



O Uso de Nitrogênio Para Inertização de Vasos de Pressão

Amanda Aparecida, Claudiney Gomes, Kelvin Rezende, Rarisson Gonçalves

12amandaalmeida@gmail.com

claudineygomes45@gmail.com

kelvin@dutotecmg.com.br

rarisson13.assis@gmail.com

Professora orientadora: Juliano Mazute

Coordenação de curso de Engenharia Mecânica

Resumo

A inertização de vasos de pressão é um processo essencial para garantir a segurança em processos industriais que requerem o armazenamento e o manuseio de fluidos a altas pressões. Vasos de pressão, frequentemente usados nas indústrias química, petroquímica e de alimentos, estão constantemente expostos a riscos significativos, como explosões, corrosão e reações químicas arriscadas. Neste contexto, a utilização de gases inertes como o nitrogênio para substituir atmosferas reativas ou inflamáveis se apresenta como uma tática eficaz para reduzir esses riscos. A inertização, além de oferecer proteção, também oferece benefícios significativos para a eficiência operacional. Ao ajustar as condições internas dos vasos, conseguimos prolongar a vida útil dos equipamentos. O propósito do processo de inertização é estabelecer um ambiente inerte. Estabelecer um ambiente seguro dentro de recipientes é essencial. O propósito desta pesquisa é evidenciar que o uso de nitrogênio como gás inerte em vasos de pressão pode reduzir significativamente a chance de explosões e reações químicas na indústria. A efetividade do processo de inertização depende de elementos de controle, como a pureza do nitrogênio, a pressão aplicada e o tempo de funcionamento. A aplicação adequada de nitrogênio em um sistema sob pressão reduz a quantidade de oxigênio para níveis seguros, garantindo a estabilidade do processo e aumentando a segurança operacional.

Palavras-chave: Inertização de vasos de pressão. Inertização usando nitrogênio. Segurança.

1. INTRODUÇÃO

No momento, as indústrias estão se expandindo rapidamente e grande parte desse progresso é resultado dos progressos tecnológicos. Estes progressos são particularmente notáveis na indústria química, devido ao seu crescimento notável. Processos progressivamente mais complexos, tais como operações sob altas pressões e com substâncias químicas altamente reativas, comuns neste campo, são frutos desse avanço tecnológico. O avanço de processos mais complexos requer uma tecnologia avançada. Segurança mais intrincada. No entanto, muitos indivíduos acreditam que o avanço e a implementação de tecnologias de segurança representam, na realidade, um obstáculo ao desenvolvimento da indústria química. A realidade é que, hoje em dia, a segurança é tão crucial quanto o próprio processo. Ademais, evoluiu para uma área científica altamente técnica, com teorias e práticas intrincadas. Este estudo aborda a aplicação de nitrogênio na inertização de vasos de pressão, um processo crucial em diversos setores industriais, especialmente aqueles que lidam com substâncias inflamáveis ou reativas. A inertização consiste em substituir o ar presente nos vasos por um gás inerte, como o nitrogênio, a fim de prevenir reações químicas danosas que possam levar a explosões, contaminação ou manipulação do produto. Empregar o nitrogênio (N) em uma operação de manutenção industrial. Analisando suas propriedades físicas e comportamento, elaborando técnicas para a

utilização deste gás na inertização de vasos de pressão. Isso reduz a necessidade de um recurso natural, a água, e ajuda na conservação do meio ambiente.(Bersot et al., 2010)

Utilizar o Nitrogênio (N), em um processo de manutenção industrial, estudando suas características físicas e seu comportamento, desenvolvendo métodos de aplicação deste gás para inertização de vasos de pressão, eliminando assim o uso de um recurso natural, (água), e contribuindo com a preservação do meio ambiente.(Santos, 2022)

Demonstrar que hoje temos recursos disponíveis e equipamentos de fácil acesso no mercado, para que seja exequível a realização do processo sem deixar de lado a segurança das pessoas envolvidas conhecendo quais requisitos um profissional precisa possuir para que o mesmo seja feito de forma segura e eficaz. Trazer uma alternativa financeira positiva, substituindo os métodos de inertização convencionais demonstrando em números os resultados. (TROVATI, 2006).

2. REFERENCIAL

2.1 Vasos de pressões

Nas indústrias e edificações os vasos de pressão são bastante utilizados tanto quanto líquidos ou gases sob pressão e até também ação de vácuo. Podendo ser utilizados em processos industriais para armazenamento de gases ou de armazenamento de GLP em prédios e condôminos. Atualmente existe diversas formas e utilizações para os vasos de pressões. Sendo de extrema importância ter bastante cuidado no momento de fazer utilização dos mesmos, pois mal projetado ou utilizado pode levar a ter explosões e graves acidentes. Deve-se ter um estudo muito sólido para projetar e utilizar vasos de pressões nas suas diversas finalidades. (Rodrigo José da Silva, 2018)

A inspeção em vasos de pressão é crucial e de extrema importância não segurança dos trabalhadores e ao meio ambiente. A norma NR 13 estabelece que deve ser seguido alguns procedimentos de segurança para a integridade estrutural dos vasos de pressões. Devido os vasos de pressões serem equipamentos que possuem uma pressão muito grande, é de extrema importante manter e seguir todos os procedimentos de segurança para que não venha ter nenhuns acidentes ou explosões. (Gualberto et al., 2023)

Os vasos de pressão são formados pela seguinte forma: Uma parede de pressão simples ou múltipla que são variadas pelos formatos pelas dimensões e aplicações. As partes que compõem a parede de pressão são o casco e tampos de fechamento. E há também as partes que não são sujeitas à pressão, como por exemplo os suportes. No geral os vasos de pressão são utilizados para acumulação de gases e líquidos para processos, armazenamento de gases e processamento de líquidos e gases. (Bautitz, 2022)

Os métodos utilizados para inertização de vasos de pressões são bastante importantes e cruciais para que não venha acontecer acidentes ou explosões nos vasos de pressões, para que o interior dos vasos venha ser acessível para ter alguma ação seja manutenção, vistoria ou algum processo é necessário inertizar o mesmo para que venha ter um ambiente seguro para seguir com os procedimentos. (Sardenberg Bersot Joana Ribas Penello et al., 2010)

2.2 Manutenção preventiva em vasos de pressão

A manutenção preventiva é essencial para garantir que os vasos de pressão operem com segurança e eficiência por um período prolongado. Ações rotineiras, como inspeções detalhadas e limpeza cuidadosa, ajudam a prevenir problemas e manter o desempenho ótimo. Uma análise minuciosa do equipamento permite identificar necessidades específicas e aplicar técnicas de manutenção personalizadas, incluindo verificação regular de sistemas críticos, avaliação de

desgaste e corrosão, ajustes precisos e calibrações, e substituição de componentes desgastados, garantindo que os vasos de pressão operem dentro dos parâmetros de segurança e eficiência, reduzindo o risco de falhas e prolongando sua vida útil.(SANTOS, 2018)

Existem vários tipos de manutenção para equipamentos industriais. A manutenção preventiva e preditiva é realizada para antecipar e evitar problemas, sendo significativamente mais econômicas do que a manutenção corretiva, que é aplicada após a ocorrência de falhas. A manutenção preventiva visa manter as máquinas operando em condições ótimas, evitando desgaste excessivo e problemas com componentes próximos ao fim da vida útil.(Humanidades et al., 2023)

Para assegurar a estabilidade e confiabilidade dos vasos de pressão, a manutenção preventiva desempenha um papel fundamental. Uma abordagem proativa, que envolve inspeções periódicas, avaliações de desempenho, análise de deterioração, verificação de sistemas críticos e substituição de peças gastas, permite antecipar e prevenir falhas, minimizando o risco de colapsos catastróficos e garantindo o cumprimento de normas técnicas. Além disso, essa estratégia preventiva evita interrupções inesperadas durante operações críticas, reduzindo despesas com reparos de emergência e otimizando a disponibilidade dos equipamentos. Ao contrário da manutenção corretiva, que pode ser mais onerosa devido à necessidade de reparos urgentes, substituição de componentes danificados e possíveis danos estruturais, a manutenção preventiva assegura uma operação segura, reduz o risco de incidentes e protege o meio ambiente.(SANTOS, 2018)

2.3 NR 13 e a segurança nos vasos de pressões

A Norma Regulamentadora n.º 13, publicada inicialmente em 8 de junho de 1978 pelo Ministério do Trabalho, foi atualizada pela Secretaria Especial de Previdência e Trabalho do Ministério da Economia em 30 de julho de 2019, por meio da Portaria n.º 915. Esta norma estabelece padrões mínimos para garantir a integridade estrutural de vasos de pressão, abordando instalação, inspeção, operação e manutenção, com o objetivo de proteger a segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos.(BRASIL, 2019)

A Norma Regulamentadora n.º 13 estabelece que vasos de pressão devem passar por inspeções de segurança em três momentos cruciais: após instalação, periodicamente e em situações excepcionais, como alterações no processo ou reparos. Essas inspeções devem ser conduzidas por profissionais qualificados, especificamente engenheiros com competência legal e conhecimento em projeto, construção, operação e manutenção de vasos de pressão, garantindo assim a segurança e integridade dos equipamentos e protegendo os trabalhadores e o meio ambiente.(Conceição, 2023)

As instalações de vasos de pressão devem garantir acesso fácil e visibilidade clara a componentes essenciais, como drenos, respiros, bocas de visitas e indicadores de nível, pressão e temperatura. Além disso, cada vaso de pressão deve ter uma placa de identificação permanente e visível, contendo informações cruciais sobre o fabricante, número de série, ano de fabricação, pressão máxima admitida, resultado do teste hidrostático e código de projeto, assegurando assim a segurança e rastreabilidade dos equipamentos.(BRASIL, 2019)

2.4 Vasos de pressão contendo GLP

A Norma Regulamentadora n.º 13 (NR-13) estabelece diretrizes rigorosas para garantir a segurança dos trabalhadores em instalações de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), abordando classificação das caldeiras a gás, especificações obrigatórias, identificação, documentação, procedimentos de instalação, segurança operacional e requisitos de inspeção. A implementação dessas medidas assegura a operação segura do GLP, desde que os operadores possuam

qualificação técnica adequada e conhecimento aprofundado das normas relacionadas à instalação, manutenção e operação dos equipamentos, garantindo assim a continuidade da segurança. (Schultz, 2022)

As caldeiras GLP exigem atenção especial à segurança no trabalho, pois um problema não apenas causa paradas para manutenção, mas também pode interromper toda a produção. Além disso, equipamentos mal conservados, operados incorretamente ou com falhas nos sistemas de segurança podem apresentar riscos catastróficos, incluindo explosões capazes de destruir parcial ou totalmente uma fábrica, destacando a importância de manutenção preventiva e procedimentos operacionais rigorosos para garantir a integridade dos equipamentos e a segurança dos trabalhadores. (Schultz, 2022)

O manuseio de GLP exige extremo cuidado e segurança para prevenir acidentes e incidentes imprevisíveis, que podem ter consequências desastrosas. Portanto, é fundamental que empresas que utilizam esses equipamentos ofereçam treinamentos regulares aos funcionários, seguindo normas rigorosas e estabelecendo procedimentos de segurança para garantir operações seguras. (Schultz, 2022)

3. METODOLOGIA

O estudo de inertização de vasos de pressão que armazenam GLP, (Gás Liquefeito de Petróleo), utilizando gases nobres, a fim de possibilitar o acesso de pessoas no interior destes equipamentos para realização de trabalhos, garantindo a segurança destes profissionais, minimizando esforços nos equipamentos, reduzindo o consumo de recursos naturais, a geração de efluentes e os custos com a destinação destes, contribuindo também com a preservação do meio ambiente.

3.2 Variáveis.

Sabemos que toda e qualquer atividade em áreas industriais, legalmente deve ser realizada por profissionais qualificados e capacitados. Buscamos entender quem são esses profissionais, a quais treinamentos eles são submetidos, e também quais exames médicos devem ser realizados para comprovação da aptidão física necessária para realização destes trabalhos.

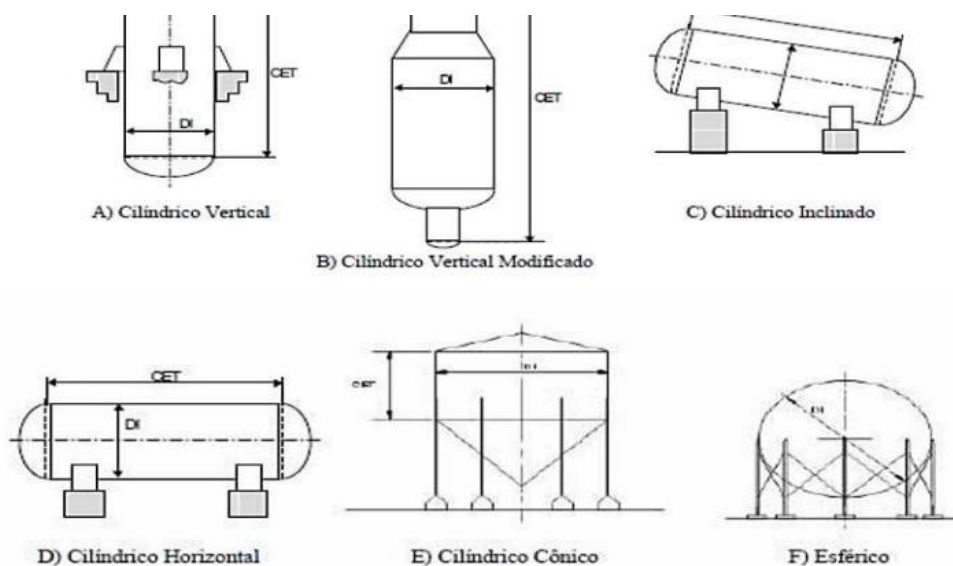
A NR 13 do MTE, tem algumas exigências para a operação de caldeiras e vasos de pressão, uma delas é a inspeção interna do equipamento que deve ser realizada periodicamente a fim de atestar a sua aptidão operacional. Para possibilitar a entrada e permanência de pessoas no interior destes equipamentos, após a retirada do produto, é realizado um processo de inertização, que é a remoção do gás residual para tornar a atmosfera interna do equipamento segura para a respiração. Geralmente este processo é feito preenchendo o equipamento com água, gerando não só uma sobrecarga na estrutura e fundação deste, mas também criando um passivo ambiental, uma vez que essa água é contaminada após o processo. Nossa proposta é trazer uma alternativa para este problema utilizando o nitrogênio ao invés da água.

3.3 Amostra

Um vaso de pressão é definido como uma estrutura selada que contém gases ou líquidos sob uma pressão substancialmente maior do que a pressão atmosférica. Para assegurar a segurança e eficiência, é essencial que esses recipientes sejam projetados para resistir a pressões elevadas, seguindo normas técnicas rigorosas, como o Código de Caldeiras e Vasos de Pressão da ASME (American Society of Mechanical Engineers). Essas diretrizes estabelecem padrões para a produção, inspeção e utilização desse equipamento específico. (ASME, 2007)

A Figura 1, você pode conferir os vasos de pressão comumente utilizados em ambientes industriais. O desenhista estabelece as especificações para as dimensões do vaso de pressão e seus componentes. Na fase inicial, são selecionadas as informações pertinentes e estabelecidas as exigências do projeto. A posição do vaso de pressão pode variar entre vertical, horizontal ou inclinada. A finalidade ou tipo de serviço que você oferece é crucial para definir a sua posição. Comumente, os vasos verticais são empregados em situações em que o movimento de um fluido é influenciado pela gravidade, como por exemplo em colunas de fracionamento. Os recipientes verticais são os mais comuns e amplamente empregados para armazenamento. Em determinadas situações, eles também funcionam como mecanismos de resfriamento.

Figura 1 – Representação dos vasos de pressão mais utilizados.



(Telles, 2007)

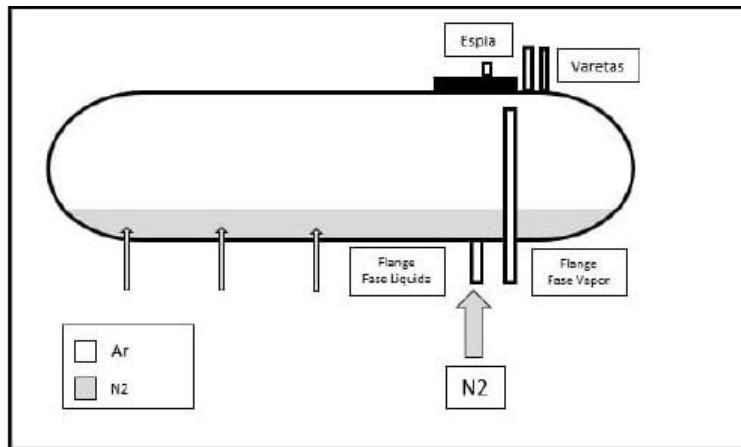
A variedade de fluidos que podem ser armazenados nos vasos é extensa, abrangendo praticamente todos os tipos de fluidos industriais. No vaso de pressão, o fluido pode existir tanto na fase gasosa quanto na líquida. O fluido pode surgir de uma combinação entre líquidos e gases, ou mesmo ser alterado em sua estrutura, por exemplo, durante o processo nas caldeiras. Em certas situações, os recipientes sob pressão podem ser expostos à conjunção de altas pressões e temperaturas, contendo fluidos facilmente inflamáveis ou materiais radioativos em seu interior. Dessa forma, é essencial que os vasos de pressão sejam adequadamente dimensionados para funcionarem dentro dos parâmetros estabelecidos, garantindo operações seguras e livres de acidentes. (Telles, 2007)

Os vasos horizontais têm formato cilíndrico e na maioria das vezes são sustentados por selas soldado ao casco. Além de suportar cargas de pressão, o vaso também atua como uma estrutura tubular, gerando momentos e forças de cisalhamento devido às forças de reação dos apoios. Você pode obter três tipos diferentes de suporte:

- Tipo 1 – Apoiados simetricamente em duas selas;
- Tipo 2 - apoiados simetricamente em três ou mais selas equidistantes;
- Tipo 3 - Ancorados em duas ou mais selas dispostas de forma aleatória.

Como mencionado anteriormente, vasos de pressão horizontais serão estudados apoiado simetricamente em duas selas, conforme Figura 2

Figura 2 - Vaso de pressão bi apoiado.



Fonte: AUTOR,2024

3.4 Instrumentos de medições e técnicas

Para iniciar o processo de inertização em vasos de pressões deve se apoderar de diversos instrumentos, ferramentas e técnicas para utilizar no processo de inertização. Medidores de Pressão: Manômetros e transdutores de pressão, são utilizados para monitorar a pressão interna do vaso durante o processo de inertização.

Medidores de Fluxo de Nitrogênio: Flow meters, para controlar o fluxo de nitrogênio que entra no vaso.

Detectores de Gás: Sensores de oxigênio e explosímetros, utilizados para medir a concentração de oxigênio residual e garantir que o ambiente interno atinja uma condição segura.

Termômetros Industriais: Termômetros ou sondas de temperatura para monitorar a variação de temperatura no vaso, pois mudanças bruscas podem influenciar a pressão e a segurança do processo. Preparação do Vaso de Pressão: Verificar o estado físico do vaso de pressão, incluindo válvulas, conexões e indicadores de pressão.

Isolamento do Vaso: Fechar todas as entradas e saídas não utilizadas, isolando a unidade para que o nitrogênio permaneça contido. Isso inclui a verificação de válvulas de entrada e de segurança. Monitoramento inicial de Oxigênio: Utilizar detectores de gás para medir a concentração de oxigênio residual antes do início do processo. Idealmente, esta concentração deve estar entre 19,5% e 21% antes do início da purga. Purga de Nitrogênio: Injeção Inicial de Nitrogênio: Iniciar a injeção de nitrogênio por meio do sistema de entrada. Utilizar um medidor de fluxo para controlar o volume de nitrogênio injetado no sistema. Controle da Pressão Interna: A pressão interna deve ser monitorada constantemente para que não ultrapasse os limites seguros especificados para o vaso.

Saída de Mistura de Gases: O nitrogênio injetado deslocará o oxigênio e outros gases para fora do vaso. Monitorar a concentração de oxigênio na saída do sistema até que atinja o nível especificado (geralmente abaixo de 1% para a maioria dos processos de inertização). Ciclos de Pressurização e Depressurização realizar ciclos de pressurização e depressurização, alternando entre pressurizar o vaso com nitrogênio e liberar os gases de forma controlada até alcançar o nível seguro de oxigênio residual.

Durante esses ciclos, utilizar manômetros para medir e registrar a pressão interna a cada ciclo, garantindo que o vaso não ultrapasse os limites especificados. Monitoramento Contínuo de Oxigênio: Continuar monitorando a concentração de oxigênio para garantir que permaneça abaixo do limite de segurança. Medição da Pressão: Registrar a pressão ao longo do processo, utilizando transdutores conectados a um sistema de aquisição de dados, permitindo acompanhar as variações em tempo real.

Monitoramento de Temperatura: Controlar a temperatura interna do vaso, pois variações podem alterar a pressão interna, podendo comprometer a segurança. Avaliação Final da Concentração de Oxigênio: Após o ciclo de inertização, realizar uma leitura final de oxigênio para verificar se o nível residual atende aos requisitos de segurança do processo. Liberação do Vaso de Pressão: Confirmar a segurança e estabilidade do ambiente interno do vaso antes de liberar para operação ou manutenção. Registrar todos os dados de medição em relatórios de inspeção, indicando concentrações finais de oxigênio, temperatura e pressão.

Registro e Documentação dos Dados: Relatórios de Inspeção: Registrar as medições realizadas em cada etapa, incluindo leituras iniciais e finais de concentração de oxigênio, pressão e temperatura. Análise de Dados: Analisar os dados de pressão e concentração de oxigênio ao longo dos ciclos para garantir que o processo de inertização foi eficiente. Manutenção dos Instrumentos: Documentar a calibração e o estado dos instrumentos utilizados para garantir a confiabilidade dos resultados.

3.4 Implementação da Manutenção preventiva

Definição dos Instrumentos críticos é identificar os instrumentos essenciais para o processo de inertização, como manômetros, medidores de fluxo, detectores de gás (principalmente sensores de oxigênio), e termômetros. Classificar esses instrumentos de acordo com sua criticidade para a operação, priorizando a manutenção daqueles que podem causar falhas graves no processo caso apresentem erros (ex.: sensores de oxigênio e manômetros).

Estabelecimento de Cronograma: Definir uma periodicidade de manutenção para cada instrumento, com base em recomendações do fabricante, incluir as instruções de manutenção e calibração dos manuais de cada equipamento. Normas aplicáveis: Seguir normas nacionais e internacionais, como ISO 17025 e ISO 9001, que regulam práticas de calibração e manutenção de equipamentos de medição. Histórico de uso: Frequência de uso e condições do ambiente operacional. Equipamentos expostos a condições severas podem necessitar de manutenção mais frequente.

3.5 Procedimentos de Manutenção Preventiva para Cada Instrumento

Manômetros e Transdutores de Pressão: Calibração Regular: Verificar a precisão dos manômetros comparando-os com um padrão de pressão conhecido. Realizar ajustes conforme necessário para manter a exatidão. Inspeção Visual: Checar se há sinais de desgaste, corrosão ou dano físico. Garantir que as conexões e vedações estejam intactas para evitar vazamentos. Verificação de Variação de Leitura: Testar a consistência das leituras em diferentes pontos de pressão para garantir que o manômetro ou transdutor funcione corretamente em toda a faixa de operação.

Medidores de Fluxo de Nitrogênio: Calibração e Ajuste: Submeter os medidores a uma calibração com gases de padrão industrial. Verificar a precisão e recalibrar se as leituras estiverem fora da faixa de tolerância. Limpeza: Inspeccionar e limpar regularmente as partes internas, especialmente se o medidor for exposto a partículas que possam obstruir o fluxo e interferir nas medições. Inspeção de Sensor de Fluxo: Verificar os sensores para garantir que

estejam funcionando corretamente e que o sinal seja transmitido de forma precisa ao sistema de monitoramento.

Detectores de Gás e Sensores de Oxigênio calibração com gases de referência: Utilizar gases de calibração conhecidos (ex.: gases com concentrações padronizadas de oxigênio) para ajustar e validar a precisão dos sensores. **Verificação de Bateria e Conectividade:** Para sensores eletrônicos, verificar a carga das baterias e a conectividade com o sistema de monitoramento. **Inspeção e Limpeza dos Sensores:** Evitar contaminações que possam interferir na precisão das leituras. Realizar substituição de sensores conforme indicado pelo fabricante ou em caso de falhas detectadas.

Termômetros Industriais: calibração em banho térmico ou bloco Seco: Submeter o termômetro a um ambiente de temperatura controlada (banho térmico ou bloco seco) para verificar e ajustar a precisão. **Verificação da Resposta do Sensor:** Monitorar a velocidade de resposta do sensor a mudanças de temperatura. Termômetros que apresentem lentidão podem não ser ideais para o monitoramento preciso e rápido necessário.

Inspeção Visual e Teste de Conectores: Verificar a integridade física do equipamento e garantir que os conectores estejam firmemente ligados para evitar interferências. **Histórico de Manutenção:** Registrar todas as atividades de manutenção, incluindo datas, técnicos responsáveis, e resultados de calibração. Esses dados devem estar acessíveis e organizados para referência futura e auditorias.

Certificados de Calibração: Para cada instrumento, anexar certificados de calibração, indicando as faixas de erro e os ajustes realizados. Isso é fundamental para garantir a rastreabilidade dos processos de medição. **Indicadores de Performance:** Definir indicadores de desempenho dos instrumentos, como taxas de falha e desvio médio de leitura, para monitorar a eficácia do programa de manutenção preventiva e identificar áreas para melhorias.

Treinamento Regular: Oferecer treinamentos periódicos aos técnicos de manutenção sobre o uso, calibração e manuseio seguro dos instrumentos. Isso inclui treinamento específico para cada tipo de instrumento utilizado. **Certificação:** Manter a equipe técnica certificada conforme as normas de qualidade (ISO 17025, ISO 9001), assegurando que os processos de calibração e manutenção atendam aos padrões de excelência e segurança.

3.6 Revisão e Melhoria Contínua

Avaliação de Efetividade do Programa de Manutenção: Realizar revisões periódicas do programa para identificar falhas ou oportunidades de aprimoramento. Isso pode incluir ajustes nas frequências de manutenção e atualização dos procedimentos de calibração. **Auditorias Internas:** Executar auditorias regulares para garantir a conformidade do programa de manutenção com as normas de qualidade e segurança. Documentar e aplicar ações corretivas quando necessário.

Atualização de Instrumentos e Tecnologia: Avaliar periodicamente a necessidade de substituir ou atualizar os instrumentos para incorporar novas tecnologias que ofereçam maior precisão e segurança. Uma **Válvula de Segurança de Pressão** é um dispositivo de alívio de pressão utilizado em equipamentos como vasos ou caldeiras em instalações industriais que operam em pressões acima da pressão atmosférica. A principal função da válvula de segurança é proteger vidas e propriedades.

Como o nome sugere, melhora a segurança ao evitar aumentos significativos de pressão que podem causar danos ao equipamento ou até mesmo explosão. Desta forma, a proteção ocorre quando a válvula é capaz de descarregar uma determinada vazão que deve ser prevista no momento do seu dimensionamento, levando em consideração as piores condições em que ocorrem aumentos de pressão. Esta taxa de fluxo deve ser suficiente para reduzir a pressão do sistema a um nível seguro.

3.7 Inertização utilizando nitrogênio

Para se tornar possível o acesso de pessoas no interior de um equipamento que opera como forte de armazenagem de gás, deve-se realizar a retirada de vapores residuais que tornam a atmosfera interna tóxica e imprópria para a permanência humana.

Primeiramente deve-se bloquear todas as fontes de abastecimento, fechando as válvulas de controle e instalando bloqueios físicos, em vasos de pressão são instalados dispositivos mecânicos com o nome de raquete, nos flanges das tubulações que direcionam o gás. A instalação destas raquetes garante que, em caso de alguma válvula de controle estar com ineficácia de vedação, não ocorra passagem de gás para o interior do equipamento.

Após este bloqueio deve ser realizada a retirada a fase líquida do gás do interior do equipamento, geralmente 80 % de sua capacidade. Esta drenagem é realizada com o apoio de bomba centrífuga e direcionando o produto para outro dispositivo de armazenagem.

Com a retirada do gás em sua fase líquida, deve eliminar a fase gasosa neste caso GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), afim de remover a presença de hidrocarbonetos suspensos e permitir a entrada de oxigênio de modo que se atinja uma concentração em 20,9%, ideal para a permanência de pessoas. Tradicionalmente, a eliminação dessa atmosfera tóxica é realizada com a injeção de água na parte inferior do vaso e abertura das escotilhas superiores para saída desses vapores residuais até que o mesmo esteja preenchido por completo. Estamos falando de recipientes com capacidade de 60 m³, ou seja, 60.000 litros de água que serão contaminados ao entrar em contato com a superfície interna do equipamento. Um outro agravante é que estes equipamentos não são projetados para operar 100% preenchidos por líquido, portanto, em uma operação com enchimento de água deve-se providenciar apoios complementares para sustentação do peso, além de monitoramento de um possível recalque das fundações. Após esta etapa, esta água com resíduos de hidrocarbonetos é drenada e deve ser encaminhada para uma fonte de tratamento e destinação gerando um custo elevado para a operação e uma grande utilização de um recurso natural não renovável, a água.

Trazendo como uma excelente alternativa para este processo, após o bloqueio das fontes de alimentação e drenagem da fase líquida, consideramos a injeção do Nitrogênio (N), em fase vapor no interior do equipamento, desta vez, apenas com um acesso, deixando escotilhas fechadas afim de se formar uma cortina interna desse gás que não se mistura com o vapor de GLP. Essa cortina é formada com a injeção de Nitrogênio, com pressão e vazão controladas e purgas periódicas, ou seja, em uma extremidade será injetado o Nitrogênio e na outra será expulso o gás residual que contém densidade e massa diferentes. Para controlar essa vazão de Nitrogênio é utilizado um regulador de pressão e os valores da operação determinado por cálculo específico.

Figura 3 – Regulador de pressão



Fonte: AUTOR, 2024

Após o processo de purga, é retirado todo o gás do equipamento com a abertura de uma das válvulas de drenagem, feito isso é aberta também a escotilha superior de maior diâmetro chamada de boca de visita (BV), onde é verificada a concentração de Oxigênio e demais gases no interior do equipamento com a utilização de um detector de gases.

Figura 4 - Detector de gases



Fonte: AUTOR, 2024

Com a atmosfera interna controlada, é realizada a entrada de colaboradores para uma limpeza superficial utilizando máquinas de lavagem a jato pressurizado, cujo consumo de água é reduzido, para remover o restante das impurezas e possibilitar a realização dos trabalhos de inspeção ou manutenção do equipamento. Para um reservatório de 60 m³, utilizam-se apenas 200 litros de água para se fazer esta limpeza, infinitamente menor do que os 60.000 litros em média gastos no método convencional.

Para realização de atividades no interior de vasos de pressão, os colaboradores devem receber treinamentos conforme determinações da NR 33 (Norma Regulamentadora sobre Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados), onde são citados todos os procedimentos de segurança para realização destes trabalhos, além de tratar dos exames médicos que estes devem realizar para comprovar aptidão física para estas atividades em atendimentos à NR'S, 09 (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais) e 07, (Elaboração do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional). (Norma Regulamentadora 33 - Pesquisa Google, n.d.)

5. Cálculo do consumo requerido de N₂ no processo de inertização

Demonstrativo da quantidade de nitrogênio necessária, para inertização de um vaso de pressão com capacidade de armazenamento de 120 m³.

Propriedades Termoquímicas a 298 K e 1 atm

Fluído = Nitrogênio

Fórmula = N₂

Massa Molar = 28,0130 kg/kmol

Constante Universal dos Gases (R) = 0,29680 kJ/kg . K = 0,29680 kN.m/kg.K

Característica do Vaso de Pressão:

Volume Hidráulico = 120,0 m³

Característica da Operação

Pressão de Operação no trem de medição = 1,0000 Kgf/cm² = 100,0000 Kpa ou kN/m²

Temperatura = 25,0000 ° C = 298,1500 K

Vazão Máxima = 7,0000 m³/h

Cálculo da quantidade necessária para inertizar o vaso de pressão:

Este cálculo determina a quantidade em massa de N₂ necessária para inertizar um vaso de pressão com capacidade de armazenamento de 120 m³, aplicando-se a constante do Nitrogênio na equação.

Aplicando a Lei de Boyle e Charles:

Onde:

P = Pressão de operação do sistema (Manômetro instalado no manifold a jusante do medidor)

V = Volume hidráulico do vaso de pressão;

R = constante do gás Nitrogênio -N₂;

T = Temperatura em valor absoluto.

Fórmula:

$$m = \frac{P \times V}{R \times T} \quad \therefore m = \frac{100,0000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 120,0000 \text{ m}^3}{0,29680 \frac{\text{kN.m}}{\text{kg.K}} \times 298,1500 \text{ K}} \quad \therefore m = 135,61 \text{ kg de N}_2 \quad (\text{Massa Mínima})$$

Aplicando 20 % no coeficiente de segurança

Quantidade da Massa de N₂: **135,61 kg + 27,12 kg** (Coeficiente de Segurança 20%)

Coeficiente de segurança (20%) m = **162,73 Kg** (massa maxima)

Cálculo da quantidade em volume (m³) de nitrogênio – N₂:

Para a condição

P = 1,2 Kgf/cm² (pressão calculada no item 4.4)

T = 20 °C (temperatura de operação)

P_{absoluta} = 1.148 Kg/m³ (massa especifica absoluta)

Transformação de kg para m³

$$\text{Volume mínimo} = \frac{135,61}{1,148} = 118,12 \text{ m}^3 \text{ de N}_2 \text{ (Quantidade MÍNIMA a ser injetada)}$$

$$\text{Volume maximo} = \frac{162,73}{1,148} = 141,75 \text{ m}^3 \text{ de N}_2 \text{ (Quantidade MÁXIMA a ser injetada)}$$

Cálculo da pressão do nitrogênio – N₂ no reservatório

Para garantir que a massa de nitrogênio a ser injetada no interior do vaso de pressão desloque e expulse a massa de GLP remanescente deve-se manter uma pressão controlada, devido a característica do escoamento do fluido.

Propriedades Termoquímicas a 298 K e 1 atm

Fluído = Nitrogênio

Fórmula = N₂

Massa Molar = 28,0130 kg/kmol

Constante Universal dos Gases (R) = 0,29680 kJ/kg . K = 0,29680 kN.m/kg.K

Característica do Vaso de Pressão:

Cada vaso de pressão possui características específicas de acordo com seu material de fabricação e o tipo de produto que irá armazenar. Abaixo as características de um vaso de armazenamento de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) construído em aço carbono atendendo à norma ASME A36.

Volume Hidráulico = 120m³

Característica da Operação:

Temperatura = 25,0000 ° C = 298,1500 K

Quantidade de N₂ = 162,7286 kg

Cálculo da Pressão:

Fórmula:

$$p = \frac{m \times R \times T}{V}$$

onde:

p = Pressão dentro do reservatório receptor em kpa;

m = Quantidade de produto aplicado em kg;

R = Constante do N₂ em kN.m/kg.k;

T = Temperatura do recipiente que está sendo inertizado em K;

V = Volume hidráulico do recipiente que está sendo inertizado em m³.

logo.:

p = ? kpa

m = 162,73 kg

R = 0,29680 kN.m/kg.k

T = 298,15 °K

V = 120,0 m³

Aplicando temos.:

$$p = \frac{162,73 \text{ kg} \times 0,29680 \frac{\text{kNm}}{\text{kg.k}} \times 298,15 \text{ K}}{120,0 \text{ m}^3} = 120 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p = 120 \text{ kp ou } 1,2 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo do tempo de operação de injeção do nitrogênio – N₂ no reservatório

Aqui demonstramos o tempo de injeção de nitrogênio necessário para garantir todo o preenchimento interno do equipamento, garantindo a inertização da atmosfera e contribuindo também para mensurar o tempo da operação.

Aplicação Considerando as Propriedades Termoquímicas a 298 K e 1,5 atm.:

$$\text{Fórmula: } C = 1 - \frac{Q \times t}{V_t} \quad \therefore \quad t = \frac{(1 - C) \times V_t}{Q}$$

onde:

C = Concentração de produto a ser purgado no sistema; Q = Vazão do gás de purga (m³/h);

T = Tempo de purga (h);

V_t = Volume do reservatório (m³).

Memorial de Cálculo do Tempo Necessário:

Demonstração do tempo necessário para inertização de um vaso de pressão com capacidade de 120 m³ com o nitrogênio pressurizado a 1,2 kg/cm². Esta pressão deve ser controlada de acordo com a análise de escoamento do fluido adquirida através do critério de Reynolds que determina se este escoamento é laminar (suave), ou turbulento.

$$C = 0 \quad \%$$

$$Q = 7,00 \quad \text{m}^3/\text{h}$$

$$T = ? \quad \text{h}$$

$$V_t = 120,0 \quad \text{m}^3$$

Logo.:

$$t = \frac{(1 - 0) \times 120,0 \text{ (m}^3\text{)}}{7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \longrightarrow t = \frac{120,0 \text{ (m}^3\text{)}}{7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$t = 17,14 \text{ horas}$$

Identificar o regime de injeção do N₂:

Parâmetros análise do N° de Reynolds:

Demonstrativo da característica do fluido através na análise de Reynolds que determina se seu escoamento é laminar ou turbulento. No caso apresentado o fluido se demonstra turbulento e por isso tem – se a necessidade de controlar sua injeção para evitar que o Nitrogênio turbilhe juntamente com o GLP ao invés de expulsá-lo.

Valor de referência: NR < 2.400 Escoamento laminar.

NR > 3.000 Escoamento turbulento

Dados e características do fluido e da tubulação de injetora

Viscosidade do Nitrogênio: 0,0001657 poise = 0,00001657 Kg/m.s

Densidade do Nitrogênio: 1,2500000 g / L = 1,2500000 Kg/m³

Diâmetro da tubulação: 2 pol = 0,0508000 m (Tubulação de Líquido)

Cálculo da velocidade do nitrogênio – N₂:

Demonstração da velocidade de injeção do nitrogênio em função do diâmetro da tubulação de transporte do fluido para dentro do vaso de pressão. Neste caso uma tubulação de 2".

Trecho: A Jusante do medidor do trem de medição.

Considerações:

Seção do tubo na saída do trem de medição;

Aplicação da em função da velocidade:

$$V = \frac{Q}{A} \quad V = \frac{4 \times Q}{x}$$

Onde:

V = velocidade (m / s);

Q = vazão (m³/s);

A = área da secção do tubo.

Dados:

V = ? (m / s)

Q = 7,00 = 0,0019 (m³ / s) (Valor deverá ser setado)

A = 0,0020 (m²)

Logo:

$$V = \frac{Q}{A} \quad V = \frac{0,0019 \text{ (m}^3\text{/s)}}{0,0020 \text{ (m}^2\text{)}} \quad V = 0,9594 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad A = \frac{3,1416 \times 0,0508^2}{4} \quad A = 0,0020$$

Cálculo do nº de Reynolds para aplicação do nitrogênio – N₂: Fórmula:

$$\text{Rey} = \frac{\rho \times v \times D}{\eta}$$

ρ = Densidade do Nitrogênio;

v = Velocidade do fluido;

D = Diâmetro da tubulação.

H = Viscosidade do Nitrogênio.

Dados:

ρ = 1,2500000 Kg/m³

$$v = 0,95935030 \text{ m/s}$$

$$D = 0,05080000 \text{ m}$$

$$H = 0,00001657 \text{ Kg/m.s}$$

$$\text{Logo.:} \quad \frac{1,2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,9594 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0508 \text{ m}}{0,00001657 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} =$$

$$\text{Rey} = 3.676$$

Resultados/informações para a injeção do nitrogênio – N₂:

Abaixo os valores obtidos através dos cálculos para realização da operação de inertização de um vaso de pressão com capacidade de 120 m³ utilizando N₂ como substância inertizante, garantindo a eficácia desta.

Através da análise do N^o de Reynolds, constatamos que para a operação com N₂ teremos um fluxo turbulento, daí a necessidade de controlar sua pressão e vazão para que não haja turbilhamento com o gás residual presente no equipamento.

Volume Hidráulico do vaso de pressão: **120,0 m³**

Diâmetro da tubulação de injeção do Nitrogênio: **2,00**

pol Pressão de injeção do Nitrogênio: **1,20 kgf/cm²**

Volume Mínimo de injeção no Reservatório: **V_{min} = 118,1247 m³**

Volume Máximo (c/ coef. Seg. de 20%) p/ injeção no Reservatório: **V_{máx} = 141,7496m³**

Vazão de injeção do Nitrogênio: **Q = 7,000 m³/h**

Q = 0,117 m³/h

Q = 0,002 m³/s

Velocidade de escoamento do Nitrogênio: **V = 0,9594 m/s**

N^o de Reynolds para a injeção do Nitrogênio: **Rey = 3.676**

Tempo de operação de injeção no reservatório: **t = 17,14 Horas**

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A inertização de vasos de pressão é uma etapa fundamental para garantir a segurança operacional em diversos setores industriais. O presente trabalho demonstrou que o nitrogênio se destaca como o agente inertizante mais adequado para essa aplicação, devido à sua inércia química, não toxicidade e ampla disponibilidade. A utilização do nitrogênio em processos de inertização permite criar uma atmosfera inerte no interior dos vasos, eliminando o risco de reações químicas indesejadas e minimizando os perigos associados à presença de gases inflamáveis ou oxidantes. Em suma, a inertização com nitrogênio é uma prática essencial para a prevenção de acidentes e a proteção do meio ambiente.

A utilização de nitrogênio em substituição à água apresenta várias vantagens em contextos industriais, especialmente em operações onde a água pode provocar corrosão, contaminação ou não satisfazer os padrões de segurança. O nitrogênio, por ser um gás inerte, diminui consideravelmente o risco de oxidação em estruturas metálicas, algo frequente em ambientes aquosos. Em atividades como resfriamento ou purgação de tubulações, o nitrogênio se mostra ideal por não reagir quimicamente com a maioria dos materiais e substâncias, assegurando maior longevidade dos equipamentos e a integridade dos produtos. Ademais, ele não se congela em temperaturas baixas, o que é benéfico em aplicações criogênicas ou em regiões com climas severos. Outro aspecto relevante é a proteção proporcionada pelo

nitrogênio em setores onde a presença de água pode ser nociva. Nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, por exemplo, a água pode introduzir contaminantes microbiológicos, enquanto o nitrogênio cria um ambiente estéril, resguardando os produtos. Na área de energia e petróleo, o nitrogênio é amplamente empregado para pressurização e teste de equipamentos, pois elimina o risco de vaporizar ou corroer os materiais, como pode acontecer com a água. Embora o custo inicial de sua implementação seja superior devido à necessidade de tanques de armazenamento e sistemas de geração, suas características únicas asseguram maior eficiência e redução de manutenção a longo prazo.

A gestão financeira para a utilização do nitrogênio abrange a avaliação de aspectos como a definição das demandas de consumo, a decisão entre sistemas de geração local ou a compra de tanques de armazenamento, além da comparação com opções convencionais, como a água. Essa análise possibilita reconhecer o equilíbrio entre o investimento inicial e o retorno ao longo do tempo, evidenciando como a aplicação estratégica do nitrogênio pode ser uma alternativa não apenas eficaz, mas também financeiramente viável. A figura 5 e figura 6 demonstram um orçamento de uma construtora onde apresenta os custos associados ao uso do nitrogênio e água.

Processo com nitrogênio

Volume hidráulico do Vaso de pressão: 120 m³

Quantidade de nitrogênio em m³ para inertizar um vaso de 120 m³: 141,75 m³

Valor do m³ do Nitrogênio de acordo com o orçamento: R\$ 24,85

Logo: 141,75 x R\$ 24,85 = R\$ 3.522,48 x 2 vezes para melhor eficácia do processo = R\$ 7.044,97 (Nitrogênio)

Total = R\$ 7.044,97

Figura 5 – Orçamento utilizando Nitrogênio

CARGAS DE GASES INDUSTRIAIS				
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	CAPACIDADE	VALOR R\$/ UNI	VALOR R\$/ TOTAL
NITROGENIO OTC50	1	10 MP	R\$ 248,50	R\$ 248,50
LOCAÇÕES CILINDRO/ MÁQUINA / EQUIPAMENTO				
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	CAPACIDADE	VALOR R\$/ UNI	VALOR R\$/ TOTAL
LOCAÇÃO MENSAL POR CILINDRO	1		R\$ 98,00	R\$ 98,00

Fonte: AUTOR, 2024

PROCESSO COM ÁGUA

Caminhão Pipa de 20 m³ = R\$ 1.100,00 x 6 (quantidade para encher o vaso de 120 m³) = R\$ 6.600,00.

Destinação desta água após o uso

coleta para 20m³ = 1.800, 00 x 6 viagens para coletar 120 m³) = R\$ 10.800,00

destinação/tratamento do resíduo= R\$ 0,80 por litro x 120.000 = R\$ 96.000,00

Total = R\$ 113.400,00

Figura 6 – Orçamento utilizando água

➤ PROPOSTA COMERCIAL:

DESCRIÇÃO DO(S) SERVIÇO(S) A SER EXECUTADO:	PREÇO:	CONDIÇÕES DE PAGAMENTO:
Prestação do serviço de coleta, hidrojateamento e descarte dos resíduos de água e óleo líquido, provenientes das caixas;	R\$1.800,00 pela diária, sendo horário de 09:00 às 15:00 horas;	15 dias após emissão da NF.
Destinação de resíduo de água e óleo líquido, com emissão de certificado, gerados na operação.	R\$0,80 por Kg de resíduo;	
Mobilização e desmobilização do equipamento de 20m ³ ; Minas Tec x São Brás - São Brás x Destinadora - Destinadora x Minas Tec.	R\$2.850,00 por deslocamento.	

Fonte: AUTOR, 2024

A figura 7 apresenta um orçamento inicial do aluguel do caminhão pipa este montante evidencia a importância de um planejamento financeiro detalhado, especialmente ao analisar opções como a utilização de nitrogênio em cilindros pressurizados. Apesar de o caminhão-pipa ter um custo inicial mais baixo, é fundamental examinar se as vantagens operacionais justificam essa escolha, levando em conta aspectos como manutenção, vida útil do material e eficiência ao longo do tempo. Esta análise visa entender de que maneira decisões pautadas em custos podem influenciar diretamente a direção e a sustentabilidade do projeto.

Figura 7 – Orçamento do caminhão pipa

Lista dos Serviços

Descrição do Serviço	Quantidade	Valor Unit.	Valor Total
LOCAÇÃO DE CAMINHÃO PIPA (Cód. 4930201)	20,00	55,00	1.100,00
Total:			1.100,00
Total do ISS:			0,00

Fonte: AUTOR,2024

Portanto, no processo de inertização utilizando vasos de pressão, o nitrogênio tem se mostrado mais viável que a água devido às suas propriedades técnicas e econômicas superiores. O nitrogênio é um gás inerte e amplamente utilizado, facilmente comprimido sob alta pressão e armazenado em cilindros, o que facilita o controle preciso das condições inerciais. Além disso, a sua utilização reduz os custos operacionais porque não são necessários sistemas de grande capacidade ou refrigeração como é o caso da água. A sua natureza não reativa também minimiza o risco de contaminação ou reações indesejadas, tornando-o ideal para a criação de atmosferas controladas em processos industriais como as indústrias química e alimentar.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que, após a realização dos procedimentos descritos neste trabalho, a inertização de vasos de pressão utilizando nitrogênio demonstra ser um processo mais econômico e sustentável em comparação com o método tradicional que emprega água, amplamente utilizado no mercado atualmente. Essa alternativa contribui não apenas para a redução de custos operacionais, mas também para a preservação de recursos naturais, reforçando seu potencial como uma solução ambientalmente responsável e eficiente para a indústria. O presente trabalho demonstrou que o nitrogênio se destaca como o agente inertizante mais adequado para essa aplicação, devido à sua inércia química, não toxicidade e ampla disponibilidade. A utilização do nitrogênio em processos de inertização permite criar uma atmosfera inerte no interior dos vasos, eliminando o risco de reações químicas indesejadas e minimizando os perigos associados à presença de gases inflamáveis ou oxidantes. Em suma, a inertização com nitrogênio é uma prática essencial para a prevenção de acidentes e a proteção do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6022**: informação e documentação - artigo em publicação periódica técnica e/ou científica - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASME. (2007). *ASME (American Society of Mechanical Engineering), Section VIII, Division 1. Rules For Construction of Pressure Vessels, 2007.* - Pesquisa Google. [https://www.google.com/search?q=ASME+\(American+Society+of+Mechanical+Engineering\)%2C+Section+VIII%2C+Division+1.+Rules+For+Construction+of+Pressure+Vessels%2C+2007.&oq=ASME+\(American+Society+of+Mechanical+Engineering\)%2C+Section+VIII%2C+Division+1.+Rules+](https://www.google.com/search?q=ASME+(American+Society+of+Mechanical+Engineering)%2C+Section+VIII%2C+Division+1.+Rules+For+Construction+of+Pressure+Vessels%2C+2007.&oq=ASME+(American+Society+of+Mechanical+Engineering)%2C+Section+VIII%2C+Division+1.+Rules+)
- Bautitz, R. (2022). *Aplicação do método dos elementos finitos e asme seção VIII, divisão I no projeto de um vaso de pressão.* <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2687>
- BRASIL, N.-13. (2019). *Brasil NR - 13.* <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-13-atualizada-2023.pdf>
- Conceição, K. (2023). *Análise da aplicação da NR-13 na gestão de ativos de um conjunto de vasos de pressão: o caso de uma empresa do setor siderúrgico.* <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/5734>
- Gualberto, S., Oliveira, D. E., & Pessoa, J. (2023). *UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA ESTUDO SOBRE UM CASO PRÁTICO DE INSPEÇÃO DE VASO DE PRESSÃO.*
- Humanidades, R. de A.-I.-A. de, E. C., & 2023, U. (2023). *EFICÁCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA.* *Periodicorease.pro.Br.* [https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9085norma regulamentadora 33](https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9085norma%20regulamentadora%2033) - Pesquisa Google. (n.d.). Retrieved November 25, 2024, from https://www.google.com/search?q=norma+regulamentadora+33&oq=norma+regulamentadora+33&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyCQgAEEUYORiABDIHCAEQABiABDIHCAIQABiABDIHCAMQABiABDIHCAQQABiABDIHCAUQABiABDIHCAYQABiABDIHCAcQABiABDIHCAgQABiABDIHCAkQABiABNIBCDMzMTFqMGo3qAIAAsAIA&so

urceid=chrome&ie=UTF-8

Rodrigo José da Silva. (2018). *APLICABILIDADE, NORMAS E PROJETOS DE VASOS DE PRESSÃO - UMA REVISÃO* | *Galoá Proceedings*. <https://proceedings.science/coen-2018/trabalhos/aplicabilidade-normas-e-projetos-de-vasos-de-pressao-uma-revisao?lang=pt-br#>

SANTOS, S. DOS. (2018). *MANUTENÇÃO EM VASOS DE PRESSÃO*. *Repositorio.Pgsscogna.Com.Br*.
https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/22020/1/SAVIO_SANTOS.pdf

Sardenberg Bersot Joana Ribas Penello, G., Luiz Fernando Lopes Rodrigues Silva, O., & Paulo Fernando Ferreira Frutuoso Melo, Ds. (2010). *Análise de Sensibilidade em Processos de Inertização em Vasos Pressurizados*.

Schultz, F. (2022). *Análise de risco presente em atividades envolvendo vasos de pressão contendo gás liquefeito de petróleo*. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/27904>

Telles, S. (2007). *Vasos de Pressão - Silva Telles Ed 2. Vasos de Pressão - Silva Telles Ed 2. Author*. https://www.google.com/search?q=Vasos+de+Pressão+-+Silva+Telles+Ed+2.+Vasos+de+Pressão+-+Silva+Telles+Ed+2.+Author&oq=Vasos+de+Pressão+-+Silva+Telles+Ed+2.+Vasos+de+Pressão+-+Silva+Telles+Ed+2.+Author&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBggAEEUYOzIGCAAQRrg70gEHMTQ3ajBqNKgCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8

TROVATI, Joubert. *Tratamento de água de caldeiras*. 1. Ed. São Paulo: S.n, 2006
https://www.academia.edu/19659933/TRATAMENTO_DE_%C3%81GUA_DE_CALDEIRA