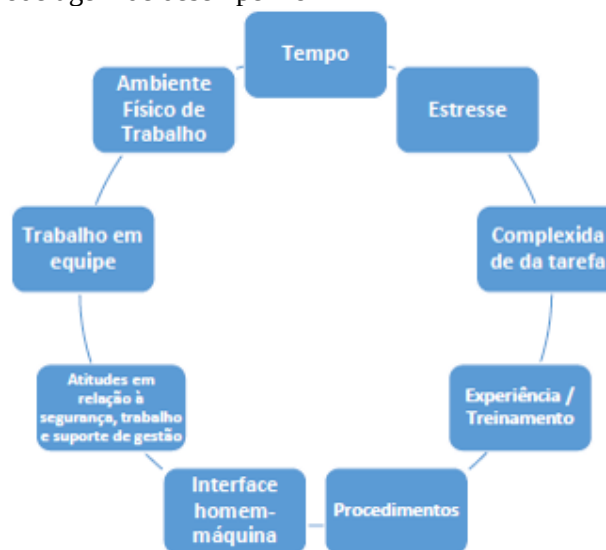
HRA recomenda o uso de árvores de eventos (IFE, 2022), porém no estudo de caso será utilizada a árvore de falhas.

2.2.4.2 Quantificação de Erros Humanos

Os resultados destas etapas anteriores devem ser utilizados como dados de entrada para a quantificação, especialmente o conhecimento do analista sobre o cenário e o contexto para a tarefa a ser quantificada. Os efeitos dos diferentes PSF (*Performance Shaping Factors*, também conhecidos como fatores influenciadores de desempenho) devem ser considerados em função do nível com que cada um deles pode influenciar o desempenho da atividade. Para cada um desses, é atribuído um nível de contribuição e um respectivo multiplicador.

Nove fatores de modelagem de desempenho (PSFs) que foram demonstrados na literatura psicológica geral e em outros métodos de HRA como tendo um efeito substancial no desempenho humano ao executar etapas de tarefas de sala de controle (ou etapas semelhantes às etapas de sala de controle) estão incluídos no Petro-HRA (Dill, 2020), a figura a seguir ilustra esses fatores.

Figura 9: Fatores de modelagem de desempenho



Fonte: Dill (2020)

A falha humana é avaliada através de uma análise de um evento de falha humana (HFE - *Human Failure Event*), um evento básico que representa a falha de um componente, sistema ou função que humanos estão envolvidos. Uma das principais funções de uma análise de confiabilidade humana é promover valores para uma análise quantitativa de riscos na forma de probabilidade de erro humano (HEP - *Human Error Probability*) nos cenários de falha humana. A Equação (1) apresenta a expressão de

cálculo da Probabilidade de erro humano na tarefa (HEP) a qual possui como Nominal HEP = 0,01 e Nível PSF como fator influenciador de desempenho para cada categoria segundo o método Petro-HRA.

A probabilidade nominal de erro humano (NHEP) é um valor de probabilidade de erro humano que supostamente contém todas as pequenas influências que podem contribuir para erros de etapa de tarefa que não são cobertos pelos PSFs (IFE, 2022).

$$HEP = Nominal\ HEP * \prod_{i=m}^n Nível\ PSF_i \quad (Eq. 1)$$

A Equação 1 pode ser reescrita de forma literal da seguinte forma: HEP = 0,01 x multiplicador de tempo x multiplicador de estresse x multiplicador de complexidade de tarefa x multiplicador de experiência / treinamento x multiplicador de procedimentos x multiplicador de interface homem-máquina x multiplicador de atitudes em relação à segurança, trabalho e suporte de gestão x multiplicador de trabalho em equipe x multiplicador de ambiente físico de trabalho.

O cálculo da probabilidade do evento de falha humana (HFE) para cada sub tarefa é calculado através da multiplicação de todos os multiplicadores PSF avaliados. Se o valor de probabilidade de erro humano for entre 0 - 0,01 (valor nominal no Petro-HRA, representado pela cor Verde), não é necessário fazer uma redução do erro humano, se a probabilidade de erro humano de um evento de falha humana for maior 0,01 e menor que 1 (representado pela cor Amarela), uma ação para redução do erro precisa ser proposta e implementada. Probabilidade igual a 1 (representada pela cor Vermelha) é considerada inaceitável e precisa de ação imediata antes de retomar as atividades. A fim de identificação visual usa-se código de cores para destacar o HEP calculado de cada tarefa e sub tarefas na árvore de falhas.

A folha de cálculo de quantificação dos fatores influenciadores de desempenho do Petro-HRA é utilizada para calcular o HEP de cada tarefa ou sub tarefa crítica. Para cada influenciador mencionado, a análise do nível de PSF é realizado e um multiplicador para cada fator é determinado.

Tabela 3: Folha de cálculo de quantificação do Petro-HRA (IFE, 2022)

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA			
Instalação			
Data			
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	Subtarefa 1.1		
Cenário do evento de falha humana			
Analistas			
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
<i>Tempo disponível</i>	<i>Extremamente negativo</i>	HEP=1	
	<i>Muito negativo</i>	50	
	<i>Moderadamente negativo</i>	10	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Moderadamente positivo</i>	0,1	
	<i>Não aplicável</i>	1	
<i>Estresse de ameaça</i>	<i>Negativo</i>	25	
	<i>Pouco negativo</i>	5	
	<i>Pouquíssimo negativo</i>	2	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Não aplicável</i>	1	
	<i>Muito negativo</i>	50	
<i>Complexidade da tarefa</i>	<i>Moderadamente negativo</i>	10	
	<i>Pouquíssimo negativo</i>	2	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Moderadamente positivo</i>	0,1	
	<i>Não aplicável</i>	1	
	<i>Muito negativo</i>	50	
<i>Experiência / treinamento</i>	<i>Extremamente negativo</i>	HEP=1	
	<i>Muito negativo</i>	50	
	<i>Moderadamente negativo</i>	15	
	<i>Pouco negativo</i>	5	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Moderadamente positivo</i>	0,1	
<i>Procedimentos</i>	<i>Não aplicável</i>	1	
	<i>Muito negativo</i>	50	
	<i>Negativo</i>	20	
	<i>Pouco negativo</i>	5	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Baixo positivo</i>	0,5	
<i>Interface humana-máquina (HMI)</i>	<i>Não aplicável</i>	1	
	<i>Extremamente negativo</i>	HEP=1	
	<i>Muito negativo</i>	50	
	<i>Moderadamente negativo</i>	10	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Baixo positivo</i>	0,5	
<i>Atitudes em relação à segurança, trabalho e suporte da gestão</i>	<i>Não aplicável</i>	1	
	<i>Muito negativo</i>	50	
	<i>Moderadamente negativo</i>	10	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Low positive</i>	0,5	
	<i>Not applicable</i>	1	
<i>Trabalho em equipe</i>	<i>Muito negativo</i>	50	
	<i>Moderadamente negativo</i>	10	
	<i>Pouquíssimo negativo</i>	2	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Baixo positivo</i>	0,5	
	<i>Não aplicável</i>	1	
<i>Ambiente físico de trabalho</i>	<i>Extremamente negativo</i>	HEP=1	
	<i>Moderadamente negativo</i>	10	
	<i>Nominal</i>	1	
	<i>Não aplicável</i>	1	

2.2.5 Redução do erro humano

Um dos principais impulsionadores da HRA é a oportunidade que oferece para melhorar a segurança e a confiabilidade do sistema através da implementação de soluções informadas sobre o risco. Essas melhorias visam minimizar o risco através da redução da probabilidade de erro humano ou da mitigação das consequências da ocorrência de um erro humano.

O processo redução do erro é identificar e priorizar os eventos de erro humano que mais contribuem para a estimativa geral de HEP. Na sequência faz-se necessário identificar os tipos de falhas humanas em cada tarefa porque diferentes tipos de falhas requerem diferentes soluções. A seleção destas recomendações baseia-se nos PSF de maior impacto e taxonomia do erro humano do método SHERPA (1986) acrescido dos erros de decisão.

Com as recomendações de redução de erro descritas, deve-se quantificar novamente os HEPs, a equipe de HRA deve pontuar o PSF a luz da recomendação adotada.

Segundo o IFE (2022), “o analista da HRA pode ter classificado originalmente o PSF dos Procedimentos como “Alto efeito negativo no desempenho” com um multiplicador de 20, uma vez que está relacionado com uma etapa crítica da tarefa. Para avaliar o efeito da implementação dessa medida de redução de erro, o analista deve rever o HEP para essa etapa da tarefa e ajustar o multiplicador do PSF dos Procedimentos em conformidade, por exemplo, reduzi-lo de 20 para 1, uma vez que terá agora um “efeito nominal no desempenho”.

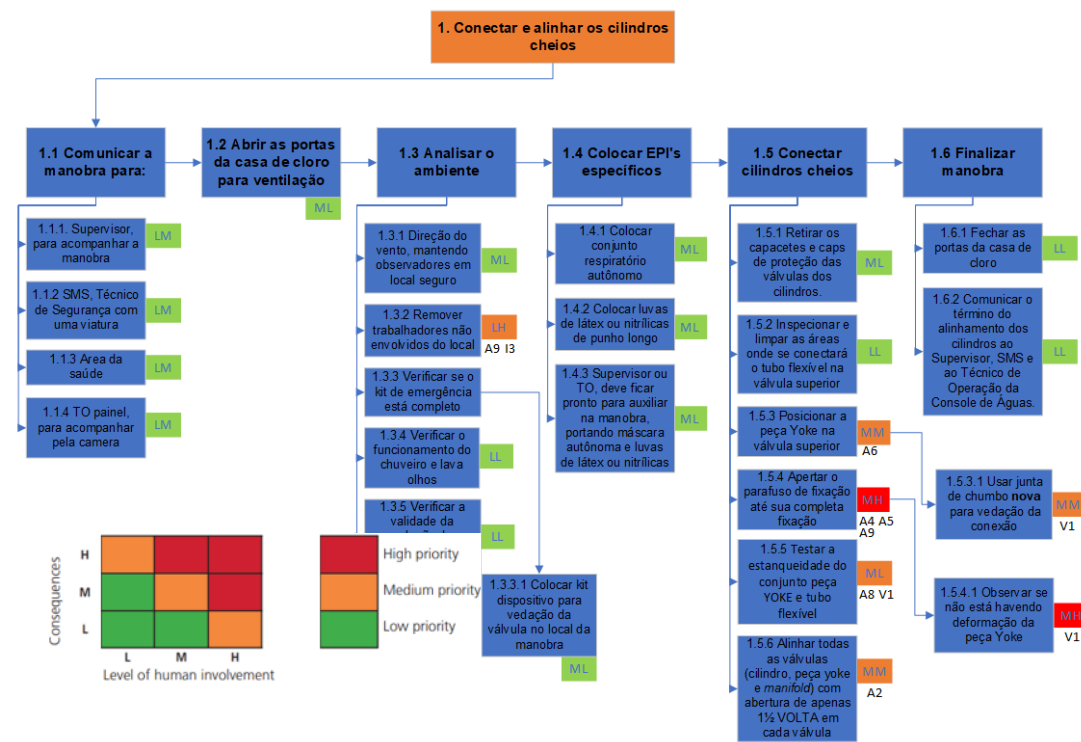
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de tarefa crítica e identificação de erros humanos

Verificado nas análises de risco (APR e HazOp) da estação de tratamento de água que a severidade dos cenários de vazamento de cloro gás receberam nota 04 na dimensão segurança. Existe procedimento para manipulação dos cilindros de cloro gás, procedimento considerado crítico, mesmo não sendo citado como salvaguarda nas análises de risco, mas devido ao histórico de incidentes.

Na Figura 11 está representada a análise hierárquica da tarefa. O procedimento foi estratificado em forma de diagrama e para cada tarefa ou subtarefa realizada a priorização de acordo com a consequência da falha humana e nível de envolvimento humano na tarefa, conforme item 2.2.3. Em seguida para as tarefas ou subtarefas de prioridade média (cor laranja) e alta (cor vermelha) foram identificados os tipos de erros humanos potenciais, conforme item 2.2.5.

Figura 10: Análise de tarefa crítica - HTA



Fonte: Autores (2024)

A HTA foi discutida com integrantes da equipe de operação da refinaria para validação das tarefas e da priorização de criticidade.

A tabela 4 apresentar a hierárquica das tarefas na forma de tabela, indicando os erros humanos identificados em cada uma das tarefas de prioridade média ou alta na etapa de identificação de erros humanos, com base no método SHERPA (1986).

Tabela 4: Representação hierárquica da tarefa na forma de tabular

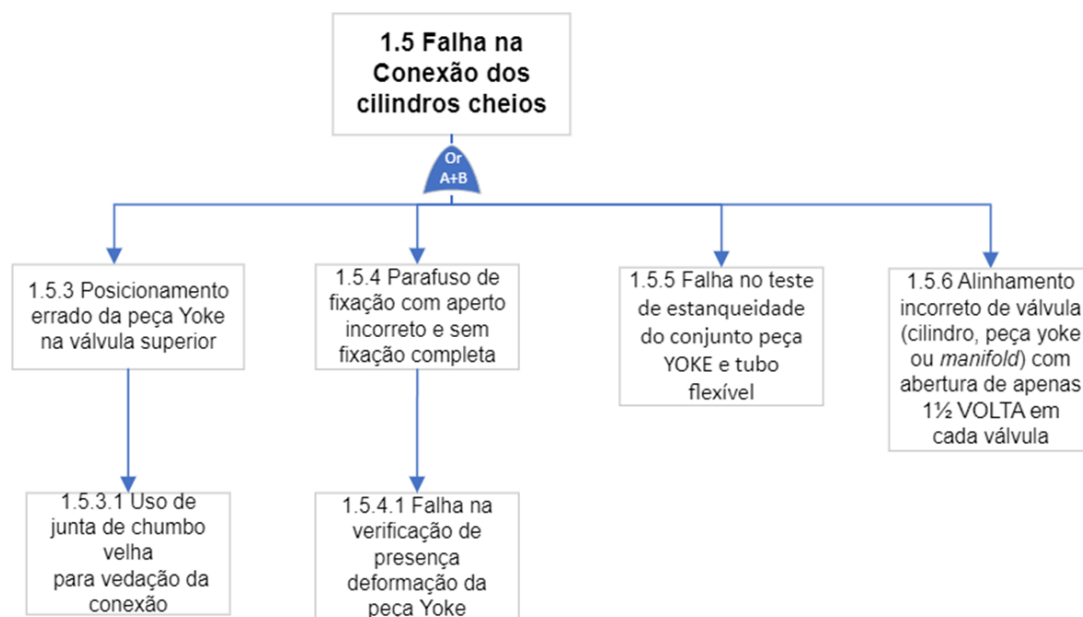
Tarefa	Descrição	Detalhe	Erro Humano
1.3.2 Não remover trabalhadores não envolvidos do local	Avaliar atividades/pessoas no entorno da casa de cloro e solicitar saída do local, imediatamente.	Realizada pelo operador de campo	A9 Operação incompleta I3 Comunicação de informação incompleta
1.5.3 Falha no posicionamento da peça Yoke na válvula superior	Encaixar peça Yoke na válvula superior do cilindro de cloro	Realizada pelo operador de campo	A6 Operação correta no objeto errado

Tarefa	Descrição	Detalhe	Erro Humano
1.5.3.1 Não usar junta de chumbo nova para vedação da conexão	Uso de junta de chumbo na vedação é obrigatória, vetando reutilização de junta existente devido a possibilidade de vazamento	Realizada pelo operador de campo	V1 Verificação omitida
1.5.4 Falha no aperto do parafuso de fixação	É necessário apertar parafuso de fixação de forma que não fique solto e possa vazar e não fique muito apertado que deforme junta de vedação podendo gerar vazamentos também	Realizada pelo operador de campo	A4 Operação com muita ou pouca força A5 Desalinhada A9 Operação incompleta
1.5.4.1 Falha ao observar se está havendo deformação da peça Yoke	A observação da vedação é importante pois pode adiantar avaliação de vazamento anterior ao teste de vedação.	Realizada pelo operador de campo	V2 Verificação incompleta V4 Verificação errada em objeto certo
1.5.5 Falha no teste de estanqueidade do sistema	O teste é realizado abrindo e fechando trechos de sistema, deixando pressurizado para avaliar vazamentos, utilizando hidróxido de amônio para inspeção (reage com cloro formando fumaça branca)	Realizada pelo operador de campo	A8 Operação omitida V1 Verificação omitida
1.5.6 Falha no alinhamento de válvulas (cilindro, peça yoke e manifold)	Realizar alinhamento com abertura que permita vazão plena e ao mesmo tempo não gere abertura total, que em caso de vazamento pode dificultar fechamento.	Realizada pelo operador de campo	A2 Operação em momento errado A3 Operação na direção errada

3.2 Modelagem do Erro Humano

A modelagem da análise de tarefa crítica (HTA) da figura 11 em uma ferramenta probabilística, como árvore de falhas ou árvore de eventos, possibilita verificar a relação de causalidade entre as tarefas e subtarefas e como elas contribuem para o risco global do procedimento crítico. Neste trabalho foi definido o uso de árvore de falhas para modelar o erro humano. A seguir, na figura 12 é apresentada a árvore de falhas apenas das tarefas consideradas críticas, de prioridade média e alta da figura 11, são essas as tarefas com grande probabilidade de ocorrer o erro humano.

Figura 11: Tarefas críticas de prioridade média e alta na forma de árvore de falhas



Fonte: Autores (2024)

3.3 Quantificação e Análise de Impacto

As tarefas com erros humanos com criticidade elevada foram quantificadas considerando os fatores influenciadores de desempenho: tempo, estresse, complexidade da tarefa, experiência e treinamento, procedimento, interface humana-máquina, atitudes em relação a segurança e suporte de gestão, trabalho em equipe e ambiente físico de trabalho, através da aplicação da folha de cálculo de quantificação do Petro-HRA, mostrada na tabela 3.

Nesta etapa, um dos integrantes da equipe era operador da unidade em análise e realizava a tarefa, então pode contribuir com a visão de executante da tarefa, mostrando as dificuldades e detalhes de cada uma delas.

As tarefas consideradas críticas de prioridade média e alta, que foram representadas na árvore de falhas da figura 12, para a quantificação do erro tiveram suas probabilidades de erro humana calculadas e estão apresentadas no Apêndice A.

Para as tarefas que apresentaram HEP maior que 0,01 (Nominal HEP), ou seja, a probabilidade de ocorrer mais de 01 falha a cada 100 execuções da tarefa foram selecionadas para a etapa de redução do erro humano e suas probabilidades de erro humano (HEP) são apresentadas nas tabelas 5, 6 e 7.

Na tabela 5 consta a tarefa 1.5.3.1, na qual foi percebido a possibilidade de erro humano V1 - verificação omitida, pois a não verificação do uso de uma junta nova poderia elevar o risco de acidente por passagem de gás cloro entre as peças.

Esse erro ficou evidenciado no PSF atitude de segurança, trabalho e suporte de gestão com nota 10. O PSF procedimento foi avaliado com nota 5, pois não há especificação e nem a identificação de uma junta nova no procedimento, ambos PSFs influenciando para um valor elevado de HEP de 0,1.

Tabela 5: Cálculo de HEP para item 1.5.3.1.

1.5.3.1 Não usar junta de chumbo nova para vedação da conexão HEP = 0,1	
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Níveis PSF
Tempo	0,1
Estresse	2
Complexidade da tarefa	1
Experiência / Treinamento	1
Procedimentos	5
Interface Homem-máquina	1
Atitudes de segurança, trabalho e suporte de gestão	10
Trabalho em equipe	1
Ambiente físico de trabalho	1

Na Tabela 6 é avaliada tarefa 1.5.4 - falha no aperto do parafuso de fixação. Nesse item foi evidenciado os erros A4 - Operação com muita ou pouca força, A5 – Desalinhada e/ou A9 - Operação incompleta. Esses erros têm bastante efeito nos itens:

- Experiência/Treinamento, pois precisa de um conhecimento e treinamento na força e posicionamento que deve ser realizado o aperto;
- Procedimento, pois não tem um valor exato de aperto necessário para realizar tarefa;
- Atitude de segurança, trabalho e suporte de gestão, pois necessita de atenção plena para executar tarefa de forma correta.

Devido aos erros terem aumentado tais fatores influenciadores de desempenho gerou um HEP de 0,3 para probabilidade de erro humano.

Tabela 6: Cálculo de HEP para item 1.5.4.

1.5.4 Falha no aperto do parafuso de fixação	HEP = 0,3
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Níveis PSF
Tempo	0,1
Estresse	2
Complexidade da tarefa	2
Experiência / Treinamento	15
Procedimentos	5
Interface Homem-máquina	1
Atitudes de segurança, trabalho e suporte de gestão	1
Trabalho em equipe	1
Ambiente físico de trabalho	1

Na Tabela 7 é avaliada a falha no teste de estanqueidade. Nesse item foi evidenciado a possibilidade dos erros A8 - Operação omitida e V1 - Verificação omitida.

Tabela 7: Cálculo de HEP para item 1.5.5

1.5.5 Falha no teste de estanqueidade do sistema	HEP = 0,03
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Níveis PSF
Tempo	0,1
Estresse	2
Complexidade da tarefa	0,1
Experiência / Treinamento	15
Procedimentos	1
Interface Homem-máquina	1
Atitudes de segurança, trabalho e suporte de gestão	1
Trabalho em equipe	10
Ambiente físico de trabalho	1

O teste consiste em abrir e fechar trechos de sistema, deixando pressurizado para avaliar vazamentos, utilizando hidróxido de amônio para inspeção (reage com cloro formando fumaça branca identificando presença de cloro). Caso não seja realizado este teste, ou seja, omitida alguma etapa o vazamento de cloro pode ser descontrolado já nesta etapa.

Esses erros fizeram o fator influenciador de experiência/treinamento ser o principal dessa etapa. Além disso, o trabalho em equipe nessa fase também é bastante importante pois, caso ocorra um vazamento, equipe de apoio precisa agir de forma rápida para contenção de vazamento. Assim, a probabilidade de erro humano desse item ficou um pouco acima do aceitável, ficando em 0,03.

Na Tabela 8 está relacionado todos as tarefas analisadas e seu respectivo cálculo de probabilidade.

Tabela 8: valores de probabilidade de erro humano de cada falha

ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	Cálculo HEP
1.3.2 Não remover trabalhadores não envolvidos do local	0,005
1.5.3 Falha no posicionamento da peça Yoke na válvula superior	0,00625
1.5.3.1 Não usar junta de chumbo nova para vedação da conexão	0,1
1.5.4 Falha no aperto do parafuso de fixação	0,3
1.5.4.1 Não observar se está havendo deformação da peça Yoke	0,006
1.5.5 Falha no teste de estanqueidade do sistema	0,03
1.5.6 Falha no alinhamento de válvulas (cilindro, peça yoke e manifold)	0,002

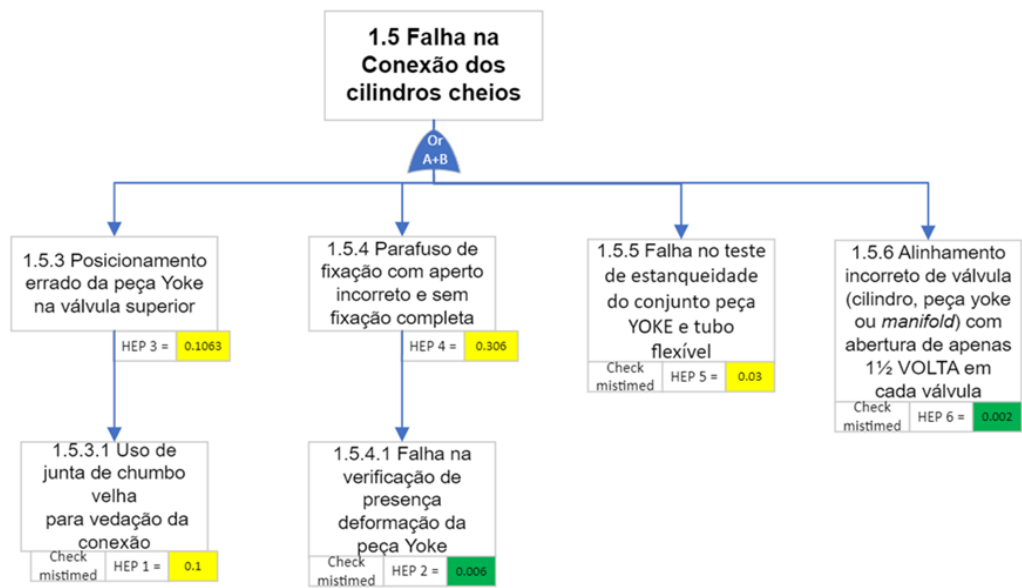
Na Figura 12 pode-se avaliar como o impacto da falha de uma sub tarefa interfere na tarefa principal, onde tem-se o somatório de falhas. Para os itens 1.5.6 (HEP 0,002) e 1.5.4.1 (HEP 0,006) o valor de probabilidade de erro humano é menor que 0,01 (valor nominal no Petro-HRA), com isso não é necessárias ações para redução do erro humano.

Para as tarefas 1.5.3 (HEP 0,1063), 1.5.3.1 (HEP 0,1), 1.5.4 (HEP 0,306) e 1.5.5 (HEP 0,03) o valor de probabilidade de erro humano é igual ou maior que 0,1, com isso uma ação para redução do erro precisa ser proposta e implementada.

Identificado que a falha de um detalhe da tarefa 1.5.3.1, uso de junta nova, influencia no impacto na tarefa 1.5.3, posicionamento da peça yoke, mostrando a dependência de tratar o item 1.5.3.1 para reduzir a probabilidade de erro humano do item

1.5.3. Nenhuma tarefa obteve probabilidade igual a 1, considerada inaceitável e com necessidade se implementação de ação imediata antes de retomar as atividades.

Figura 12: Análise de impacto da quantificação



Fonte: Autores (2024)

3.4 Redução do erro

A fim de reduzir probabilidade de erro humano foram propostas as seguintes recomendações para cada evento de falha humana com HEP maior que 0,01, Tabela 9.

Tabela 9: Recomendação para redução de falha humana.

HEP	ID e HFE	Recomendação
0,1	1.5.3.1 Não usar junta de chumbo nova para vedação da conexão	Incluir no procedimento imagem e especificações da junta nova.
0,306	1.5.4 Falha no aperto do parafuso de fixação	Força a ser utilizada definida por torque, utilizando torquímetro. Realizar estudo para definição de torque adequado.
0,03	1.5.5 Falha no teste de estanqueidade do sistema	Incluir treinamento de manobras de conexão de cilindros e teste de estanqueidade.

Com as recomendações sugeridas foi realizada nova quantificação da probabilidade de erro humano, considerando tais recomendações.

Segundo ANP (2023), em sua NOTA TÉCNICA Nº 10/2023/SSO-CSO/SSO/ANP-RJ, após a indicação de recomendações para redução do erro, a

probabilidade do erro humano deve ser recalculada e está iteração continuar até atingir o nível de probabilidade aceitável, menor que 0,01 no Petro-HRA.

Nas tabelas 10, 11 e 12 temos os valores de cada um dos fatores influenciadores de desempenho dos eventos de falhas com HEP maior que 0,01, avaliando com as recomendações adicionadas.

Na Tabela 10 percebe-se como o fato de colocar mais detalhes da junta a ser utilizada no processo, como especificação de dimensões (principalmente espessura), fotos de juntas novas, fotos comparativas de alinhamento de juntas novas e velhas, influenciaram positivamente no fator de Procedimento.

Com essas informações, no momento de executar a tarefa o operador tem muito mais informação sobre o que deve ser utilizado, evitando o erro de utilizar uma junta diferente do projetado. Somente com essa simples mudança o cálculo de probabilidade do erro humano (HEP) já ficou enquadrado, ficando em 0,01.

Tabela 10: Cálculo de HEP

1.5.3.1 Não usar junta de chumbo nova para vedação da conexão		HEP = 0,01
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)		Níveis PSF
Tempo		0,1
Estresse		2
Complexidade da tarefa		1
Experiência / Treinamento		1
Procedimentos		0,5
Interface Homem-máquina		1
Atitudes de segurança, trabalho e suporte de gestão		10
Trabalho em equipe		1
Ambiente físico de trabalho		1

Na Tabela 11 a redução dos fatores Experiência/Treinamento e Procedimentos identificados deve-se ao fato da proposta de utilizar um torquímetro para realizar o aperto. Assim, fica muito mais preciso o aperto e garante que todos farão uso da mesma força para realizar a conexão. Com essa ação, não é necessária tanta experiência para realizar o aperto e o procedimento fica com informação muito mais precisa de como executar a tarefa.

Tabela 11: Cálculo de HEP

1.5.4 Falha no aperto do parafuso de fixação		HEP = 0,005
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)		Níveis PSF
Tempo		0,1
Estresse		2
Complexidade da tarefa		2
Experiência / Treinamento		5
Procedimentos		0,5
Interface Homem-máquina		1
Atitudes de segurança, trabalho e suporte de gestão		1
Trabalho em equipe		1
Ambiente físico de trabalho		1

Com essa recomendação do uso de torquímetro foi possível reduzir valores dos fatores citados, ficando com valor de HEP de 0,005, bem abaixo do limite de 0,01 estipulado. É necessário um estudo inicial do valor correto a ser utilizado no torquímetro, mas isso é facilmente possível devido a experiência prévia de vários operadores, podendo fazer várias medições para identificar o melhor valor a ser especificado.

Na Tabela 12 estão representados os fatores após a recomendação de realizar treinamentos simulados de conexão e teste de estanqueidade. Todas as semanas são realizados treinamentos do uso de kit de vazamento, mas não é realizado treinamento do processo de conexão em si. Tal treinamento tem o intuito de ser mais preventivo do que o treinamento de kit de vazamento. O fato de realizar treinamento na parte operacional, reduz o risco de ter vazamento e precisar utilizar o kit de vazamento, agindo de forma mais preventiva. Porém os dois treinamentos são importantes e devem ser realizados, podendo ser feito no mesmo dia, englobando todo o processo.

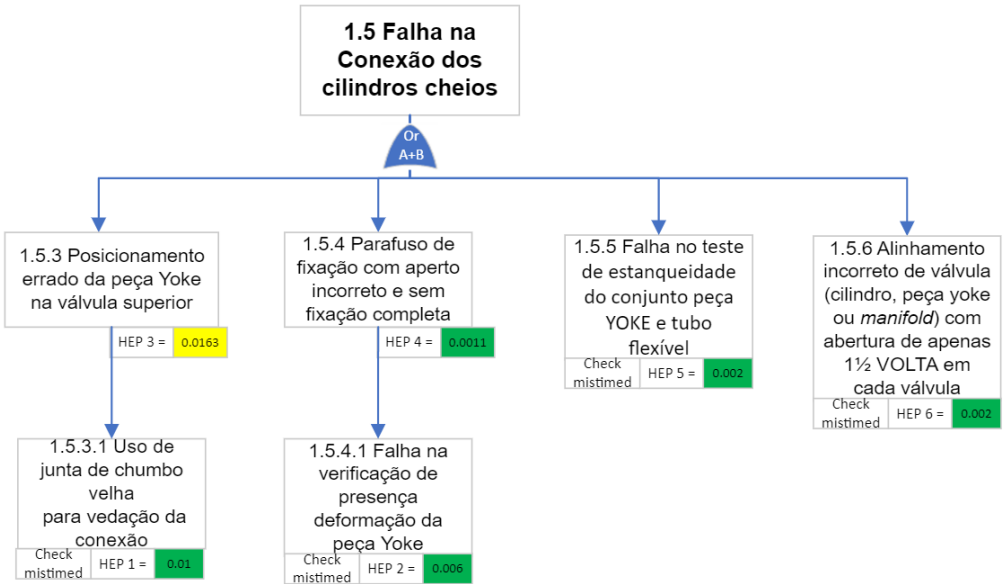
Com o treinamento sugerido o fator influenciador de Experiência/Treinamento reduziu, pois foi considerado que operadores vão saber realizar o teste de estanqueidade mais facilmente, treinando toda semana. O treinamento é um processo contínuo e trabalhoso, mas garante um HEP de 0,002, fazendo com que a falha no teste de estanqueidade fique dentro do tolerável.

Tabela 12: Cálculo de HEP.

1.5.5 Falha no teste de estanqueidade do sistema		HEP = 0,0020
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	Níveis PSF	
Tempo	0,1	
Estresse	2	
Complexidade da tarefa	0,1	
Experiência / Treinamento	1	
Procedimentos	1	
Interface Homem-máquina	1	
Atitudes de segurança, trabalho e suporte de gestão	1	
Trabalho em equipe	10	
Ambiente físico de trabalho	1	

Com os novos valores de quantificação da probabilidade de erro humano foi realizada nova análise de impacto após a redução do erro. O resultado é apresentado na árvore de falhas da figura a seguir.

Figura 13: Análise de impacto da quantificação



Fonte: Autores (2024)

Com os resultados obtidos e representados na Figura 14, podemos perceber que a probabilidade de erro humano reduziu de forma geral com as recomendações propostas e, atuando nas melhorias do procedimento de especificar e mostrar de forma clara, com

fotos dos detalhes da junta nova, usando o torquímetro com valor de aperto definido e os treinamentos da tarefa de conexão e teste de estanqueidade podemos deixar essa tarefa crítica e com grande interação humana na sua realização com probabilidade de erro humano em limites aceitáveis.

CONCLUSÃO

Os estudos de risco da unidade (HAZOP e APR) sinalizavam a necessidade de substituição da tecnologia de cloração da água potável da refinaria, remover a planta de cloro gás e implantar a tecnologia de dosagem de hipoclorito de sódio, uma solução de longo prazo e as graves consequências em caso de perda de contenção, com medidas de controle reativas, baseadas em respostas operacionais. Como esta mudança de tecnologia demanda uma avaliação econômica e gerencial, uma Análise de Confiabilidade Humana foi realizada pelo grupo com o objetivo de analisar as tarefas críticas e verificar os fatores de maior influência na probabilidade do erro humano.

Este trabalho agregou a planta de gás cloro um novo olhar operacional, mapeando os erros humanos possíveis de ocorrer durante as operações de troca de cilindros. Foram identificados que as maiores probabilidades de falhas são nos fatores influenciadores de Experiência/Treinamento e Procedimentos no uso de junta de vedação da conexão errada, no aperto incorreto do parafuso de fixação e na falha no teste de estanqueidade, que apresentaram valores de Probabilidade de Erro Humano (HEP) maiores que 0,01. As recomendações sugeridas na análise de confiabilidade humana (Tabela 9) mitigam os riscos da operação, reduzindo o impacto dos PSF de maior nível na análise para um máximo de 0,01. Com a recomendação de especificar de forma clara e com uso de imagens ilustrativas de junta nova no procedimento, o uso de torquímetro para aperto de parafuso de fixação e a realização de treinamentos semanais simulando a conexão e o teste de estanqueidade podemos reduzir e enquadrar a probabilidade de erro humano em níveis aceitáveis.

Com os resultados apresentados nesse estudo pode-se perceber que é possível reduzir a falha humana, mesmo em procedimentos com grande interação e com produto químico tão perigoso como o cloro. Após essa avaliação da tarefa de conexão de cilindro, que é a que a mais crítica podemos estender o estudo para outras tarefas do processo, como o transporte e disposição dos cilindros nos berços, que é uma tarefa realizada por empresa fornecedora, mas que pode ter consequências graves caso ocorra queda de cilindro durante movimentação.

Após concluído a quantificação através da análise de confiabilidade humana o grupo sugere realizar a abrangência da análise para outras unidades que possuam o mesmo sistema operacional de cloro gás.

Como futuros trabalhos sugerimos a realização da análise de confiabilidade humana para outras tarefas da unidade de processamento e o uso de outras metodologias como *BOW TIE* e/ou *LOPA* para uma maior robustez na análise de Segurança de Processos.

A metodologia de análise de confiabilidade humana também é útil nas investigações de acidentes. Entender por que as pessoas falham e não associar as causas básicas de um acidente ao erro humano é o próximo passo na busca do acidente zero.

REFERÊNCIAS

- ALBERTON, A. (1996). Uma metodologia auxiliar no gerenciamento de riscos e na seleção alternativa. Dissertação de mestrado UFSC.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Relatórios de investigação de incidentes, 2023, disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1>, acessado em 30/01/20224.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), NOTA TÉCNICA Nº 10/2023/SSO-CSO/SSO/ANP-RJ - Disseminação de melhores práticas da indústria em Fatores Humanos, 2023, disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/nota-tecnica-10-2023.pdf>, acessado em 24/04/2024.
- CAMPOS, A. e. (2006). Prevenção e controle de risco em máquinas, equipamentos e instalações. São Paulo: SENAC.
- Centre for Chemical Process Safety (CCPS), “CCPS Process Safety Glossary,” 2019, disponível em <https://www.aiche.org/ccps/resources/glossary>, acessado em 15/01/2024
- DEKKER, S. (2002). The field guide to human error investigations. London: Ashgate.
- DILL, A. C. (2020). Análise de confiabilidade humana em procedimento crítico de operação de flare em instalação offshore. Rio de Janeiro: Senai Cetiq.
- Energy Institute (EI), Guidance on human factors safety critical task analysis, 2020, second edition, London, disponível em <https://www.hpog.org/assets/documents/Guidance-on-human-factors-safety-critical-task-anlaysis-jk.pdf>, acessado em 03/04/2024.
- FAGUNDES, J. M. (2021). Metodologia para análise de acidentes por meio da associação da técnica CAST com a técnica TRACER. Estudo de caso, Brazilian Journal of Development, 23177.
- GENTIL, V. (2012). Corrosão. 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC.
- Health and Safety Executive (HSE), HSG 48 Reducing error and influencing behaviour, 1999, second edition, London, disponível em <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg48.pdf>, acessado em 30/12/2023.
- Institute for Energy Technoloy (IFE), The Petro-HRA Guideline, 2022, Norway disponível em <https://ife.brage.unit.no/ife-xmlui/handle/11250/2989743>, acessado em 04/04/2024.
- Ministério do Trabalho e Emprego. NR 15 – Atividades e Operações Insalubres. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022, disponível em [Norma Regulamentadora No. 15 \(NR-15\) — Ministério do Trabalho e Emprego \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/mt/pt-br/assuntos/normas-regulamentadoras/nr-15), acessado em 28/12/2023.
- MORAIS, C. (2019). Estimativa da probabilidade de erro humano: uma análise da utilização e pesquisa dos métodos de confiabilidade humana, dados disponíveis e técnicas probabilísticas. In: congresso da associação brasileira de análise de risco, segurança de processos e confiabilidade, 3, Abrisco 2019. p. 1-11.
- PALMER, P. (2004). Evaluating and assessing process hazard analyses. Journal of Hazardous, 115 (1-3), 181.

PERES, F. A. (2006). Tratamento de águas de resfriamento com peróxido de hidrogênio. Dissertação (Mestrado em Ciência dos materiais e Metalurgia) (p. Acesso em: maio 2014.). Rio de Janeiro: PUC.

PETROBRAS, N-2782 - Técnicas Aplíaveis à Análise de Riscos Industriais, 2015. disponível em <https://nortec.petrobras.com.br/nortec/frame.asp?cod=N-2782>, acessado em 22/03/2024.

REASON, J. (1991). Managing the Risks of Organizational Accidents. England: Ashgate Publishing Limited.

SAITO, G. K. (2019). Fonte: Método para Análise de Riscos e Especificação de Requisitos de Segurança em Processos Industriais com Múltiplos Modos de Operação: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/214610/PEAS03 29-D](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/214610/PEAS03%2029-D).

SANTANA, F. (2020). Análise de confiabilidade humana em tarefa crítica de procedimento operacional de resposta à emergência de vazamento de gás de um fpso. Rio de Janeiro: Senai Cetiq.

SHERPA - Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (1986) D. Embrey, “ A systematic human error reduction and prediction,” em International Meeting on Advances in Nuclear Power Systems.

The National Institute for Occupational Safety and Heath (NIOSH), Chlorine - Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH), 1994, disponível em <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/7782505.html>, acessado em 08/11/2023.

ANEXO A

Trecho / Nó	Severidade Final	Perigo / Desvio	Causa	Efeito / Consequência	Modo de Detecção (D) e Salvaguarda (S)	Sem Recomendação											
						F	Severidade				Risco						
							S	P	M	I	S	P	M	I			
cloro gás	IV - Crítica	Grande vazamento de cloro	Perda de retenção em tubulação, cilindro, conexões e/ou acessórios.	Nuvem tóxica.	(S) PRÉ-PLANO DE PREPARAÇÃO E RESPOSTA A EMERGÊNCIA (S) PRO - RESPOSTA OPERACIONAL À EMERGÊNCIA: VAZAMENTO DE CLORO (S) PRE- PROTOCOLO DE RESPOSTA A EMERGÊNCIA - SEGURANÇA OPERACIONAL VAZAMENTO DE CLORO E DIÓXIDO DE CLORO (S) RELAÇÃO E TRATAMENTO DE EQUIPAMENTOS CRÍTICOS SGI (D) DETECORES DE GÁS CLORO.	B	IV	III	II	III	M	T	T	T			

ANEXO B

	Relatório		Nº	REV 0	
	CLIENTE		FOLHA 43 DE 134		
	TÍTULO				
		RELATÓRIO DE PERIGOS E OPERACIONALIDADE (HAZOP) DA U-1246			

Atividade:	HAZOP	Relatório:
AB - UTILIDADES		
Processo:	Nº 04: Cilindros de cloro	Aprovação:
Tratamento de água	Aprovado	28/12/2019

Nó
 Nó 04: Cilindros de cloro (2 baterias de 4 cilindros), linha de 1 pol passando pelo coletor e dali linha de 2 1/2 pol até os cloradores; linhas (água clorada) para a microfiltração (água bruta e potável), TA-861, TA-8601, TA-86001, águas de mancais e câmara de mistura e pré-cloração. Vaso (solução de soda cáustica) V-8803, linha do vaso passando pelas B-887 A/B, indo para o V-884, dreno para esgoto pleoso. Pressão do cilindro (7 kgf/cm2), sistema de vácuo (400 mmHg). Temperatura ambiente.

Documentos de Referência

Desvio	Causa	Consequência	Detecção(D) ou Salvaguarda(S)	R	F	Categoria de Severidade				Categoria de Risco				Observações ou Recomendações	Cenário
						S	P	M	I	S	P	M	I		
GENÉRICO	Recebimento e troca de cilindros de cloro: falha do sistema de descarga de cilindro.	- Queda de cilindro com possibilidade de vazamento de cloro e formação de nuvem tóxica.	- Operação de descarga acompanhada por operador em tempo integral. - Detectores de cloro (no interior da casa de cloro). - Kit de cloro	S	C	IV	II	III	IV	M	T	M	M		1

Desvio	Causa	Consequência	Detecção(D) ou Salvaguarda(S)	R	F	Categoria de Severidade				Categoria de Risco				Observações ou Recomendações	Cenário
						S	P	M	I	S	P	M	I		
FLUXO MENOR	Nenhum fluxo/fluxo baixo nas linhas de cloro saindo do cilindro: Falha da reguladora de vácuo. - Entupimento de linha ou de válvula. - Ruptura ou vazamento de linha ou conexão.	- Interrupção do tratamento de água de resfriamento. - Interrupção do tratamento de água potável.	- Análise da água de resfriamento. - Análise da água potável. - Visual (rotâmetro na casa de cloro e nos cloradores).	S	D	I	I	I	I	T	T	T	T	(R001) Instalar na casa de cloro sistema de dosagem com hipoclorito de sódio em substituição do tratamento de água com o gás cloro. (R002) Providenciar a atualização dos fluxogramas de engenharia da U-1246, pois os atuais estão desatualizados. (R003) Estudar a possibilidade de trocar para suprimento de água potável pela rede externa. (R004) Tomar operacional os medidores de cloro instalados na entrada dos cloradores existentes, mas não operacionais.	2

Desvio	Causa	Consequência	Detecção(D) ou Salvaguarda(S)	R	F	Categoria de Severidade				Categoria de Risco				Observações ou Recomendações	Cenário
						S	P	M	I	S	P	M	I		
FLUXO MENOR	Nenhum fluxo/fluxo baixo nas linhas de cloro saindo do cilindro: - Falha da reguladora de vácuo. - Entupimento de linha ou de válvula. - Ruptura ou vazamento de linha ou conexão.	- Vazamento de cloro e formação de nuvem tóxica. - Detector de cloro na Casa de cloro.		S	C	IV	II	III	III	M	T	M	M	(0001)LOPA sem recomendações.	3
				C											
FLUXO MAIOR	Fluxo alto nas linhas de cloro saindo do cilindro: - Aumento da demanda de água na estação e diminuição da qualidade da água bruta (especialmente no verão e em época de estiagem).	- Arraste de cloro líquido levando a entupimento de válvulas e aumento da corrosão no sistema.	- Visual (rotâmetro na casa de cloro e nos cloradores).	S	E	II	II	I	I	M	M	M	M	(R005)O sistema de cloração da estação opera acima da vazão de projeto devido ao aumento da demanda de água e de cloro (queda da qualidade da água bruta). Estudar a possibilidade de aumentar a capacidade de cloração ou substituir por sistema alternativo com maior capacidade de processamento.	4
				C	E	II	II	I	I	M	M	M	M		
FLUXO REVERSO	Não aplicável													(0005)Não aplicável	5
CONTAMINAÇÃO	Não aplicável													(0006)Não aplicável	6
TEMPERATURA MENOR	Não aplicável													(0007)- Já analisado no desvio vazão alta no presente nó.	7
TEMPERATURA MAIOR	Não aplicável													(0008)Não aplicável	8

APÊNDICE A

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA antes da redução			
Instalação			
Data	09/03/2024		
ID e descrição do evento	1.3.2 Não remover trabalhadores não envolvidos do local		
Cenário do evento de falha	Ausência de isolamento de área e notificação para pessoas terceiras a atividade que não devem adentrar ao local em operação		
Analistas	Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano		
Cálculo da Probabilidade de	0,0050		
Fatores influenciadores de	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
1 Threat stress	High negative	25	Sem situações de estresse
	Low negative	5	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	
1 Task complexity	Very high negative	50	Atividade sem complexidade
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
1 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	Atividade simples e com treinamento operacional realizado
	Very high negative	50	
	Moderate negative	15	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
5 Procedures	Very high negative	50	Ausência do item sobre o isolamento de área e identificação de realização da atividade em campo.
	High negative	20	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Human-machine interface	Extremely high negative	HEP=1	Sem máquina nessa atividade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Attitudes to Safety, Work	Very high negative	50	Técnico de Segurança monitora a direção do vento durante a atividade e posiciona a equipe envolvida em um local seguro
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
	Very low negative	2	
1 Teamwork	Very high negative	50	Atividade individual com presença de um observador com foco em resgate e segurança e supervisor acompanhado a operação.
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1	Atividade realizada em local coberto
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA antes da redução				
Instalação				
Data	09/03/2024			
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.3 Falha no posicionamento da peça Yoke na válvula superior			
Cenário do evento de falha humana	Encaixe da peça em posição errada com risco de corrosão do sistema e perda de contenção primária			
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano			
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,0063			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF	
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1		
2 Threat stress	High negative	25	Utilização de EPIs (Pesados, presença de máscara que dificulta a respiração e a visão do colaborador)	
	Low negative	5		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		
1 Task complexity	Very high negative	50	Atividade manual, colaborador utilizando luvas e necessidade de conexão em local adequado	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
5 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	Colaboradores treinados, simulados de operação realizados semanalmente (sábados)	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	15		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
5 Procedures	Not applicable	1	Procedimentos bem descrito mas não existem imagens da posição correta	
	Very high negative	50		
	High negative	20		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
0,5 Human-machine interface (HMI)	Low positive	0,5	Máquina - Peça Yoke é um equipamento simples de conexão com apenas uma posição de conexão	
	Not applicable	1		
	Extremely high negative	HEP=1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
0,5 Attitudes to Safety, Work and Management	Low positive	0,5	Não houve abertura de cilindro de contenção, sem riscos no momento. Atividade realizada em dupla	
	Not applicable	1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
0,5 Teamwork	Low positive	0,5	Atividade individual com presença de um observador com foco em resgate e segurança e supervisor acompanhado a operação.	
	Not applicable	1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
1 Physical working environment	Low positive	0,5	Atividade realizada em local coberto mas com iluminação pouco favorável e pequeno espaço para movimentação	
	Not applicable	1		
	Extremely high negative	HEP=1		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA antes da redução			
Instalação			
Data	09/03/2024		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.3.1 Não usar junta de chumbo nova para vedação da conexão		
Cenário do evento de falha humana	Não utilizar uma junta nova na operação de troca		
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano		
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,1000		
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
Q.1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	Utilização de EPIs (Pesados, presença de máscara que dificulta a respiração e a visão
2 Threat stress	High negative	25	
	Low negative	5	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	Atividade manual, colaborador utilizando luva
1 Task complexity	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	Atividade necessita de atenção e organização para evitar mistura das juntas.
1 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	
	Very high negative	50	
	Moderate negative	15	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	Procedimentos bem descrito mas não existem imagens da junta nova e da antiga. Ausência de especificações da junta nova.
	Not applicable	1	
5 Procedures	Very high negative	50	
	High negative	20	
	Low negative	5	
	Nominal	1	Operação manual, colaborador utilizando EPIs que diminuem sua sensibilidade e visão.
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Human-machine interface (HMI)	Extremely high negative	HEP=1	
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	Necessidade de organização e gerenciamento de unidades de substituição para
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
10 Attitudes to Safety, Work and Management	Very high negative	50	Atividade individual com presença de um observador com foco em resgate e segurança e supervisor
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Teamwork	Very high negative	50	Atividade realizada em local coberto mas com iluminação pouco favorável e
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	Atividade realizada em local coberto mas com iluminação pouco favorável e
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA antes da redução				
Instalação				
Data	09/03/2024			
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.4 Falha no aperto do parafuso de fixação			
Cenário do evento de falha humana	Operação com pouca força / incompleta - possibilidade de desconexão e vazamento Encaixe desalinhado - possibilidade de desconexão e vazamento			
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano			
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,3000			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplificador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF	
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1	Utilização de EPIs (Pesados, presença de máscara que dificulta a respiração e a visão do	
2 Threat stress	High negative	25		
	Low negative	5		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Not applicable	1	Atividade manual, colaborador utilizando luva, Possibilidade de erros durante o aperto, Risco de perda de contenção	
2 Task complexity	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1	Atividade necessita de muita atenção, posição correta, força a ser utilizada, atenção.	
15 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	15		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1	Procedimentos bem descrito mas não existem imagens da junta nova e da antiga. Ausência de especificações da junta nova	
	Not applicable	1		
5 Procedures	Very high negative	50		
	High negative	20		
	Low negative	5		
	Nominal	1	Operação manual, colaborador utilizando EPIs que diminuem sua sensibilidade e visão.	
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
1 Human-machine interface (HMI)	Extremely high negative	HEP=1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10	Atenção plena na atividade	
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
1 Attitudes to Safety, Work and Management	Very high negative	50	Atividade individual com presença de um observador com foco em resgate e segurança e supervisor	
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
1 Teamwork	Very high negative	50	Atividade realizada em local coberto mas com iluminação pouco favorável e	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1	Atividade realizada em local coberto mas com iluminação pouco favorável e	
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA antes da redução				
Instalação				
Data	09/03/2024			
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.4.1 Falha ao observar se está havendo deformação da peça Yoke			
Cenário do evento de falha humana	Erro durante a etapa de verificação (omissão / errada em objeto certo)			
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano			
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,0060			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF	
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1		
2 Threat stress	High negative	25	Utilização de EPIs (Pesados, presença de máscara que dificulta a	
	Low negative	5		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		
0,1 Task complexity	Very high negative	50	Atividade sem complexidade - verificação	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1		
15 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	necessita de muita atenção, posição correta, força a ser utilizada, procedimento bem descrito mas não existem imagens explicando o que seria uma deformação	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	15		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
1 Procedures	Not applicable	1	Operação manual, colaborador utilizando EPIs que diminuem sua	
	Very high negative	50		
	High negative	20		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
1 Human-machine interface (HMI)	Not applicable	1	Atenção plena na atividade	
	Extremely high negative	HEP=1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
1 Attitudes to Safety, Work and Management	Not applicable	1	Atividade individual com presença de um observador com foco em	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
2 Teamwork	Very high negative	50	Atividade realizada em local coberto mas com	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA antes da redução				
Instalação				
Data	09/03/2024			
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.5 Falha no teste de estanqueidade do sistema			
Cenário do evento de falha humana	Não realizar o teste de estanqueidade e verificação de vazamentos			
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano			
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,0300			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF	
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente e para a realização da atividade	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1	Utilização de EPIs (Pesados)	
2 Threat stress	High negative	25	presença de atividade e sem complexidade - Jogo de válvulas manuais	
	Low negative	5		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		
0,1 Task complexity	Very high negative	50	indicador para vazamentos - Hidróxido de Amônio	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1	Procedimentos bem descritos	
15 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	15		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1	Operação manual, colaborador utilizando o EPIs	
	Not applicable	1		
1 Procedures	Very high negative	50		
	High negative	20		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1	Atenção plena na atividade	
1 Human-machine interface (HMI)	Extremely high negative	HEP=1		
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1	Atividade com risco de perda de contenção e	
1 Attitudes to Safety, Work and Management	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
10 Teamwork	Very high negative	50	Atividade realizada em local	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1	Atividade realizada em local	
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA antes da redução				
Instalação				
Data	09/03/2024			
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.6 Falha no alinhamento de válvulas (cilindro, peça yoke e manifold)			
Cenário do evento de falha humana	Em caso de falhas/omissão nas etapas anteriores o vazamento ocorrerá nesse momento Operação na direção errada durante etapa de abertura de válvulas			
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano			
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,0020			
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundame ntação: razões específic as para a seleção do nível PSF	
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficient e para a realizaçã o da atividade	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1		
2 Threat stress	High negative	25	Utilizaçã o de EPIs (Pesados , presença Atividade e sem complex ade - Jogo de válvula manual	
	Low negative	5		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		
0,1 Task complexity	Very high negative	50	válvula manual, sem necessid ade de experiên cia	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1		
1 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	Procedim entos bem desrito	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	15		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Moderate positive	0,1		
	Not applicable	1		
1 Procedures	Very high negative	50	Operação manual, colabora dor utilizand o EPIs	
	High negative	20		
	Low negative	5		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
1 Human-machine interface (HMI)	Extremely high negative	HEP=1	Atenção plena na atividade	
	Very high negative	50		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
1 Attitudes to Safety, Work and Management	Very high negative	50	Atividade e com risco de perda de contençã o e	
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
10 Teamwork	Very high negative	50	Atividade e realizada em local	
	Moderate negative	10		
	Very low negative	2		
	Nominal	1		
	Low positive	0,5		
	Not applicable	1		
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1		
	Moderate negative	10		
	Nominal	1		
	Not applicable	1		

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA após recomendações			
Instalação			
Data	10/03/2024		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.3.1 Não usar junta de chumbo nova para vedação da conexão		
Cenário do evento de falha humana	Não utilizar uma junta nova na operação de troca		
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano		
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,0100		
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação : razões específicas para a seleção do nível PSF
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
2 Threat stress	High negative	25	Utilização de EPIs (Pesados, presença de máscara que dificulta a respiração e a
	Low negative	5	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	
1 Task complexity	Very high negative	50	Atividade manual, colaborador utilizando luva
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
1 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	Atividade necessita de atenção e organização para evitar mistura das juntas.
	Very high negative	50	
	Moderate negative	15	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
0,5 Procedures	Very high negative	50	Induir no procedimento imagem e especificações da junta nova. Ausência de especificações
	High negative	20	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Human-machine interface (HMI)	Extremely high negative	HEP=1	Operação manual, colaborador utilizando EPIs que diminuem sua
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
10 Attitudes to Safety, Work and Management	Very high negative	50	Necessidade de organização e gerenciamento de unidades de substituição
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Teamwork	Very high negative	50	Atividade individual com presença de um observador com foco em resgate e segurança e
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1	Atividade realizada em local coberto mas com
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA após recomendações			
Instalação			
Data	10/03/2024		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.4 Falha no aperto do parafuso de fixação		
Cenário do evento de falha humana	Operação com pouca força / incompleta - possibilidade de desconexão e vazamento Encaixe desalinhado - possibilidade de desconexão e vazamento		
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano		
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,0050		
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
2 Threat stress	High negative	25	Utilização de EPIS (Pesados, presença de máscara que dificulta a respiração e a
	Low negative	5	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	
2 Task complexity	Very high negative	50	Atividade manual, colaborador utilizando luva, Possibilidade de erros durante o aperto, Risco de perda de contenção primária
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
5 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	Força a ser utilizada definida por torque, utilizando torquímetro.
	Very high negative	50	
	Moderate negative	15	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
0,5 Procedures	Extremely high negative	HEP=1	Procedimentos bem descrito mas não existem valor de torque. Adicionar valor de torque Ausência de
	Very high negative	50	
	High negative	20	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
1 Human-machine interface (HMI)	Extremely high negative	HEP=1	Operação manual, colaborador utilizando EPIS que diminuem sua sensibilidade e visão.
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
0,5 Attitudes to Safety, Work and Management	Very high negative	50	Uso de torquímetro para realizar aperto. Necessidade de estudo e definição
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
	Not applicable	1	
1 Teamwork	Very high negative	50	Atividade individual com presença de um observador com foco em resgate e segurança e
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
1 Physical working environment	Extremely high negative	HEP=1	Atividade realizada em local coberto mas com iluminação pouco
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	

Tabela de resumo dos PSFs de Petro-HRA após recomendações			
Instalação			
Data	10/03/2024		
ID e descrição do evento de falha humana (HFE)	1.5.5 Falha no teste de estanqueidade do sistema		
Cenário do evento de falha humana	Não realizar o teste de estanqueidade e verificação de vazamentos		
Analistas	Débora, Francisco Thiago, Renata, Diego, Rômulo, Jéssica e Delano		
Cálculo da Probabilidade de Erro Humano (HEP)	0,0020		
Fatores influenciadores de Desempenho (PSFs)	níveis PSF	Multiplicador	Fundamentação: razões específicas para a seleção do nível PSF
0,1 Available time	Extremely high negative	HEP=1	Tempo suficiente para a realização da atividade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
2 Threat stress	High negative	25	Utilização de EPIs (Pesados, presença de máscara que dificulta a respiração e a visão do colaborador)
	Low negative	5	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	
0,1 Task complexity	Very high negative	50	Atividade sem complexidade - Jogo de válvulas manuais
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
	Not applicable	1	
1 Experience/training	Extremely high negative	HEP=1	Incluir treinamento de manobras de conexão de cilindros e teste de estanqueidade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	15	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Moderate positive	0,1	
1 Procedures	Not applicable	1	Procedimentos bem descrito
	Very high negative	50	
	High negative	20	
	Low negative	5	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
1 Human-machine interface (HMI)	Not applicable	1	Operação manual, colaborador utilizando EPIs que diminuam sua sensibilidade e visão.
	Extremely high negative	HEP=1	
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
1 Attitudes to Safety, Work and Management	Not applicable	1	Atenção plena na atividade
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
10 Teamwork	Not applicable	1	Atividade com risco de perda de contenção e necessário ações de emergência e resposta de
	Very high negative	50	
	Moderate negative	10	
	Very low negative	2	
	Nominal	1	
	Low positive	0,5	
1 Physical working environment	Not applicable	1	Atividade realizada em local coberto mas com iluminação pouco favorável e
	Extremely high negative	HEP=1	
	Moderate negative	10	
	Nominal	1	
	Not applicable	1	