



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO.
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ EUDES MARQUES JÚNIOR

**ANÁLISE DE PARÂMETROS DE SEGURANÇA DE VASOS DE PRESSÃO
ATRAVÉS DA NORMA REGULAMENTADORA 13.**

MOSSORÓ-RN

2017

JOSÉ EUDES MARQUES JÚNIOR

**ANÁLISE DE PARÂMETROS DE SEGURANÇA DE VASOS DE PRESSÃO
ATRAVÉS DA NORMA REGULAMENTADORA 13**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro
de Engenharias para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof^ª Ingrid Heloisa da
Silva Alves – UFERSA.

Mossoró-RN

2017

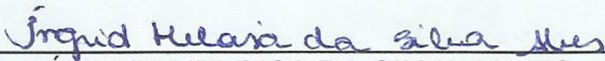
JOSÉ EUDES MARQUES JÚNIOR

**ANÁLISE DE PARÂMETROS DE SEGURANÇA DE VASOS DE PRESSÃO
ATRAVÉS DA NORMA REGULAMENTADORA 13**

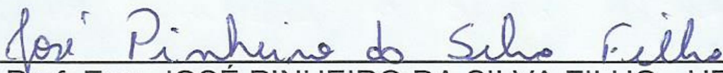
Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro
de Engenharias para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

APROVADO EM 18/10/17

BANCA EXAMINADORA


Prof. ÍNGRID HELOISA DA SILVA ALVES – UFERSA
Presidente e orientadora


Prof. Dr. FRANCISCO EDSON NOGUEIRA FRAGA – UFERSA
Primeiro Membro


Prof. Eng. JOSÉ PINHEIRO DA SILVA FILHO - UFERSA
Segundo Membro

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

J95a JUNIOR, JOSE EUDES.
ANÁLISE DE PARÂMETROS DE SEGURANÇA DE VASOS DE
PRESSÃO ATRAVÉS DA NORMA REGULAMENTADORA 13. /
JOSE EUDES JUNIOR. - 2017.
46 f. : il.

Orientadora: Ingrid Heloisa da Silva Alves.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2017.

1. VASOS DE PRESSÃO. 2. TESTE HIDROSTÁTICO. 3.
NR-13. I. da Silva Alves, Ingrid Heloisa ,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Aos meus pais, José Eudes Marques e Maria dos Anjos Xavier Marques, que nunca mediram esforços para me proporcionar uma boa educação.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido por me proporcionar um dos meus maiores sonhos e disponibilizar todas as condições necessárias para minha graduação.

Às professoras e orientadoras, Priscila Borges de Moraes e Ingrid Heloisa da Silva Alves por toda paciência e ensinamentos, mostrando o melhor caminho, para a realização deste trabalho e em outros assuntos acadêmicos e conselhos fundamentais na minha jornada como discente.

Aos amigos que durante esta minha trajetória de discente demonstraram amizade e companheirismo no caminhar de nossa jornada, em especial a Rossana Sampaio e Ronnifran Cabral.

A todos os amigos que de alguma forma me ajudaram na minha jornada não só acadêmica, mas como na vida pessoal: Maximiliano Rafael, Pablicio Medeiros e a Mariana Formiga, eu agradeço.

Se eu soubesse antes o que sei agora,
erraria tudo exatamente igual.
(Humberto Gessinger).

RESUMO

Vasos de Pressão são equipamentos que contêm fluídos pressurizados e são utilizados por empresas para o armazenamento de fluidos. Por serem equipamentos de alto grau de responsabilidade, o projeto, fabricação, manutenção e inspeção de equipamentos, deve ser baseada na aplicação de normas padronizada e consolidada, sendo no Brasil, a Norma Regulamentadora, a NR-13. Para garantir a integridade física são realizados diversos exames periódicos, como os testes hidrostáticos, TH, com base na NR-13. Testes hidrostáticos, ou testes de pressão, é um procedimento que tem por finalidade a detecção de possíveis vazamentos, falhas, defeitos em soldas ou em outras ligações no próprio vaso ou em seus acessórios, como também, avaliar se quando em funcionamento os vasos de pressão irão suportar aos esforços que estarão sujeitos em trabalho (TELLES, 1996). Este trabalho tem como objetivo principal analisar os parâmetros de segurança de vasos de pressão de acordo com a norma regulamentadora, NR-13. Especificando o estudo de vasos de pressão, como funcionamento e classificação, realizar um breve levantamento e elaboração de um prontuário de vasos de pressão segundo a mesma NR.

Palavras-chave: Vasos de pressão. Testes hidrostáticos. NR-13.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CILINDRO SUBMETIDO À PRESSÃO INTERNA E EXTERNA.	17
FIGURA 2 - CURVA DE VELOCIDADE DE PRESSURIZAÇÃO.....	26
FIGURA 3 - LISTA DE VERIFICAÇÃO (CHECK-LIST).....	28
FIGURA 4 - LISTA DE VERIFICAÇÃO (CHECK-LIST).....	30
FIGURA 5 - PRONTUÁRIO DO VASO DE PRESSÃO.....	31
FIGURA 6 - LOCAL DE INSTALAÇÃO DO VASO DE PRESSÃO CRIL-VP-001.....	31
FIGURA 7 - SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DO VASO DE PRESSÃO.	32
FIGURA 8 - INSPEÇÃO DO VASO DE PRESSÃO EM FORMA DE CHECK-LIST.....	33
FIGURA 9 - RESULTADOS DO CÁLCULO DA PMTA.	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO POR CATEGORIAS DOS VASOS DE PRESSÃO.....	15
TABELA 2- PRAZO PARA REALIZAÇÃO DO TESTE HIDROSTÁTICO PARA ESTABELECIMENTOS SEM SISTEMA PRÓPRIO DE INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS.	24
TABELA 3- PRAZO PARA REALIZAÇÃO DO TESTE HIDROSTÁTICO PARA ESTABELECIMENTOS COM SISTEMA PRÓPRIO DE INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS.	24
TABELA 4 - PRONTUÁRIO DO VASO DE PRESSÃO CRIL-VP-001.	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASME - American Society of Mechanical Engineers
NBR - Normas Brasileiras
NR – Norma Regulamentadora
PH – Profissional Habilitado
PMTA – Pressão Máxima de Trabalho Admissível
TH – Teste Hidrostático

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVIÇÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. VASOS DE PRESSÃO	15
3.2. TUBULAÇÕES E VÁLVULAS	16
3.3.1. <i>Cilindro de parede espessa</i>	18
3.3.2. <i>Cilindro de espessura fina</i>	18
3.4. NORMAS DE SEGURANÇA	19
3.4.1. <i>Documentação</i>	20
3.4.2. <i>Segurança e manutenção segundo a NR 13</i>	21
3.5. INSTALAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO	22
3.6. TESTE HIDROSTÁTICO	22
3.6.1. <i>Aplicabilidade do teste hidrostático</i>	24
3.6.2. <i>Procedimento ao se realizar um teste hidrostático</i>	25
4. METODOLOGIA	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1. DISPOSIÇÕES GERAIS	31
5.2. INSTALAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO	31
5.3. SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO	32
5.4. INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DE VASOS DE PRESSÃO	33
5.5. CÁLCULO DO PMTA E TESTE HIDROSTÁTICO.	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37
ANEXOS	40

1. INTRODUÇÃO

Vasos de pressão são equipamentos projetados para armazenar fluidos pressurizados, que assumem formas e tamanhos bastantes variados em função da sua principal função, que é a de contenção de fluido pressurizado, sem que ocorram vazamentos. Estas pressões são bastante elevadas, assim deve-se ter bastante cuidado com o manuseio e manutenção nestes tipos de equipamento.

O que diferencia o vaso de pressão a uma caldeira é o fato de além de armazenar o fluido, caldeiras são equipamentos projetados para a produção de vapor. Enquanto vasos de pressão são projetados apenas com a utilidade para armazenar fluidos pressurizados.

Os vasos de pressão devem passar por inspeções periódicas. No Brasil as inspeções realizadas nestes tipos de equipamentos devem seguir diversas condições e metodologias que são regidas por normas regulamentadoras. Segundo Leite e Militão (2008), a Norma Regulamentadora (NR) 13 é uma norma do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil e tem como objetivo condicionar a operação de vasos de pressão. Foi criada em 08 de junho de 1978, sofrendo revisão em 08 de maio de 1984 e sua última atualização foi feita em 02 de maio de 2014.

Dessa forma, a NR 13 recomenda condições e exames, incluindo a realização de Testes Hidrostáticos (TH) que devem ser realizados de forma periódica, de acordo com a categoria do equipamento. O teste hidrostático tem como finalidade a detecção de possíveis vazamentos, proporcionar alívio de tensão oriunda das descontinuidades geométricas do equipamento novo antes de sua operação, de forma a verificar a integridade física do equipamento.

Neste trabalho foi discutida a análise, após um levantamento da bibliografia, dos parâmetros de segurança de um vaso de pressão de acordo com a norma regulamentadora, NR-13. Especificando o estudo do funcionamento e classificação, e elaboração de um prontuário de vasos de pressão segundo a norma.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1. Objetivo Geral

Analisar parâmetros de segurança de vasos de pressão de acordo com a Norma Regulamentadora 13.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar sobre vasos de pressão, levantando o funcionamento e classificação.
- Realizar levantamento sobre os parâmetros a serem verificados além de periodicidade de testes de inspeção e manutenção, com ênfase no teste hidrostático.
- Elaborar um prontuário de um vaso de pressão segundo recomendações da norma NR-13.

3. REVIÇÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. VASOS DE PRESSÃO

Para Campos (2011), pode-se definir vaso de pressão como sendo qualquer dispositivo de variados tamanhos e forma ou utilizações, capazes de armazenar fluidos pressurizados e projetados para aguentar com segurança a pressões internas distintas da pressão atmosférica, ou que sejam submetidos a pressões externas. De acordo com Telles (1996), o nome vaso de pressão designa genericamente todo recipiente, de qualquer tipo, dimensão, formato e finalidade, capaz de conter um fluido pressurizado. Alguns dos exemplos de vasos de pressão podemos encontrar os trocadores de calor, evaporadores, autoclaves, vasos de pressão encamisados como refervedores e reatores.

Segundo a NR-13 (2014), os vasos de pressão se classificam em cinco categorias: I, II, III, IV e V, esta classificação tem impacto direto nos prazos de realização de inspeções de segurança periódicas. Esta categoria é definida com base na classe do fluido armazenado e do potencial de risco. O fluido armazenado são divididos em quatro classes: A, B, C E D. O potencial de risco é definido pelo produto P.V, onde P é a pressão máxima de operação em Mpa e V é o volume do vaso, em m³. Visto na tabela a seguir:

Tabela 1 - Classificação por Categorias dos Vasos de Pressão.

Classe do fluido	Grupo de Potencial de Risco				
	1 P.V ≥ 100	2 P.V < 100 P.V ≥ 30	3 P.V < 30 P.V ≥ 2,5	4 P.V < 2,5 P.V ≥ 1	5 P.V < 1
	Categorias				
A - Fluidos pressurizados e fluidos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200 °C. - tóxicos com limite de tolerância ≤ 20ppm - hidrogênio - acetileno.	I	I	II	III	III
B - Fluidos combustíveis com temperatura inferior a 200°C. - Fluidos tóxicos com limite de	I	II	II	IV	IV

tolerância > 20ppm.					
C					
- Vapor de água; - Gases asfixiantes simples. - Ar Comprimido	I	II	III	IV	V
D					
- outros Fluidos.	II	III	IV	V	V

FONTE: NR-13 (2014).

Ainda segundo a NR-13 (2014), quando o fluido se tratar de uma mistura, deve-se ser considerados para fins de classificação o fluido que apresentar o maior risco ao trabalhador e instalações, de acordo com a sua toxicidade, inflamabilidade e concentração. Já vasos de pressão que operam a vácuo, segundo o item 13.5.1.2 “d” da NR-13 (2014), deverão ser enquadrados nas seguintes categorias: categoria I para fluidos inflamáveis ou combustíveis. e categoria V, para outros fluidos.

3.2. TUBULAÇÕES E VÁLVULAS

Segundo Bizzo (1995), válvulas de segurança são dispositivos auxiliares previstos para atuarem em caso de falha no sistema, de modo a evitar o aumento de pressão de trabalho da caldeira. O local onde será colocado este dispositivo vai depender do tipo de caldeira. A pressão de abertura das válvulas de segurança deve ser testada periodicamente, e quando necessário podem ser alteradas e dimensionadas de modo que, quando em funcionamento, facilitem o escape total do vapor gerado. Para Altafini (2002) as válvulas de segurança servem para prevenir eventuais ascensões de pressão normal de trabalho, onde toda caldeira deve possuir, no mínimo, uma válvula de segurança, porém o mesmo recomenda que seja colocada duas. As válvulas devem ser capazes de descarregar todo o vapor gerado sem causar aumento de pressão superior a 10% da pressão de projeto.

Bizzo (2001) afirma que as tubulações de descarga devem ter no mínimo uma área igual à soma das áreas de todas as válvulas de segurança montadas na caldeira. Dessa forma, evita a contrapressão no sistema e acúmulo de depósitos ou de condensados, que venham a restringir a passagem do vapor. Segundo Mathias (2008), a tubulação de entrada de uma válvula de segurança deve ser mais curta e direta possível, impondo uma queda de pressão mínima. Além disso, a conexão com o vaso de pressão ou caldeira deve ser resistente para suportar as forças de reação da válvula no momento da abertura.

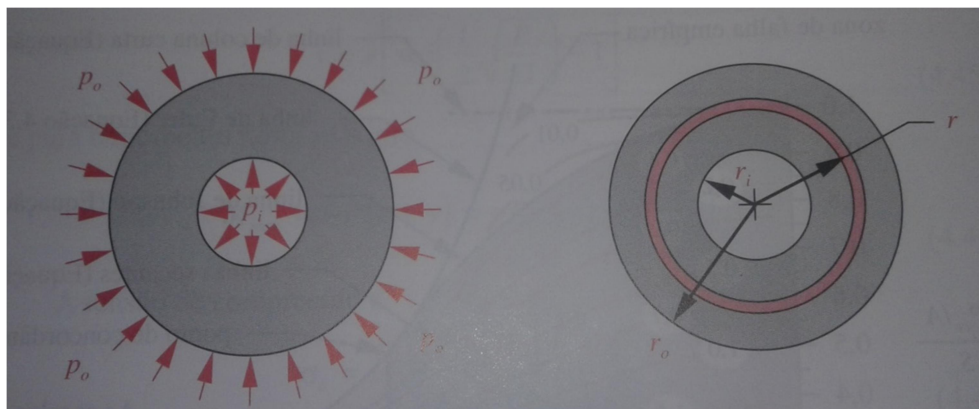
Ainda segundo Mathias (2008), a área interna da tubulação deve ser de tal forma que qualquer pressão que possa existir não possa reduzir a capacidade de vazão da válvula. A presença de possível umidade e de partículas no vapor, implica uma válvula mais propícia a ocorrências de danos. Por isso deve-se realizar limpeza nas caldeiras e das linhas de vapor, antes da realização dos testes.

3.3. Projeto de Vaso de Pressão

O projeto de vasos de pressão tem como objetivo evitar os riscos de acidentes devidos a falhas do material do vaso. No Brasil, a NR-13 obriga que o projeto de um vaso de pressão seja realizado por um engenheiro, denominado PH - Profissional Habilitado, sendo ele o responsável pela garantia da conformidade com a norma do projeto adotado.

Norton (2013), afirma que vasos de pressão são frequentemente utilizados como recipientes pressurizados que podem estar sujeitos a pressões tanto internas como externas, conforme mostrado na figura 1. Alguns desses dispositivos possuem suas extremidades abertas em outros estes são totalmente fechados. Quando abertos as paredes dos cilindros sofrem tensões nas direções tangenciais, ou seja, circunferencial, e também tensão radial. Já se fechados os cilindros são submetidos a um estado de tensão tridimensional, onde uma tensão longitudinal ou axial, também estará presente. Onde essas três tensões aplicadas são mutuamente ortogonais e principais, uma vez que não há cisalhamento para pressões uniformemente distribuídas.

Figura 1 - Cilindro submetido à pressão interna e externa.



FONTE: Norton (2013).

3.3.1. Cilindro de parede espessa

Ainda de acordo com Norton (2013), um elemento diferencial r é mostrado. Onde as tensões radial e tangencial que agem sobre este elemento é dado pelas equações de Leme:

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad \text{Equação 1}$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde r_i e r_o são respectivamente, os raios interno e externo, p_i e p_o as pressões internas e externas respectivamente, e r é o raio no local de interesse.

Se as extremidades do cilindro são fechadas, a tensão axial nas paredes é dada pela equação 3.

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad \text{Equação 3}$$

Norton (2013) observa a falta da variável r na equação 3, devido a tensão axial na espessura da parede do cilindro ser uniforme. Então se $p_o = 0$, as equações 1 e 2 se reduzem a:

$$\sigma_t = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad \text{Equação 4}$$

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad \text{Equação 5}$$

E para cilindros fechados temos:

$$\sigma_a = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \quad \text{Equação 6}$$

Assim, segundo Norton (2013), temos as equações para a determinação das tensões tangenciais, axiais e radiais, respectivamente, σ_t , σ_a , e σ_r .

3.3.2. Cilindro de espessura fina

Norton (2013) afirma que quando a espessura da parede é menor que 1/10 do raio, o cilindro pode ser considerado como de parede fina, assim as tensões ao longo da espessura da parede é considerada uniforme, assim tem as equações simplificadas a:

$$\sigma_t = \frac{pr}{t} \quad \text{Equação 7}$$

$$\sigma_r = 0 \quad \text{Equação 8}$$

Budynas (2011) acrescenta ainda que estas equações fornece a tensão tangencial media, e é valida independente da espessura da parede. E que para uma aproximação a tensão tangencial máxima a equação é dada por:

$$(\sigma_t)_{\text{máx}} = \frac{p(d_i+t)}{2t} \quad \text{Equação 9}$$

Onde t é a espessura da parede.

De acordo com Norton (2013) a equação para cilindro de parede fina fechada a equação que define é:

$$\sigma_a = \frac{pr}{2t} \quad \text{Equação 10}$$

Assim, com o auxilio de um catalogo, sabendo o valor da tensão do material, a pressão e raio do vaso de pressão, teremos o valor da espessura t da parede do vaso.

Note que a pelas equações 7 e 10, temos que a tensão tangencial ou circunferencial, é duas vezes maior que a tensão axial, ou longitudinal do vaso de pressão. Assim, Budynas (2011) recomenda que ao elaborar projetos de vasos de pressão de paredes finas, devem-se evitar ligações no sentido longitudinal do vaso.

Norton (2013) salienta que estas equações são validas apenas no caso de não haver qualquer tipo de concentração de tensões ou mudanças de seção. E recomenda que para cálculos mais próximos do real, devem-se consultas o Código ASME, para informações mais completas.

3.4. Normas de Segurança

A seção VIII do código ASME é um documento técnico internacional mais utilizado para consultas e requerimentos para projetos de vasos de pressão. O código ASME seção VIII e divisão 1, fala exclusivamente de vasos de pressão de parede fina, onde a espessura da parede do vaso ultrapasse a razão de 1/10 do seu raio.

No Brasil e no mundo há uma série de regras a serem seguidas relacionadas ao manuseio, manutenção, operação e instalação de caldeiras e vasos de pressão, a fim de se obter melhores condições para o trabalhador e o ambiente, com objetivo de evitar acidentes.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2008), o principal objetivo de uma normalização é estabelecer uma solução padronizada e de igual eficiência em equipamentos, não importando o lugar que ele esteja. Assim torna-se qualquer norma uma referencia no mercado a que se destina, sendo assim usada em processos: de regulamentação, de certificação, de metodologia, de informação técnica, e nas relações entre cliente e fornecedor.

3.4.1. Documentação

A norma NR-13 (2014) estabelece que os vasos de pressão devam possuir no estabelecimento em que for instalado, as seguintes documentação atualizadas, tais como: prontuário, registro de segurança, projeto de instalação, projetos de reparo e alteração, relatório de inspeção e certificado de calibração dos dispositivos de segurança.

O prontuário, segundo Camisassa (2015) é um conjunto de documentos organizado de modo que contenha uma memoria dinâmica e atualizada de informações do vaso de pressão. Este deve ser fornecido pelo fabricante. Porém, segundo a NR-13, caso perdido ou extraviado é de responsabilidade do empregador reconstituir um novo, com responsabilidade técnica de um profissional habilitado, sendo imprescindível seguir as premissas do projeto. No prontuário deve conter as seguintes informações:

- Código de projeto e ano de edição;
- Especificação dos materiais;
- Procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final;
- Metodologia para estabelecimento da PMTA;
- Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil;
- Pressão máxima de operação;
- Registros documentais do teste hidrostático;
- Características funcionais, atualizadas pelo empregador sempre que alteradas as originais;
- Dados dos dispositivos de segurança, atualizados pelo empregador sempre que alterados os originais;
- Ano de fabricação;
- Categoria do vaso, atualizada pelo empregador sempre que alterada a original.

Ao final deste trabalho no Anexo, está um modelo básico com os quesitos mínimos de informações estabelecidos pela norma NR-13 que devem conter em um prontuário de um vaso de pressão.

3.4.2. Segurança e manutenção segundo a NR 13

Segundo Leite e Militão (2008), a NR 13 é uma norma do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil e tem como objetivo condicionar a operação de vasos de pressão. Foi criada em 08 de junho de 1978, sofrendo revisão em 08 de maio de 1984.

A norma NR 13 é relacionada a caldeiras, vaso de pressão e tubulações, dispositivos que trabalham acima da pressão atmosférica. Para evitar riscos com explosões e exposição aos trabalhadores de situações de risco, esta norma visa assegurar que os equipamentos estejam em boas condições de operação. Em 28 de abril de 2014, a nova revisão da NR 13 trouxe melhorias para que os equipamentos fossem mais bem inspecionados e adequados dentro de padrões de segurança dos operadores.

De acordo com a NR 13 (2014) os dispositivos de segurança das caldeiras têm por finalidade proteger o pessoal e os equipamentos de possíveis falhas em seu funcionamento e a falta de qualquer um deles, constitui risco grave e iminente. Os principais são:

- Válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA);
- Manômetro, instrumento que indica a pressão do vapor acumulado;
- Injetor ou outro meio de alimentação de água, independente do sistema principal, em caldeiras a combustível sólido;
- Sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente.

Alberichi (2013) observa que, dentre os vários pontos importantes desta norma, a qual é centrada nas inspeções de segurança de caldeiras a vapor, vasos de pressão e tubulações, podem-se pontuar algumas informações importantes. A norma denomina Profissional Habilitado (PH) aquele que tem responsabilidade e competência para exercício da profissão de engenheiro referente a projeto de construção, acompanhamento de operações e manutenções, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras e vasos de pressão. (NR-13, 2014).

De acordo com a NR 13 (2014), os vasos de pressão serão, obrigatoriamente, submetidos à inspeção de segurança, interna e externamente: antes de entrarem em funcionamento; após reforma ou modificação estrutural; periodicamente, no geral ao menos uma vez ao ano; ao ser recolocado em funcionamento, se o intervalo de parada for igual ou superior a seis meses consecutivos; quando houver mudança de local de instalação; e ao completar 25 anos de uso.

A NR-13 (2014) regulamenta, também, a inspeção de vasos de pressão. Os dispositivos de segurança dos vasos de pressão têm por finalidade proteger os trabalhadores e os equipamentos de possíveis falhas em seu funcionamento e a falta destes dispositivos trazem riscos grave. Os principais são: válvulas de segurança, manômetros, drenos, respiros, e devem ser instalados de maneira a facilitar a vistoria e de fácil acesso dos trabalhadores.

Ainda segundo a NR-13 (2014), no seu subitem 13.5.4.3, trata como obrigatoriedade a realização de um teste hidrostático, em vasos de pressão em sua fase de fabricação, com comprovação de um laudo assinado pelo PH-Profissional Habilitado, e ter o valor do teste fixado em sua placa de identificação. No subitem 13.5.4.5, trata como das inspeções de segurança periódicas, devem obedecer aos prazos máximos estabelecidos na tabela 2 e 3.

3.5. INSTALAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO

De acordo com a NR-13 (Brasil, 2014) os vasos de pressão devem ser instalados em ambientes fechados, e satisfazer algumas condições, como ter ao menos duas saídas amplas sem obstáculos e de direções distintas. Devem possuir fácil acesso para a manutenção, inspeção e não pode ter vão que ocasione em quedas de pessoas. Ter ventilação e iluminação adequadas e possuir sistema de iluminação de emergência.

Ainda segundo a NR-13(2014), quando o estabelecimento não puder atender as exigências, deve ser elaborado um projeto alternativo de instalação com medidas de segurança que permitam a diminuir os prováveis riscos.

3.6. TESTE HIDROSTÁTICO

Vasos de pressão são equipamentos projetados para armazenar fluidos pressurizados. Diversos são os ramos da indústria utiliza este tipo de equipamento, tais como; na indústria de processamento, alimentícia, química, petroquímica, ou até mesmo na nuclear, para geração de energia. Sendo assim, há muitas aplicações dos vasos de pressão, que assumem formas e tamanhos bastantes variados de acordo com sua principal função, que é a de contenção de fluido pressurizado, sem que ocorram vazamentos (PEREIRA FILHO, 2014).

Os Testes Hidrostáticos (TH) são aplicados em vasos de pressão e em outros equipamentos industriais pressurizados, como tanques e tubulões. Em geral, esse teste se caracteriza em submeter ao vaso uma pressurização com um líquido até um nível de pressão estabelecido com base nas condições de projeto, cujo valor no ponto mais alto é denominado de “pressão de teste hidrostático” (TELLES, 1996), sendo realizado quando os equipamentos estão fora de serviço.

Segundo a NR-13 (2014), esta pressão de teste deve ser três vezes maior que a condição nominal do equipamento, simulando assim as condições de trabalho mais rigorosas em que o equipamento foi projetado para trabalhar e objetivando garantir que em trabalho normais, a baixa pressão, os vasos de pressão suportem os esforços de trabalho sem que ocorra vazamento ou até mesmo a ruptura. Desde a publicação da NR 13 de 1995 é um teste exigido por lei em vasos de pressão, com um intervalo máximo para a execução de acordo com a categoria do equipamento.

Telles (1996) afirma que o teste hidrostático tem a finalidade de detectar possíveis vazamentos, proporcionar alívio de tensão oriunda das descontinuidades geométricas do equipamento novo antes de sua operação e verificar a integridade física do equipamento através de exames periódicos de acordo com a NR 13.

No caso de testes hidrostáticos realizados no Brasil, as condições do teste devem ser determinadas em função das exigências do código de projeto do equipamento e definidas entre fabricante e usuário, sendo atribuída a responsabilidade ao Profissional Habilitado.

Segundo Brasil (2006), a inspeção periódica por meio de teste hidrostático deve obedecer a prazos máximos de acordo com dois casos em particular. Para o caso de o estabelecimento não possuir sistema próprio de inspeção de equipamentos, a inspeção se dá de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2- Prazo para realização do teste hidrostático para estabelecimentos sem sistema próprio de inspeção de equipamentos.

Categoria do Vaso	Período para o Teste Hidrostático
I	6 anos
II	8 anos
III	12 anos
IV	16 anos
V	20 anos

Fonte: NR-13 (2014)

Para estabelecimentos que tenham sistema próprio de inspeção de equipamentos, os prazos de inspeção se tornam mais longos, como exposto na Tabela 3.

Tabela 3- Prazo para realização do teste hidrostático para estabelecimentos com sistema próprio de inspeção de equipamentos.

Categoria do Vaso	Período para o Teste Hidrostático
I	12 anos
II	16 anos
III	a critério
IV	a critério
V	a critério

Fonte: NR-13 (2014).

O termo Sistema Próprio de Inspeção de Equipamentos, segundo Camisassa (2015), significa que na empresa possui um setor próprio para a realização de inspeções de segurança visando assegurar as condições seguras de operação desses equipamentos.

3.6.1. Aplicabilidade do teste hidrostático.

Em geral, os testes hidrostáticos devem ser realizados por exigência do código de projeto, ao término de fabricação do equipamento e após a realização de reparos ou alterações de projetos em que houver a realização de soldagem. No Brasil, a execução periódica dos testes hidrostáticos em vasos de pressão deve ser realizada por obrigatoriedade, como descrito na NR 13.

De acordo com a NR-13 (2014), algumas situações estão previstas em que o teste hidrostático periódico é inviabilizado: quando a resistência estrutural da fundação em que foi instalado o vaso for menor que ao peso de água a ser usado no teste, ou quando possa ocorrer um efeito prejudicial da água usada no teste a elementos do vaso de pressão e quando não é possível efetuar uma secagem no sistema.

Porém, segundo Pereira Filho (2004), como esta norma não caracteriza de forma objetiva o defeito subcrítico, profissionais da área preferem dispensar esta permissão, exatamente por não saber o que considerar como defeito subcrítico, uma vez que a maioria, se não todas, das estruturas e equipamentos existem defeitos.

De acordo com Donato (2007), os testes hidrostáticos não possuem qualquer função estrutural, uma vez que todas as deformações e rearranjos de tensões ocorrem no ponto de pressão do teste de fábrica. Novas deformações só ocorreriam caso o exame for realizado em níveis de pressão superiores aos de fábrica, sendo assim, uma prática não recomendada.

3.6.2. Procedimento ao se realizar um teste hidrostático.

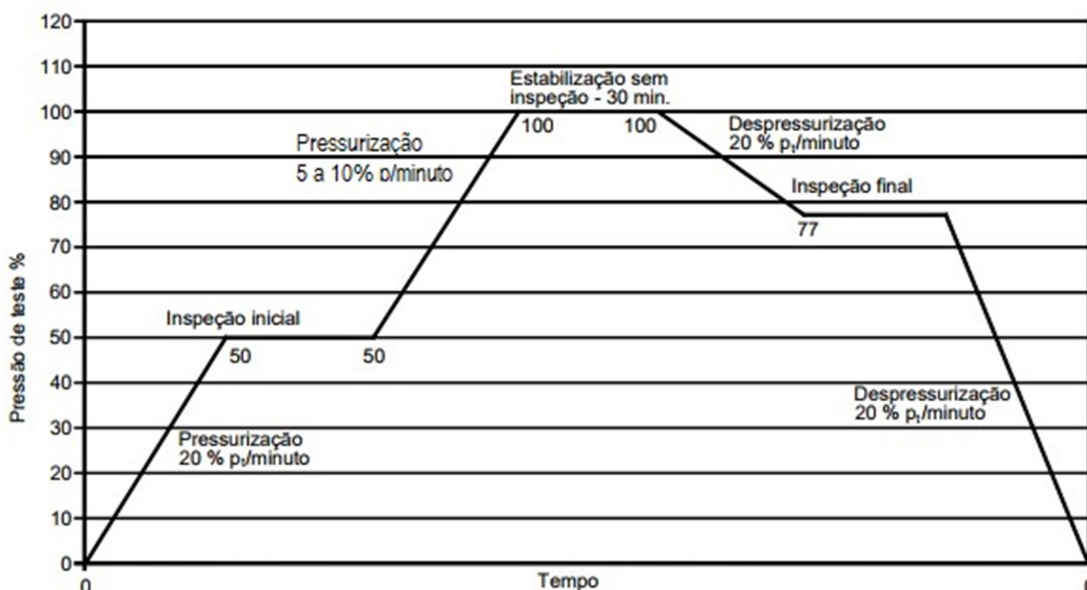
Como a realização do teste hidrostático é um evento potencialmente perigoso, as condições do teste devem ser determinadas privilegiando não só a segurança dos equipamentos como também das pessoas envolvidas no processo.

No geral, são duas as principais variáveis envolvidas no processo, pressão e velocidade do teste. Quanto ao fluido, geralmente, usa-se água, por ser um líquido de pequena compressibilidade e de fácil obtenção. Atentando aos casos em que os vasos de pressão são confeccionados com aço inoxidáveis austeníticos ou com revestimento desses materiais, a água do teste não pode conter mais de 50ppm (partes por milhão) de cloretos. Após o teste o vaso deve ser completamente drenado e seco.

A pressão do teste hidrostático deve ser medida no topo e no fundo do vaso, porém a pressão que deve ser adotada como pressão teste é a que será medida no topo do vaso. No fundo do vaso, esta pressão será adicionada a carga hidráulica. Recomenda-se o uso de no mínimo dois manômetros aferidos para o acompanhamento do teste, um acoplado no sistema de pressurização de maneira a facilitar o controle da velocidade de pressurização e o outro no topo do vaso. (TELLES, 1996)

A velocidade de pressurização recomendada, segundo a Furini (2012), não deve ser maior que 20% da pressão do teste, quando atingir a metade da pressão do teste hidrostático a velocidade da pressurização deve ser de 5 a 10% da pressão do TH até chegar a pressão do teste final. A execução do teste pode seguir a sequência mostrada na Figura 1.

Figura 2 - Curva de Velocidade de Pressurização.



Fonte: Adriano Furini 2012.

A Figura 2 mostra como é realizada a velocidade do teste hidrostático, onde no primeiro momento, a velocidade do teste deve ser de 20% da pressão do teste final por minuto. Ao atingir a metade pressão final, deve-se manter esta pressão por um período, recomenda-se que um período de 5 minutos. Onde é feito a primeira inspeção a procura de possíveis vazamentos. Logo em seguida retoma a pressurização com uma velocidade de 5 a 10% da pressão final do teste por minuto, ao atingir a pressão final do teste, deve-se mantê-la por um tempo de até 30 minutos. Em seguida é feito um alívio da pressão onde é realizado mais uma inspeção a procura de possíveis vazamentos. A despressurização é realizada por fim até não ter mais pressão no vaso.

Segundo Furini (2012), deve ser selecionada uma temperatura de teste compatível com a temperatura de projeto do equipamento, com o objetivo de evitar a ocorrência de fratura frágil durante a realização do teste. O autor ainda afirma que a temperatura do metal deve ser superior em 17°C da temperatura mínima de projeto para equipamentos com espessuras superiores a 50,8mm, já em equipamentos com espessuras menores a temperatura do metal deve ser 6°C acima da temperatura mínima de projeto. Em material como aços carbono, baixa liga, ferríticos, materiais comumente utilizados na confecção de vasos de pressão, são muito susceptíveis a fraturas frágeis, portanto, essas restrições na temperatura. Um recurso muito utilizado na indústria para evitar estas fraturas, é aumentar a tenacidade da estrutura, aquecendo a água (FURINI, 2012).

Para Furini (2012), a condição importante de teste hidrostático quanto a tensão máxima atuando nas paredes dos vasos de pressão deve ser de 80% do limite de escoamento do material nas paredes pressurizadas. Segundo Donato (2007), a pressão do primeiro teste hidrostático realizado no equipamento deve ser a maior possível, respeitando a segurança da parte mais fraca. A NR 13 permite que em testes hidrostáticos periódicos as condições do teste possam ser idênticas aquelas do teste de fábrica. Porém, muitos profissionais habilitados preferem não fazer uso dessa recomendação tendo em vista que como o equipamento já foi submetido a determinados tempos de operação e vários esforços, com prováveis desgastes de suas dimensões. Dessa forma, considera uma nova condição de teste uma pressão de até 1,5 vezes a pressão de trabalho do vaso (DONATO, 2007).

4. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica abordando um dos equipamentos regidos pela NR-13 (2014), os vasos de pressão abordando o funcionamento e classificação.

Com base na NR-13, foi feito um modelo de um prontuário de vasos de pressão, com o intuito de facilitar posteriormente a elaboração de um prontuário nele contendo o mínimo de informações possíveis requerida pela norma regulamentadora para Vasos de Pressão.

Após o embasamento teórico, foi realizado um estudo de caso em um vaso de pressão, que é um cilindro compressor, com fluido de ar comprimido, de pressão máxima de operação de 11,6976kgf/cm² e volume de 2m³. Onde, de acordo com os itens estudados anteriormente está enquadrado na classe C dos vasos de pressão, grupo potencial de risco 5 e categoria V. Foi realizada aplicação e verificação de itens contidos na NR 13 com relação à segurança, instalação e manutenção, através da verificação do laudo do equipamento.

Este laudo foi obtido em uma empresa de inspeção de equipamentos localizada na cidade de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, onde sua atividade primaria é testes e análises técnicas.

Foram analisados os resultados por meio de calculo teórico e posteriormente foi realizado o teste hidrostático a fim de conferir os dados obtidos através dos cálculos da PMTA.

Para a identificação da situação do atendimento ou não aos requisitos da NR 13, optou-se pela elaboração e utilização de uma lista de verificação adaptada aos itens presentes nesta norma, como pode ser observado na Figura 3 e está disponível no anexo deste trabalho.

Figura 3 - Lista de Verificação (Check-List).

ITENS DA INSPEÇÃO			
01	Localização	Aspectos gerais	
02	Corpo e tampos	Aspectos corrosivos e gerais	
03	Saías/apoios/suportes	Frestas abertas, impermeabilização e outros	
04	Conexões e portas	Vazamentos	
05	Soldas	Visual e aspectos gerais	
06	Fundações e piso	Chumbadores e chapas de apoio	
07	Pintura	Aspectos gerais	
08	Vias de acesso ao vaso	Escadas, plataformas e outros	
09	Iluminação normal de emergência	Aspectos gerais	
10	Ventilação	Aspectos gerais	
11	Acesso a válvula de segurança	Escadas, plataformas e outros	
12	Válvula de segurança	Lacres e aspectos corrosivos	
13	Aterramento	Estado dos cabos elétricos	
14	Placa de identificação	Aspectos gerais e localização	
15	Manômetro	Funcionamento e aspectos gerais	
16	Válvula/registro de purga	Funcionamento e aspectos gerais	

Fonte: adaptado NR 13 (2014).

Para Albertichi (2013) a lista de verificação é uma série de perguntas em relação ao sistema de análise, a fim de verificar as conformidades, e o mais importante a não conformidade, que possa trazer risco ao trabalhador e o ambiente de trabalho. Assim, o principal objetivo da lista é levantar dados que possam identificar os riscos através de uma avaliação padrão em alguma atividade em andamento, sendo o nível de detalhamento determinado de acordo com o risco da atividade em foco.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O vaso de pressão, nomeado vaso de pressão CRIL-VP-001, que teve seu laudo analisado é utilizado para o confinamento de ar comprimido empregado para facilitar a pintura com pistola e enchimento de pneus, entre outros serviços que necessite de fluxo de ar.

Como pode ser observado na Figura 4, o equipamento possui identificação visível ao corpo quanto à numeração, para controle interno da capacidade de produção e PMTA. A placa de identificação é requisito estabelecido pela NR 13.

Figura 4 - Lista de Verificação (Check-List).



FONTE: autoria própria (2017).

Na Tabela 4 abaixo foram transcritas as informações da placa de identificação para melhor visualização.

Tabela 4 - Prontuário do Vaso de Pressão CRIL-VP-001.

Identificação do Vaso	CRIL-VP-001
Fabricante	MOTOMIL-COMPRESSORES
Localização	CASA DE MAQUINAS
Ano de Fabricação	2015
Categoria	V
Fluido	Ar Comprimido
Volume (m ³)	2,00
PMTA	13,00

FONTE: Autoria própria (2017).

5.1. Disposições Gerais

Na Figura 5, são apresentados os subitens relacionados ao item 13.5.1, a que se refere às disposições gerais dos vasos de pressão, da NR-13, conforme a mesma recomenda.

Figura 5 - Prontuário do Vaso de Pressão.

PRONTUÁRIO DE VASO DE PRESSÃO			
1. IDENTIFICAÇÃO:		2. CÓDIGO DE PROJETO	
1.1 Identificação do Vaso	CRIL-VP-001	Código:	ASME, Seção VIII, Dv. I
1.2 Fabricante	MOTOMIL COMPRESSORES	Ano da Edição	2013
1.3 Localização	CASA DE MÁQUINAS	3. ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	
1.4 Ano de Fabricação	2015	3.1 Cascos, tampos, mатаjuntas e base de fixação:	
1.5 Categoria	V	ASTM A 414 Gr D	
1.6 Fluido	Ar Comprimido		

FONTE: Autoria própria (2017).

Visto a não conformidade com o subitem 13.5.1.6, que fala que todo vaso de pressão deve conter junto ao equipamento documentos atualizados como, o prontuário, registro de segurança, projeto de instalação, projeto de inspeção, e os relatórios de inspeção. Deve-se assim, de acordo com o subitem 13.5.1.7 realizar a geração do prontuário, uma nova construção de prontuário do vaso de pressão. Foi recomendada ao proprietário do vaso em questão, com responsabilidade técnica do fabricante ou do profissional habilitado.

5.2. Instalação de Vasos de Pressão

Na Figura 6 estão listados os dados que se referem sobre instalação de vasos de pressão conforme solicita a NR 13 (2014).

Figura 6 - Local de Instalação do Vaso de Pressão CRIL-VP-001.

4. LOCAL DA INSTALAÇÃO		
Equipamento	Identificação	Localização
VASO DE PRESSÃO	CRIL-VP-001	CASA DE MÁQUINAS
Empresa	Endereço	
CRIL SOLUÇÕES AMBIENTAIS	Rua: Hernandez A. Pereira, 1056 - Planalto 13 de Maio - Mossoró/RN.	

FONTE: Autoria própria (2017).

De acordo com a Figura 6, verifica-se que o equipamento atende as recomendações propostas no item 13.5.2 da NR 13 (2014), que se refere às instalações de vasos de pressão.

No subitem 13.5.2.1 da NR-13 (2014) diz que todo vaso de pressão deve possuir seus drenos, válvulas e indicadores de nível com fácil acessibilidade. E no subitem 13.5.2.2, os vasos de pressão quando instalados em ambientes fechados devem possuir por pelo menos 2 saídas amplas e sem obstruções, e direções contrárias.

5.3. Segurança na Operação de Vasos de Pressão

São listados na Figura 7 os dispositivos de segurança presentes no vaso de pressão, referente ao item 13.5.3.1, segurança na operação de vasos de pressão, da NR-13 (2014). Onde fala que todo vaso de pressão enquadrado nas categorias I e II deve possuir manual próprio e relatório de inspeção periódica, em língua portuguesa e em local de fácil acesso.

Figura 7 - Segurança na Operação do Vaso de Pressão.

6. DADOS PARA MONITORAMENTO DA VIDA ÚTIL
Relatório de inspeção periódica e desenho.
7. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA
7.1 Dispositivos
Manômetro e Válvula de Segurança.
7.2 Pressão de Abertura da Válvula de Segurança (Kgf/cm²)
13,00

FONTE: Autoria própria (2017).

De acordo com o subitem 13.5.4.10 da NR-13 (2014), demonstra que todo reparo ou alteração em vasos de pressão tem que respeitar o projeto de construção, como diz o fabricante, no que se refere a materiais; procedimentos de execução; procedimentos de controle de qualidade e qualificação e certificação de pessoas.

O vaso de pressão analisado não apresentou nenhum sinal de reparo em suas características de fábrica. Portanto, de acordo com o mesmo item da NR, não apresenta nenhuma não conformidade.

5.4. Inspeção de Segurança de Vasos de Pressão

Neste tópico são apresentados os dados, conforme a NR-13 (2014) e exposto na Figura 7, que se refere à inspeção de segurança de vasos de pressão.

Figura 8 - Inspeção do Vaso de Pressão em forma de check-list.

ITENS DA INSPEÇÃO			
01	Localização	Aspectos gerais	OK
02	Corpo e tampos	Aspectos corrosivos e gerais	OK
03	Saías/apoios/suportes	Frestas abertas, impermeabilização e outros	OK
04	Conexões e portas	Vazamentos	OK
05	Soldas	Visual e aspectos gerais	OK
06	Fundações e piso	Chumbadores e chapas de apoio	OK
07	Pintura	Aspectos gerais	OK
08	Vias de acesso ao vaso	Escadas, plataformas e outros	OK
09	Iluminação normal de emergência	Aspectos gerais	OK
10	Ventilação	Aspectos gerais	OK
11	Acesso a válvula de segurança	Escadas, plataformas e outros	OK
12	Válvula de segurança	Lacres e aspectos corrosivos	OK
13	Aterramento	Estado dos cabos elétricos	OK
14	Placa de Identificação	Aspectos gerais e localização	OK
15	Manômetro	Funcionamento e aspectos gerais	OK
16	Válvula/registro de purga	Funcionamento e aspectos gerais	OK

FONTE: Autoria própria (2017).

Os resultados desta inspeção são visto em forma de check-list elaborado para facilitar as condições de cada item da NR-13(2014). Tais como: os itens 01, 08, 09, 10 e 11 do check-list são verificados as condições da NR-13, no quesito 13.5.2.2 nele são conferidas se o vaso foi instalado em local correto, respeitando a norma, como dispor de duas saídas amplas e permanentemente desobstruída, fácil acesso e seguro, dispor de boa iluminação e ventilação. Nos itens 02, 03, 04, 05, 06 e 07 são verificados os aspectos corrosivos do corpo do vaso e seus componentes, verificado se há algum tipo de vazamento e aspecto visual das juntas. Nos itens 12, 13, 15 e 16 é verificado de acordo com quesito 13.5.4.9 da NR-13 estão calibradas e em bom estado de acordo com os parâmetros de projeto. No item 14 da check-list da Figura 8, é conferido de acordo com o quesito 13.5.1.5 da NR-13 se a placa de identificação contem as informações mínimas exigidas pela norma como, classificação, grupo de risco e classe do fluido, e o código de identificação do vaso de pressão.

5.5. Cálculo do PMTA e Teste Hidrostático.

Aqui será visto as formulas para cálculos da pressão máxima de trabalho admissível, PMTA a critério da norma ASME seção VIII divisão I, onde este trás formulas e critérios de dimensionamentos de vasos de pressão, com base neste código foram realizado os cálculos de PMTA de duas perspectivas diferentes listadas abaixo; PMTA do corpo e do tampo do vaso.

5.5.1. PMTA do corpo horizontal

$$PMTA = \frac{SE(t-c)}{R+0,6(t-c)} \quad \text{Equação 11}$$

5.5.2. PMTA do tampo horizontal

$$PMTA = \frac{2SE(t-c)}{D-1,8(t-c)} \quad \text{Equação 12}$$

A pressão de trabalho do vaso de pressão deve ser o menor dos valores calculado. Sendo assim, a base de calculo do PMTA é listada na Figura 8. Onde “S” é a tensão em kgf/cm², “E” é a eficiência da junta, “t” é a espessura mínima em mm, “c” é à margem de corrosão em mm e “R” é o raio interno.

As características dimensionais do vaso de pressão estudado foram os a seguir: As espessuras mínimas do cilindro e do tampo, 2,97 e 2,93 mm, respectivamente, o diâmetro interno do vaso é de 1414,06 mm. O material do vaso é o ASTM-A414 Gr.D e de acordo com a tabela , vista no anexo obtivemos a tensão de 1885,0Mpa, a eficiência da junta de 2,0, de acordo com o item UW-12 do código da ASME seção VIII divisão 1 e a margem de corrosão de 0,5mm com com base no item UG-25 do mesmo código ASME.

Esses dados para cálculo foram retirados das características do vaso de pressão em seu estado no momento do teste juntamente com valores retirados das especificações do fabricante.

Assim, fazendo os cálculos propostos com os dados acima mencionados, encontrou-se a pressão máxima de trabalho admissível:

Para os cálculos da PMTA do corpo do vaso pela equação 11, temos que:

$$PMTA = \frac{SE(t-c)}{R+0,6(t-c)}$$

$$PMTA = \frac{1885 * 2(2,97 - 0,5)}{707,03 + 0,6(2,97 - 0,5)}$$

$$PMTA = 13,14 \text{ Mpa}$$

Já ára os cálculos da PMTA do tampo do vaso, pela equação 12, temos que:

$$PMTA = \frac{2SE(t - c)}{D - 1,8(t - c)}$$

$$PMTA = \frac{2 * 1885 * 2(2,97 - 0,5)}{1414,06 - 1,8(2,97 - 0,5)}$$

$$PMTA = 13,00 \text{ Mpa}$$

Como exposto na Figura 9.

Figura 9 - Resultados do Cálculo da PMTA.

5. RESULTADOS			
	Kgf/cm ²	Mpa	PSI
PMTA do Corpo	13,14	1,29	186,80
PMTA do Tampo	13,00	1,27	184,73
PMTA de Projeto	13,53	1,33	192,30

FONTE: Autoria própria (2017).

O menor valor para o sistema é a PMTA do tampo do vaso de pressão, que é 13kgf/cm². Portanto a pressão máxima de trabalho admissível para este vaso de pressão é de 13kgf/cm². O teste hidrostático, de acordo com a NR 13 (2014) deve ser realizado com 1,5 da PMTA, porém, o valor adotado pelo profissional habilitado foi o de 1,3 da PMTA, igual a 16,9kgf/cm².

Depois de feito o teste hidrostático, com pressão de teste igual a 16,9kgf/cm², foi constatado que o vaso de pressão suportou a pressão de teste, e assim suportará a pressão máxima de trabalho admissível e atenderá aos esforços de trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi o de estudar os requisitos de segurança, instalação e manutenção de dispositivos tratados na NR 13, referente a caldeiras e vasos de pressão. Dessa forma, foram definidos caldeiras e vasos de pressão e apresentados os principais itens a ser atendidos com relação a instalação e manutenção de vasos de pressão.

Após isso foi realizado um estudo de caso a respeito de um vaso de pressão, analisando seu laudo de inspeção e manutenção e verificando a adequabilidade com os itens presentes na norma.

Portanto deve-se dar importância às inspeções iniciais e periódicas, pois comprova que o equipamento está operando em condições seguras. É uma ferramenta importante para auxiliar estas inspeções é o teste hidrostático, pois força os vasos de pressão operar em condições superiores as de trabalho, o que comprova a ausência de vazamentos e possibilita a confirmação da integridade do vaso quanto à capacidade de resistir às condições operacionais.

O estudo mostra que quando os vasos de pressão aos quais são enquadrados nos requisitos previstos na NR-13 são realizados às inspeções de segurança periodicamente, para atender a NR-13, os vasos de pressão podem trabalhar de forma eficiente, sem trazer danos ao ambiente de trabalho, sem perda de produtividade e assim sem prejuízos.

REFERÊNCIAS

ASME, **Rules for Construction of Pressure Vessels**, 2002 Addenda ed., vol. Section VIII Division 1, New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, 2002.

ASME, **Vasos de pressão**. Tradução do Instituto Brasileiro de Petróleo. 1ª Ed. Rio de Janeiro, IBP, 1986.

ALBERICHI, Mariano. **Estudo das instalações e operações de caldeiras de uma indústria de produção de produtos químicos do estado do Paraná, sob ótica da NR-13 e NR-28**. 2013. 103 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ALMEIDA, Rogério Fabiano. **Aplicação da NR-113 em vasos de Pressão: Estudo de caso em tanques criogênicos em quatro indústrias de Curitiba-PB**. 2014. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR., Curitiba, 2014. Cap. 6.

ALTAFINI, Carlos R. **Curso de engenharia mecânica** – disciplina de máquinas térmicas – apostila sobre caldeiras – Universidade de Caxias do Sul, 2002. Disponível em <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/caldeirasapostila.pdf>>. Acesso em 10/10/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR ISO 16528**: Caldeiras e vasos de pressão. Rio de Janeiro: Moderna, 2015. 18 p.

BAZZO, Edson. **Geração de vapor**. 2. ed. Florianópolis: Ufsc, 1995. 216 p.

BIZZO, Waldir A. **EM 722** - geração, distribuição e utilização de vapor. Ca 4. UNICAMP, 2001. Disponível em <<http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP4.pdf>>. Acesso em 11/10/2016.

BUDYNAS, Richard G. et al. **Elementos de máquinas de shigley**: Projeto de Engenharia Mecânica. 8. ed. Porto Alegre: Amgh, 2011.

CAMISASSA, Mara Queiroga. **Segurança e Saúde no Trabalho**: NRs 1 a 36 Comentadas e Descomplicadas. São Paulo: Editora Método, 2015.

CAMPOS, Márcia Aparecida de. **Estudo das instalações e operação de caldeira e vasos de pressão de uma instituição hospitalar, sob análise da NR-13**. 2011. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho., Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2011.

CARVALHO, Nestor Ferreira de, **Apostila do curso de inspeção e manutenção em vasos de pressão**, Universidade Petrobras, 2008.

DONATO, G. V. P., **Apostila de vasos de pressão**, Programa de Formação Universidade Petrobras, 2007.

DUTRA, Aldo Cordeiro et al. **Manual Técnico de Caldeiras e Vasos de Pressão**. Brasília: MTE, SIT, DSST, 2006.

FURINI, Adriano. **Avaliação da aplicabilidade do teste hidrostático em vasos de pressão visando a garantia da integridade**. 2012. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade do Vale do Paraíba - Univap, São José dos Campos, 2012.

GÓIS, Fernando. **Dimensionamento do Vaso de Pressão**. 2015. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

LEITE, Nilson Ribeiro; MILITÃO, Renato de Abreu. **Tipos e aplicações de caldeiras**. São Paulo: Petrobras, 2008. 15 p. Disponível em: <https://lcsimeir.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2016.

MARTINELLI JR, Luiz C. **Geradores de vapor**. UNIJU: Campus Panambi, 2002. Disponível em <<http://www.saudeetrabalho.com.br/download/gera-vapor.pdf>>. Acesso 15/10/2016.

MATHIAS, Artur Cardozo. **Válvulas: Industriais Segurança e Controle**. Serras - Es: Artliber, 2008. 464 p.

Norma Regulamentadora 13 do Ministério do Trabalho e Emprego, Brasil, 28 de abril de 2014, Governo Federal.

NORTON, Robert L.. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookmon, 2013.

PERA, Hildo. **Geradores de Vapor: um compêndio sobre conversão de energia com vistas à preservação da ecologia**. São Paulo: Fama, 1990. 25 v.

PEREIRA FILHO, Jorge dos Santos. **Análise de efeitos de teste hidrostáticos em vasos de pressão**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ROCCO, Cleber Damião; MORABITO, Reinaldo. **Um modelo de otimização para as operações de produção de vapor em caldeiras industriais**. *Gest. Prod.*, São Carlos, p.273-286, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v19n2/v19n2a04>>. Acesso em: 07 Julho de 2016.

ROCHA, Ricardo Silva. **Avaliação do alívio mecânico de tensões residuais devido a sobrecarga provocada por teste hidrostático**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

STROBEL. **Caldeiras**. Curitiba, 2010. Color. Disponível em: <[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM364/Material de Aula/Aula de caldeiras.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM364/Material%20de%20Aula/Aula%20de%20caldeiras.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2016.

STÛV. **Chaminé de tiragem**. Disponível em:. Acesso em: 15 nov. 2016.

TAMBELLINI, Flavio. **Otimização de projeto Termohidráulico de caldeiras flamotubulares escocesas**. 1992. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Térmica e Fluidos - Fem, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

TELLES, Pedro Carlos Silva. **Vasos de pressão**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 1996.

ZOTTIS, Juliana; SOUZA, Rodrigo de (Ed.). **Tiragem**. Santa Maria: UFSM, 2008. 27 f.

ANEXOS

Modelo de um Prontuário para vasos de Pressão.

1. IDENTIFICAÇÃO

1.1 Código do produto:
 1.2 Vaso de Pressão: Classe; Categoria; Grupo;
 1.3 Ano de Fabricação:

2. DADOS DE OPERAÇÃO

2.1 Fluidos de trabalho:
 2.2 Pressão Máxima de Trabalho admissível (PMTA):
 2.3 Pressão Máxima de Operação:
 2.4 Temperatura de trabalho:

3. DADOS DE PROJETO

3.1 Referencia do Projeto:
 3.2 Diâmetro interno:
 3.3 Espessura nominal do Cilindro:
 3.4 Espessura nominal do tampo:
 3.5 Pressão Interna do Projeto:
 3.6 Pressão Externa do Projeto:
 3.7 Pressão Máxima do Teste Hidrostático:
 3.8 Temperatura mínima/máxima durante o teste hidrostático:
 3.9 Temperatura mínima do projeto:
 3.10 Temperatura máxima do projeto:

4. MATERIAIS

1.1 Cilindro:
 1.2 Tampo:
 1.3 Base:
 1.4 Válvulas:

5. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Aqui devem ser listados os aspectos construtivos do vaso de pressão, como; tipos de soldas realizadas no projeto, juntas entre tampo e corpo.

6. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

Aqui são listados todos os procedimentos de inspeção realizados no vaso de pressão, tais como: inspeção das soldas. Quais exames realizados: Exames radiográficos, teste hidrostático.

7. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

Aqui devem ser listados os dispositivos de segurança presentes no vaso de pressão, tais como: válvulas de segurança, pressão de abertura, materiais utilizados.

8. RECOMENDAÇÕES

Aqui se faz uma serie de recomendações das quais os clientes devem ficar atentos no manuseio do vaso de pressão de acordo com a Norma.

9. DESENHO TECNICO DO EQUIPAMENTO

Aqui se deve colocar os desenhos técnicos do vaso de pressão.

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO NR-13		RELATÓRIO N°: FCK-NR13-0035/17	
				PAGINA: 01 - 06	
				DATA: 18/08/2017	
PRONTUÁRIO DE VASO DE PRESSÃO					
1. IDENTIFICAÇÃO:			2. CÓDIGO DE PROJETO		
1.1 Identificação do Vaso			Código: ASME, Seção VIII, Dv. I		
1.2 Fabricante			Ano da Edição: 2013		
1.3 Localização: CASA DE MÁQUINAS			3. ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS		
1.4 Ano de Fabricação: 2015			3.1 Cascos, tampos, matajuntas e base de fixação:		
1.5 Categoria: V			ASTM A 414 Gr D		
1.6 Fluido: Ar Comprimido					
4. LOCAL DA INSTALAÇÃO					
Empresa			Endereço		
5. ESPECIFICAÇÕES			6. DADOS PARA MONITORAMENTO DA VIDA ÚTIL		
5.1 Comprimento Corpo (mm): 1050,00			Relatório de inspeção periódica e desenho.		
5.2 Diâmetro (mm): 1420,00			7. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA		
5.3 Alt. Calota (mm): 280,00			7.1 Dispositivos		
5.4 Espessura Mínima do Cilindro (mm): 2,97			Manômetro e Válvula de Segurança.		
5.5 Espessura Mínima do Tampa (mm): 2,93			7.2 Pressão de Abertura da Válvula de Segurança (Kgf/cm²)		
5.6 Volume (m³): 2,00			13,00		
5.7 Pressão Máxima de Operação (Kgf/cm²): 11,70					
5.8 Pressão Máxima de Trabalho (Kgf/cm²): 13,00					
5.9 Pressão de Teste (Kgf/cm²): 16,90					
8. PROCEDIMENTO UTILIZADO NA FABRICAÇÃO, MONTAGEM, INSPEÇÃO E DETERMINAÇÃO DA PMTA					
Foram realizados ensaios de medição de espessura e cálculos para a determinação da PMTA.					
9. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS			10. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS FUNCIONAIS		
Descrição Resumida: HORIZONTAL		Equipamento: VASO DE PRESSÃO			
Construção: SOLDADO		Espessura Nominal (mm): 2,97			
CLASSIFICAÇÃO DO VASO					
1. VERIFICAÇÃO QUANTO AO ENQUADRAMENTO NA NR-13			2. CATEGORIA DO VASO		
Identificação: CRIL-VP-001			PRODUTO: Ar Comprimido		
PMO (Kgf/cm²): 11,69762628			CLASSE: C		
V (m³): 2,00			PV=Mpa x m³=: 2,294327014		
PV: P(Kpa) x V (m³)					
PV: 2294,33			Grupo de Pontencial de Risco: 5		
(P x V) > 8, Vaso se enquadra na NR-13			Categoria: V		
3. INSPEÇÃO					
INSPEÇÃO VISUAL EXTERNA	INSPEÇÃO VISUAL INTERNA	TESTE HIDROSTÁTICO	MEDIÇÃO DE ESPESSURA		
Sem Anormalidades	N/A	N/A	Conforme Relatório de Inspeção FCK-ME-0035/17		
Data de Início: 13/08/2017					
Data do Término: 17/08/2017					
Engenheiro:	Coordenador de Qualidade:	Cliente:			

	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO NR-13	RELATÓRIO Nº: FCK-NR13-0035/17 PÁGINA: 02 - 06 DATA: 18/08/2017	
CÁLCULO DA PMTA			
1. DADOS PRELIMINARES			
EQUIPAMENTO	IDENTIFICAÇÃO	DATA DO CÁLCULO	
VASO DE PRESSÃO		18/08/2017	
RESPONSÁVEL			
NOME	CREA		
2. BASE DE CÁLCULO			
PMTA CORPO VERTICAL	PMTA = $[SE(t-c)]/[R+0,6(t-c)]$		
PMTA CORPO HORIZONTAL	PMTA = $[SE(t-c)]/[R+0,6(t-c)]$		
PMTA TAMPO VERTICAL	PMTA = $[2SE(t-c)]/[D+0,2(t-c)]$		
PMTA TAMPO HORIZONTAL	PMTA = $[2SE(t-c)]/[D-1,8(t-c)]$		
3. DADOS PARA CÁLCULO			
	mm	pol.	
Espessura Mínima do Cilindro	2,97	0,117	
Espessura Mínima do Tampo	2,93	0,115	
Diametro Interno	1414,06	55,672	
4. VALORES ADOTADOS			
Material	ASTM-A414 Gr. D		
Tensão (S) em Kgf/cm²	1885,0		
Eficiência de Junta	2,0		
Margem de Corrosão (c) em mm	0,5		
5. RESULTADOS			
	Kgf/cm²	Mpa	PSI
PMTA do Corpo	13,14	1,29	186,80
PMTA do Tampo	13,00	1,27	184,73
PMTA de Projeto	13,53	1,33	192,30
6. CONCLUSÃO			
	Kgf/cm²	Mpa	PSI
PRESSÃO MAX. DE TRAB. ADMISSÍVEL	13,00	1,27	184,73
PRESSÃO MAX. DE TESTE	16,90	1,66	240,20
Observações:			
Engenheiro:	Coordenador de Qualidade:	Cliente:	

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO NR-13		RELATÓRIO N°:	
				FCK-NR13-0035/17	
				PÁGINA:	
				03 - 06	
				DATA:	
				18/08/2017	
REGISTRO DE SEGURANÇA					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO					
Equipamento		Identificação		Localização	
VASO DE PRESSÃO				CASA DE MÁQUINAS	
Empresa			Endereço		
VASO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA					
					
ITENS DA INSPEÇÃO					
01	Localização	Aspectos gerais	OK		
02	Corpo e tampos	Aspectos corrosivos e gerais	OK		
03	Saías/apoios/suportes	Frestas abertas, impermeabilização e outros	OK		
04	Conexões e portas	Vazamentos	OK		
05	Soldas	Visual e aspectos gerais	OK		
06	Fundações e piso	Chumbadores e chapas de apoio	OK		
07	Pintura	Aspectos gerais	OK		
08	Vias de acesso ao vaso	Escadas, plataformas e outros	OK		
09	Iluminação normal de emergência	Aspectos gerais	OK		
10	Ventilação	Aspectos gerais	OK		
11	Acesso a válvula de segurança	Escadas, plataformas e outros	OK		
12	Válvula de segurança	Lacres e aspectos corrosivos	OK		
13	Aterramento	Estado dos cabos elétricos	OK		
14	Placa de Identificação	Aspectos gerais e localização	OK		
15	Manômetro	Funcionamento e aspectos gerais	OK		
16	Válvula/registro de purga	Funcionamento e aspectos gerais	OK		
Observações:					
Engenheiro:		Coordenador de Qualidade:	Cliente:		

	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO NR-13	RELATÓRIO N°: FCK-NR13-0035/17 PAGINA: 04 - 06 DATA: 18/08/2017
RELATÓRIO DE INSPEÇÃO		
1. DADOS PRELIMINARES		
TIPO DA INSPEÇÃO	PERÍODO DA INSPEÇÃO	
PERIÓDICA	13/08/2017	17/08/2017
RESPONSÁVEL HABILITADO		
Nome		CREA
2. CARACTERÍSTICAS DO VASO		
EQUIPAMENTO	IDENTIFICAÇÃO	FLUÍDO
VASO DE PRESSÃO		Ar Comprimido
		ANO DE FABRICAÇÃO
		2015
PMTA Kgf/cm²	Volume (m³)	Categoria
13,00	2,00	V
		Classe de Fluido
		C
		Grupo
		5
3. RESULTADO DA INSPEÇÃO		
3.1 EXAME EXTERNO		
a) O vaso funciona normalmente?		
☒	SIM	☐ NÃO
b) O vaso satisfaz todas as condições de segurança constante na ASME, Seção VIII, Div. I, e observáveis nesse exame?		
☒	SIM	☐ NÃO
3.2 EXAME INTERNO		
a) O vaso está em ordem e satisfaz as condições de segurança?		
☒	SIM	☐ NÃO
b) Foi observada alguma anomalia capaz de prejudicar a segurança?		
☐	SIM	☒ NÃO
3.3 ATUALIZAÇÃO DA PMTA		
a) A atual PMTA pode ser mantida?		
☒	SIM	☐ NÃO
3.4 TESTE HIDROSTÁTICO		
a) Foi realizado?		
☒	SIM	☐ NÃO
b) Foi observada alguma anomalia capaz de prejudicar a segurança?		
☐	SIM	☒ NÃO
c) O recipiente suportou satisfatoriamente o teste?		
☒	SIM	☐ NÃO
Engenheiro:	Coordenador de Qualidade:	Cliente:

	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO NR-13	RELATÓRIO Nº: FCK-NR13-0035/17
		PÁGINA: 05 - 06
		DATA: 18/08/2017

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO

3.5 OUTROS ENSAIOS

a) Foi realizado algum?

☒ SIM ☐ NÃO

Ensaio por medição de espessura - ME.

b) Foi observada alguma anomalia capaz de prejudicar a segurança?

☐ SIM ☒ NÃO

c) Foram oferecidos os instrumentos que interferem com a segurança do recipiente?

☒ SIM ☐ NÃO

d) Foram examinadas as válvulas de segurança e/ou alívio exigidas?

☒ SIM ☐ NÃO

e) Identificação da válvula de segurança e outras informações nos relatórios em anexo.

4. RECOMENDAÇÕES E PROVIDÊNCIAS**4.1 RECOMENDAÇÕES**

1. Não permitir que pessoas não habilitadas operem o vaso;
2. Não permitir que o vaso seja aberto sem a sua total despressurização;
3. É obrigada a instalação de manômetros e válvulas de segurança;
4. Manômetro e válvula de segurança do vaso ou sistema de interligado ao mesmo devem ser submetidos a manutenção preventiva pelo menos uma vez ao ano;
5. Nunca exceder a pressão máxima de trabalho admissível (PMTA);
6. Não soldar placas de identificação no corpo do vaso;
7. Efetuar novo teste hidrostático, se houver reparo em partes sob pressão;
8. Manter demarcados os locais destinados à medição de espessura;
9. Drenar o vaso periodicamente;
10. Disparar a válvula de segurança e/ou alívio periodicamente.

4.2 PROVIDÊNCIAS NECESSÁRIAS

1. Placa de identificação e as informações referentes a identificação do vaso e sua respectiva categoria;
2. Manter em boas condições a pintura do vaso;
3. Manter o manômetro em boas condições, manutenção, leitura e calibrado.

5. CONCLUSÕES

O recipiente inspecionado pode ser utilizado normalmente?

☒ SIM ☐ NÃO

Valor da PMTA a ser adotada (Kgf/cm ²)	13,00
--	-------

O recipiente deverá ser submetido à nova inspeção antes de:

Externa	Interna	Teste Hidrostático
13/08/2018	N/A	13/08/2027

Obs.: Os prazos estipulados pela norma NR-13 para cada categoria são máximos, as datas adotadas no relatório foram estipuladas por um Eng. Habilitado responsável pela inspeção.

Engenheiro:	Coordenador de Qualidade:	Cliente:
	