

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MARCELO CASTANHA CRISTIANI

**ESTUDO DOS PARÂMETROS DE SEGURANÇA EM UM VASO DE PRESSÃO CONFORME
NORMA REGULAMENTADORA 13**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

MARCELO CASTANHA CRISTIANI

**ESTUDO DOS PARÂMETROS DE SEGURANÇA EM UM VASO DE PRESSÃO
CONFORME NORMA REGULAMENTADORA 13**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni Bratti

PATO BRANCO

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

Estudo dos Parâmetros de Segurança Em Um Vaso de Pressão Conforme Norma Regulamentadora 13

Marcelo Castanha Cristiani

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 17/08/2021 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Júnior
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Roberto Nunes da Costa
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Giovanni Bratti
(UTFPR – Departamento de Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares que me apoiaram durante toda a minha trajetória acadêmica e pessoal, que acreditaram e me deram suporte para a minha formação.

A minha namorada por todo apoio e ajuda, que muito contribuiu para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade e pelo apoio demonstrados ao de toda a minha graduação.

Aos professores, por todos os ensinamentos que me permitiram ter uma formação de qualidade durante o período da graduação.

RESUMO

Cristiani, Marcelo Castanha. Estudo dos parâmetros de segurança em um vaso de pressão conforme Norma Regulamentadora 13. 2021. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

Esta pesquisa apresenta uma abordagem sobre os parâmetros de segurança que são obrigatórios para um funcionamento seguro de um vaso de pressão, que para o Brasil são normatizados pela Norma Regulamentadora 13. Para isto são discutidos os conceitos e cálculos para a determinação das tensões e da pressão máxima de operação e conseqüentemente da pressão de teste hidrostático. Além do mais são apresentados os prazos para as inspeções de segurança periódicas obrigatórias em vasos de pressão e os itens e válvulas a serem verificados. A partir de um estudo de caso de um vaso de pressão, utilizado por uma indústria de conformação de alumínio, são comparados os resultados calculados a partir da norma ASME com os resultados obtidos por um modelo simulado pelo método dos elementos finitos para este vaso. Ao final é apresentado um prontuário desenvolvido para este vaso.

Palavras-chave: Vaso de Pressão. Norma Regulamentadora 13. ASME.

ABSTRACT

Cristiani, Marcelo Castanha. Study of safety parameters in a pressure vessel according to Regulatory Standard 13. 2021. 117f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

This research presents an approach about safety parameters that are mandatory for a safety operation of a pressure vessel, in Brazil they are standardized by Regulatory Standard 13. For this It is discussed the concepts and calculation for the determination of the tensions and the maximum allowable operation pressure and consequently the pressure for the hydrostatic test. Moreover, are presented the terns for the periodic safety inspections in pressure vessels and the items and valves to be verified. From the study of a pressure vessel, that is used in an aluminum forming industry, the results from the ASME standard calculation are compared to the results by a model simulated by the finite element method for this vessel. At the end is showed an record developed for this vessel.

Keywords: Pressure Vessel. Regulatory Standard 13. ASME

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Cilindro submetido a pressão interna e externa	16
Figura 2 - Curva de velocidade de pressurização	23
Figura 3 - Distribuição dos pontos de medição de espessura	25
Figura 4 - Medidas gerais do vaso de pressão.....	27
Figura 5 - Recurso de aplicação de pressão no Software	28
Figura 6- Superfícies sobre pressão para simulação	29
Figura 7 - Vaso Freimar 17720.....	30
Figura 8 - Placa de identificação	30
Figura 9 - Informações gerais do vaso de pressão	32
Figura 10 - Relatório de Teste Hidrostático	36
Figura 11 - Pressão em função do tempo durante TH	37
Figura 12 - Tensões no vaso de pressão para a simulação 1	38
Figura 13 - Tensões no vaso de pressão para a simulação 2	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação por categoria dos vasos de pressão.....	15
Tabela 2 – Período máximo para inspeção nos de vasos de pressão	15
Tabela 3 - Prazos para a realização do teste hidrostático.....	22
Tabela 4 - Lista de verificações para vasos de pressão.....	26
Tabela 5 - Dados presentes na placa de identificação do vaso	30
Tabela 6 - Lista de verificações para vaso de pressão analisado	33
Tabela 7 - Espessuras do vaso de pressão	34
Tabela 8 - Valores de pressão em função do tempo durante o TH.....	36

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

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

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Principal	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 VASOS DE PRESSÃO	14
2.2 PROJETO DE VASO DE PRESSÃO	16
2.2.1 Cilindro De Parede Espessa	16
2.2.1 Cilindro De Parede Fina	17
2.3 NORMAS DE SEGURANÇA	18
2.3.1 Documentação	18
2.3.2 Segurança e Manutenção Conforme NR-13	19
2.4 INSTALAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO	21
2.5 TESTE HIDROSTÁTICO	21
2.5.1 Método Para Realizar O Teste Hidrostático	22
3 METODOLOGIA	25
3.1 CARACTERÍSTICAS DO VASO DE PRESSÃO	29
3.2 CÁLCULO DA PMTA	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 DISPOSIÇÕES GERAIS	32
4.2 SEGURANÇA PARA OPERAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO	32
4.3 INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DE VASOS DE PRESSÃO	33
4.4 CÁLCULO DA PMTA E DO TESTE HIDROSTÁTICO	34
4.5 SIMULAÇÕES	37
5 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41

APÊNDICE A – PRONTUÁRIO DO VASO DE PRESSÃO FREIMAR 17720.....	42
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

Vasos de pressão são equipamentos projetados para armazenar fluidos pressurizados, que podem assumir formas e tamanhos bastantes variados para desenvolver a sua principal função, que é a de contenção de fluido pressurizado, sem permitir que ocorram vazamentos. A manutenção e manuseio desta categoria de equipamento deve ser executada com cautela, pois as pressões possuem intensidade bastante elevadas.

Caldeiras, assim como vasos de pressão, também são utilizadas para armazenar fluidos pressurizados, mas ao contrário dos vasos de pressão que apenas desenvolvem esta função, as caldeiras também são usadas para a produção de vapor.

Indispensável as inspeções periódicas nestes equipamentos. O Brasil possui normas regulamentadoras para executar tais inspeções, dentre elas, a Norma Regulamentadora (NR) 13 que é uma norma do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil e tem como objetivo condicionar a operação de vasos de pressão. Esta norma foi criada em 08 de junho de 1978, sofreu uma revisão em 08 de maio de 1984 e uma atualização em 30 de julho de 2019.

A NR 13 recomenda condições e exames, incorporando a realização de Testes Hidrostáticos (TH) que devem ser executados de maneira 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 garantir a integridade física do equipamento.

No desenvolver do trabalho foi debatida a análise, após um levantamento da bibliografia, dos parâmetros de segurança de um vaso de pressão de acordo com a NR-13. Foi especificado o estudo do funcionamento e classificação, e elaboração de um prontuário de vasos de pressão exigidos de acordo com a norma.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal desse trabalho é analisar parâmetros de segurança em um vaso de pressão de acordo com a Norma Regulamentadora 13 e norma ASME.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar uma síntese da norma regulamentadora de vasos de pressão, NR-13;
- Realizar levantamento sobre os parâmetros a serem verificados além de periodicidade de teste de inspeção e manutenção, com ênfase no teste hidrostático;
- Elaborar um modelo de prontuário para vasos de pressão segundo as recomendações da norma NR-13;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VASOS DE PRESSÃO

Segundo Campos (2011), vaso de pressão é definido como qualquer dispositivo capaz de armazenar fluidos pressurizados e que seja projetado para suportar com segurança a pressões internas distintas da atmosférica. Para Telles (1996) todo recipiente, de qualquer formato, dimensão e finalidade, desde que seja capaz de armazenar um fluido pressurizado pode ser chamado de vaso de pressão. As aplicações de vasos de pressão na indústria são muitas como por exemplos reservatórios para ar comprimido que são utilizados para limpezas retirando materiais particulados de cima de superfícies de trabalho, reservatórios de amônia para sistemas frigoríficos, trocadores de calor, autoclave e distribuidores de ar comprimido ou vapor (*manifold*).

De acordo com a NR-13 (2019), os vasos de pressão possuem cinco categorias: I, II, III, IV e V, que indicam os períodos máximos para realização das inspeções periódicas de segurança. Estas categorias classificam os vasos de pressão com base em dois fatores, a classe do fluido armazenado e o grupo potencial de risco. Os fluidos são divididos em quatro classes: A, B, C e D. O potencial de risco é obtido através da multiplicação da pressão máxima de operação, em MPa, pelo volume do vaso em m³, ou seja P.V. Com essas duas informações é obtido a categoria conforme é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação por categoria dos vasos de pressão

Classe do fluido	Grupo potencial de risco				
	1 P.V \geq 100	2 P.V<100 P.V \geq 30	3 P.V<30 P.V \geq 2,5	4 P.V<2,5 P.V \geq 1	5 P.V<1
Categorias					
A -Fluidos pressurizados e fluidos combustível com temperatura igual ou superior a 200 °C. -Tóxicos com limite de tolerância \leq 20ppm. -Hidrogênio. -Acetileno	I	I	II	III	III
B -Fluidos combustíveis com temperatura inferior a 200 °C. -Fluidos tóxicos com limite de tolerância >20ppm.	I	II	II	IV	IV
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(2019)

Quando o fluido contido no vaso for uma mistura, a NR-13(2019) especifica que deve ser considerado durante a classificação o fluido que apresentar o maior risco à instalação e ao trabalhador, de acordo com a sua inflamabilidade, toxicidade e concentração. Com a categoria do vaso é definido os tempos máximos para as inspeções internas e externas, dependendo ainda se a empresa possui ou não Serviço Próprio de Inspeção de Equipamento (SPIE), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Período máximo para inspeção nos de vasos de pressão

Estabelecimento sem SPIE		
Categoria do vaso	Exame Externo	Exame Interno
I	1 ano	3 anos
II	2 anos	4 anos
III	3 anos	6 anos
IV	4 anos	8 anos
V	5 anos	10 anos
Estabelecimento com SPIE		
I	3 anos	6 anos
II	4 anos	8 anos
III	5 anos	10 anos
IV	6 anos	12 anos
V	7 anos	A critério

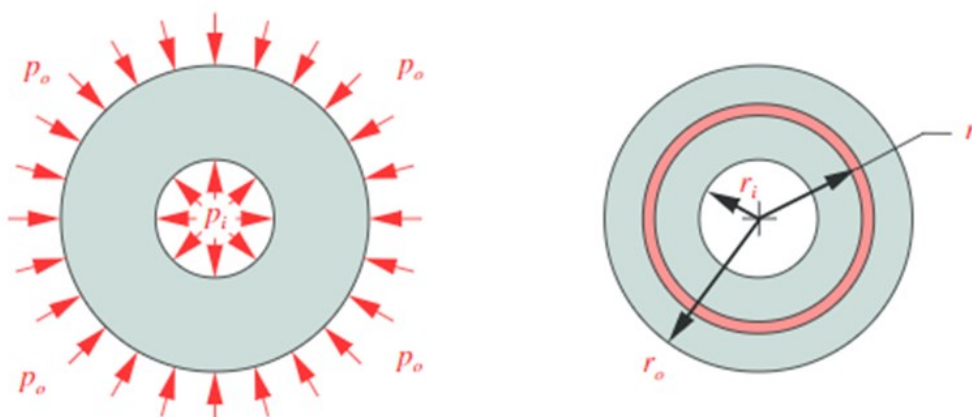
Fonte: adaptado de NR-13 (2019)

2.2 PROJETO DE VASO DE PRESSÃO

O principal objetivo do projeto de vaso de pressão é garantir que não ocorram falhas no material do vaso durante sua utilização. A NR-13 exige que os projetos dos vasos de pressão sejam realizados por engenheiros, denominados Profissionais Habilitados (PH), que é o profissional responsável por garantir a conformidade do projeto com a norma adotada.

Segundo Norton (2013), vasos de pressão são recipientes pressurizados que estão sujeitos a pressão interna ou externa, conforme ilustrados na Figura 1. Os cilindros fechados são submetidos a estado de tensão tridimensional, ou seja, tensões na direção tangencial, radial e longitudinal ou axial. Tais tensões são aplicadas ortogonalmente, sendo que não existe cisalhamento para pressões uniformemente distribuídas.

Figura 1- Cilindro submetido a pressão interna e externa



Fonte: Norton (2013)

2.2.1 Cilindro De Parede Espessa

Segundo Norton (2013), a partir das equações de Leme e utilizando de um elemento diferencial r , as tensões tangenciais (σ_t) e radiais (σ_r) podem ser calculadas pelas seguintes equações:

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}, \quad (2.1)$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}, \quad (2.2)$$

em que r_i , r_o e r são respectivamente os raios internos, externos e o raio no local de interesse e p_i e p_o são respectivamente as pressões internas e externas.

Se o cilindro possui as extremidades fechadas, a tensão axial é dada pela seguinte equação:

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}, \quad (2.3)$$

Norton (2013) ressalta que a Equação 2.3 não possui a variável r pois a tensão axial é uniforme na espessura do cilindro. Se $p_o=0$, ou seja, a pressão externa ser somente a atmosférica, as equações 2.1, 2.2 e 2.3 podem ser simplificadas para as seguintes formas:

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right), \quad (2.4)$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right), \quad (2.5)$$

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2}, \quad (2.6)$$

2.2.1 Cilindro De Parede Fina

De acordo com Norton (2013) para ser considerado um cilindro de parede fina a espessura deve ser menor que 1/10 do raio do cilindro. Neste caso, as tensões ao longo da espessura são consideradas como sendo uniformes e as equações 2.4, 2.5 e 2.6 são simplificadas para as seguintes formas:

$$\sigma_t = \frac{pr}{t}, \quad (2.7)$$

$$\sigma_r = 0, \quad (2.8)$$

$$\sigma_a = \frac{pr}{2t}, \quad (2.9)$$

sendo t a espessura do cilindro. A tensão tangencial é duas vezes maior que a tensão axial. Devido a isso, Budynas (2011) recomenda evitar soldas no sentido longitudinal do vaso ao projetar vasos de pressão que sejam considerados cilindros de paredes finas.

A norma ASME VIII div 1, é muito utilizada para projetos de vasos de pressão, pois segundo Norton (2013) as equações são válidas somente para casos sem qualquer tipo de concentração de tensão ou mudanças de seção. Neste caso a norma ASME recomenda que a espessura mínima do vaso de pressão seja determinada pela seguinte equação:

$$t = \frac{PR}{2SE+0,4P}, \quad (2.10)$$

em que t é a espessura mínima necessária em mm, P é a pressão interna em kgf/cm^2 , R é o raio em mm, S é a tensão admissível do material em kgf/cm^2 e E a eficiência da junta.

2.3 NORMAS DE SEGURANÇA

O documento técnico mais utilizado para projetos de vasos de pressão é a norma ASME seção VIII. A divisão 1 do código trata exclusivamente de vasos de pressão de parede fina, ou seja, aqueles em que a sua espessura não ultrapasse 1/10 do raio.

2.3.1 Documentação

No Brasil os vasos de pressão devem seguir os critérios da NR-13 para serem aprovados para operação. Esta norma possui força de lei, ou seja, para que o vaso de pressão seja aprovado para operação ele deve estar de acordo com os critérios da norma. A NR-13 (2019), especifica que o vaso de pressão deve conter os seguintes documentos: *prontuário, registro de segurança, projeto de instalação,*

projetos de reparo e alteração (se possuir), relatório de inspeção e certificados de calibração dos dispositivos de segurança.

Segundo Camisassa (2015), o prontuário é o conjunto organizado dos documentos que contenham as informações atualizadas do vaso de pressão. O prontuário é de responsabilidade do fabricante e deve acompanhar o vaso de pressão. Em caso de perda ou extravio, a responsabilidade de reconstruir um novo prontuário é do empregador. O prontuário reconstituído deve ser realizado por profissional habilitado e deve possuir Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). De acordo com a NR-13 (2019) o prontuário deve possuir as seguintes informações:

- Código de projeto e ano de edição;
- Especificação dos materiais;
- Procedimentos utilizados na fabricação;
- 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 alterada as originais;
- Dados dos dispositivos de segurança, atualizados pelo empregador sempre que alterado os originais;
- Ano de fabricação;
- Categoria do vaso, atualizada pelo empregador sempre que alterada a original.

2.3.2 Segurança e Manutenção Conforme NR-13

Foi criada em 08 de junho de 1978 a norma regulamentadora NR 13 do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil sofrendo revisões pelas portarias SSMT n.º2, de 8 de maio de 1984, SSMT n.º23, de 27 de dezembro de 1994, pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008, pela portaria MTE n.º 594 de 28 de abril de 2014, pela portaria n.º 1.082, de 18 de dezembro de 2018 e mais recentemente pela portaria SEPRT n.º 915, de 30 de julho de 2019

A Norma Regulamentadora NR-13 estabelece requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção. Tais cuidados são fundamentais para evitar explosões e exposição dos trabalhadores a riscos, visando assim à segurança e à saúde dos mesmos.

De acordo com a NR 13 os vasos de pressão devem ser dotados dos seguintes dispositivos de segurança:

- a. Válvula de segurança ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA), instalado diretamente no vaso ou no sistema que o inclui, considerando os requisitos do código do projeto relativos a aberturas escalonadas e tolerância de calibração;
- b. Vasos de pressão submetidos a vácuo devem ser dotados de dispositivos de segurança ou outros meios previstos no projeto, tem também submetidos à pressão positiva deve atender à alínea “a” deste subitem;
- c. Sistema de segurança que defina formalmente os meios para evitar o bloqueio inadvertidos de dispositivos de segurança (Dispositivo Contra Bloqueio Inadvertidos - DCBI), sendo que, na inexistência de tal sistema formalmente definido, deve ser utilizado no mínimo um dispositivo físico associado à sinalização de advertência;
- d. Instrumento que indique a pressão de operação, instalado diretamente no vaso ou no sistema que o contenha.

A norma denomina Profissional Habilitado (PH) aquele que tem responsabilidade e competência para exercício da profissão de engenheiro referente ao projeto de construção, acompanhamento de operações e manutenções, inspeção e supervisão de inspeção de vasos de pressão. (NR-13, 2019).

Segundo com a NR 13 (2014), os vasos de pressão serão, obrigatoriamente, submetidos à inspeção de segurança, tanto interna e externamente: antes de entrarem em funcionamento; após reforma ou modificação estrutural; periodicamente (conforme Tabela 1), 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 (2019) é a norma que regulamenta a inspeção de vasos de pressão no Brasil. Os dispositivos de segurança dos vasos de pressão têm por finalidade proteger os trabalhadores e os equipamentos de possíveis falhas em seu funcionamento. A falta destes dispositivos traz riscos graves. Os principais dispositivos de segurança são: *válvulas de segurança, manômetros, drenos, respiros*, e devem ser instalados de maneira a facilitar a vistoria e de fácil acesso para os trabalhadores.

Ainda a NR-13 (2019), no seu subitem 13.5.4.3, trata como obrigatoriedade a realização de um teste hidrostático, nos vasos de pressão em sua fase de fabricação, com comprovação de um laudo assinado pelo PH, e ter o valor do teste fixado em sua placa de identificação. O subitem 13.5.4.5, apresenta as diretrizes sobre as inspeções de segurança periódicas, as quais devem obedecer aos prazos máximos estabelecidos na tabela 2.

2.4 INSTALAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO

A NR-13 (2019) estabelece alguns critérios para o local de instalação dos vasos de pressão. Quando instalados em locais fechados, este deve possuir ao menos duas saídas distintas em direções opostas, dispor de acesso fácil e seguro para todas as atividades, dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas, iluminação e iluminação de emergência.

2.5 TESTE HIDROSTÁTICO

Vasos de pressão e outros equipamentos pressurizados como tanques e tubulões podem ser submetidos a testes hidrostáticos (TH). Esse teste consiste em submeter o equipamento a uma pressurização com fluido até uma pressão estabelecida. Quando possível é recomendado que seja utilizado água. De acordo com a NR-13 (2019) a pressão do teste deve ser três vezes maior que a condição normal de operação. O teste tem como objetivo garantir que o vaso suportará a pressão normal de trabalho sem que ocorram vazamentos ou a ruptura. Desde a

publicação da NR-13 em 1995 o teste hidrostático passou a ser obrigatório por lei para vasos de pressão.

Segundo Telles (1996) a finalidade do teste hidrostático é detectar vazamentos, proporcionar alívio de tensões provenientes de descontinuidades geométricas do equipamento novo e a verificação da integridade física do equipamento.

A NR-13 (2019) estabelece os prazos para a realização dos testes hidrostáticos de acordo com a categoria do vaso e se a empresa possui o SPIE ou não. Os prazos são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Prazos para a realização do teste hidrostático

Categoria do vaso	Período para teste hidrostático – sem SPIE	Período para teste hidrostático – com SPIE
I	6 anos	12 anos
II	8 anos	16 anos
III	12 anos	A critério
IV	16 anos	A critério
V	20 anos	A critério

Fonte: adaptado de NR-13 (2019)

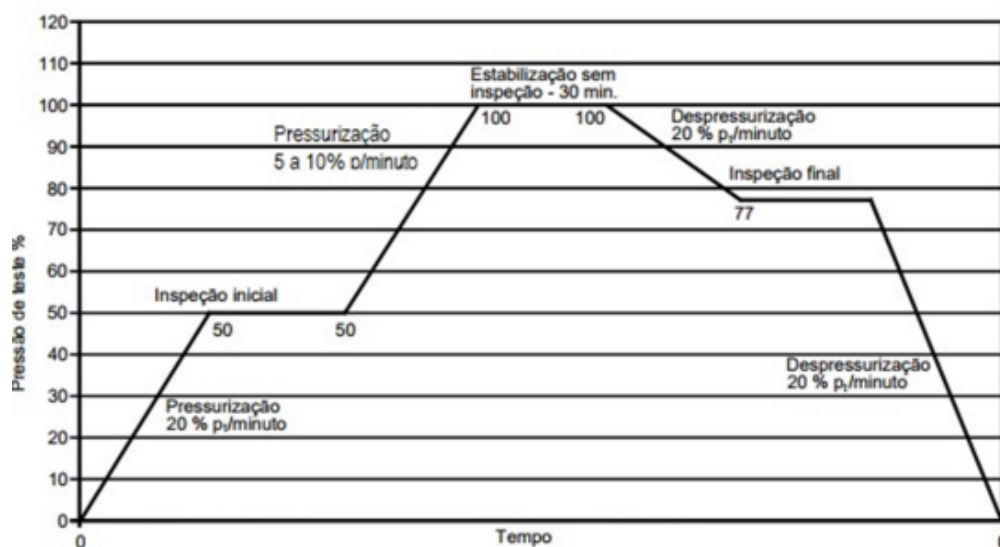
2.5.1 Método Para Realizar O Teste Hidrostático

Por se tratar de um teste com pressões acima da PMTA o procedimento deve ter foco na segurança dos equipamentos e também das pessoas envolvidas na realização do teste hidrostático. As duas principais variáveis envolvidas no processo são a pressão e a velocidade. Geralmente é utilizado a água como fluido por ser de fácil obtenção e pequena compressibilidade. Após a realização do teste o vaso de pressão deve ser completamente drenado e seco para que não permaneça água em seu interior, que pode ser levada para os equipamentos posteriores ao vaso de pressão.

Telles (1996) recomenda o uso de dois manômetros devidamente calibrados para o teste, um no topo do vaso e outro no sistema de pressurização para facilitar o acompanhamento da velocidade de pressurização.

Segundo Furini (2012) a velocidade de pressurização não deve ser maior que 20% da pressão do teste por minuto e após atingido 50% da pressão do teste a velocidade deve ser reduzida para entre 5% e 10% da pressão do teste por minuto até a pressão final. A seguir é mostrado um gráfico de velocidade recomendado:

Figura 2 - Curva de velocidade de pressurização



Como é possível observar na Figura 2, a velocidade do teste hidrostático começa em 20% da pressão do teste final por minuto. Ao atingir 50% da pressão do teste, deve-se manter esta pressão por um período, recomenda-se que um período de 5 minutos. Após esse tempo é realizada a primeira inspeção a procura de possíveis falhas, como por exemplo vazamentos. Em seguida é retomado a pressurização com uma velocidade de 5 a 10% da pressão do teste por minuto, após alcançado a pressão final do teste, a pressão deve ser mantida por pelo menos 30 minutos. Após passado os 30 minutos é feita uma redução da pressão, então é realizado mais uma inspeção a procura de possíveis falhas. Após isso é feito o alívio da pressão, porém também com velocidade controlada de 20% por minuto.

Outro fator importante durante a realização do teste hidrostático é a temperatura, pois os vasos são projetados para operar em uma faixa de temperatura. Segundo Furini (2012) a realização do teste fora da temperatura de projeto do vaso pode acarretar em fratura frágil por parte do metal. O autor recomenda que para equipamentos com espessura superior a 50,8mm o teste deve ser realizado a no mínimo 17°C acima da temperatura mínima de operação do vaso de pressão e 6°C para vasos com espessura inferior.

Em relação a pressão escolhida para realização do teste hidrostático existem várias recomendações. Furini (2012) recomenda que a tensão nas paredes do vaso não deve ultrapassar 80% da tensão de escoamento do material do vaso.

Para Donato (2007) a pressão do teste deve ser o máximo possível respeitando os limites da parte mais fraca. Segundo a NR-13 (2019), a pressão do teste hidrostático pode ser escolhida como a mesma pressão utilizada pela fábrica do vaso. Entretanto o vaso com o passar dos anos vai sofrendo desgaste por corrosão, por exemplo, causando a diminuição de sua espessura e conseqüentemente sua resistência mecânica. Por conta disso muito dos profissionais habilitados optam por utilizar a pressão do teste hidrostático como sendo, 150% da PMTA ou da pressão de trabalho.

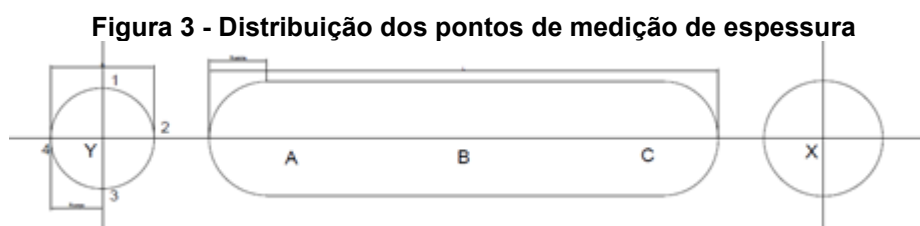
3 METODOLOGIA

A partir da revisão bibliográfica realizada com base na NR-13, construiu-se um prontuário modelo para vasos de pressão, com a intenção de facilitar a elaboração deste documento para outros vasos, visto que é uma necessidade comum nas empresas.

A partir do embasamento teórico foi realizado um estudo de caso em um vaso de pressão, utilizado para armazenamento de ar comprimido. O vaso de pressão utilizado para o estudo possui Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) de 11 kgf/cm² e volume interno de 3m³. Conforme apresentado na Tabela 1 se enquadra na classe C, grupo potencial de risco 3 e categoria III. Foi realizada a verificação dos itens necessários para segurança, instalação e manutenção requeridos pela NR-13, itens estes apresentados na Tabela 4.

Foram efetuados os cálculos apresentados nas seções 2.2.1 e 4.4.1 (equações 2.10, 4.01 e 4.02) e analisados os seus resultados. Após isso, foi realizado o teste hidrostático no vaso de pressão, a fim de assegurar o bom funcionamento do vaso de pressão.

Para assegurar que o vaso atendia os requisitos da NR-13, optou-se pela realização da medição de espessuras em 12 pontos no casco, sendo 4 pontos em cada circunferência marcada por A, B e C, e 5 pontos em cada tampo do vaso de pressão, sendo um o ponto central do tampo e 4 pontos no contorno. As medidas de espessura foram obtidas através do medidor de espessura por ultrassom da marca Mitech modelo MT. As demais medidas foram obtidas com a utilização de uma trena métrica. Estes pontos foram distribuídos conforme ilustrado na Figura 3.



Fonte: Autoria própria

Além disso, uma lista de verificação foi elaborada para auxiliar nas verificações necessárias para assegurar o funcionamento seguro do vaso de pressão. A lista de verificações utilizada é mostrada a seguir:

Tabela 4 - Lista de verificações para vasos de pressão

Lista de Verificação (check-list)		
01	Local	Aspectos gerais
02	Casco e tampos	Aspectos gerais (Corrosões e amassados)
03	Fixação/Suportes	Desnívelamento, instabilidade e outros
04	Conexões	Vazamentos
05	Soldas	Aspectos gerais (penetração e corrosão)
06	Fundações e piso	Chumbadores e chapas de apoio
07	Pintura	Aspectos Gerais
08	Vias de acesso ao vaso	Escadas, portas e outros
09	Iluminação geral e de emergência	Aspectos Gerais
10	Ventilação	Aspectos Gerais
11	Válvula de segurança	Lacres, funcionamento e acesso
12	Aterramento	Aspectos gerais dos cabos elétricos
13	Placa de identificação	Aspectos gerais
14	Manômetro	Funcionamento e aspectos gerais
15	Purgador	Funcionamento e aspectos gerais

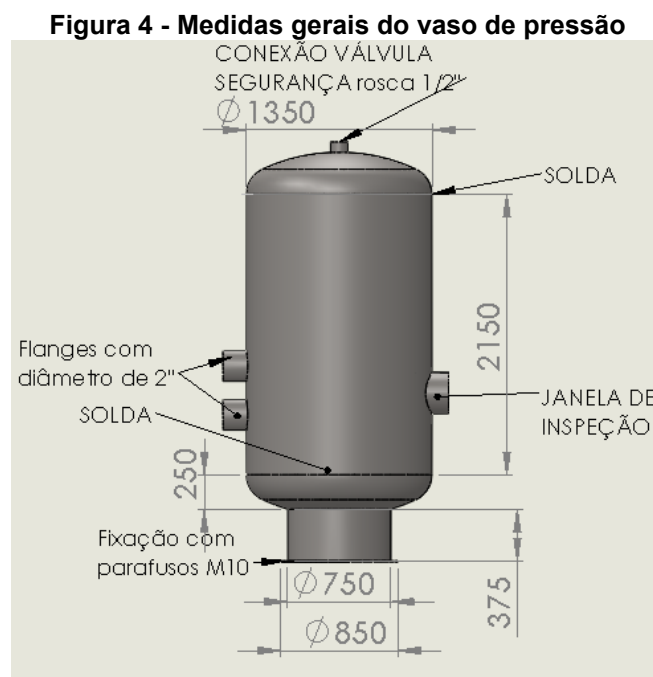
Fonte: Autoria própria

Segundo Albertichi (2013) a lista de verificação é uma sequência de perguntas em relação ao sistema em análise, com a finalidade de verificar irregularidades, que possam acarretar em riscos aos trabalhadores e ao ambiente de trabalho. Consequentemente o principal objetivo da lista é obter dados que demonstrem possíveis riscos na realização de alguma atividade.

As informações são mostradas em forma de check-list para que não seja esquecido nenhum item pelo inspetor e para facilitação da conferência. Os itens 01, 08, 09, 10 e 11 são referentes ao subitem 13.5.2.2 da NR-13 (2019) que determina os critérios da instalação do vaso de pressão, como por exemplo: se estão instalados em locais estáveis, dispor de duas saídas amplas em direções opostas permanentemente desobstruídas, acesso fácil e seguro ao vaso e a válvula de segurança, dispor de boa iluminação e ventilação. Os itens 02 a 07 verificam se existe alguma corrosão elevada, vazamentos no vaso ou amassados. Nos itens 12, 13 e 15 são verificados se o vaso está de acordo com o subitem 15.5.4.9 da NR-13, ou seja, se as válvulas estão calibradas e em bom estado de conservação e de acordo com os parâmetros de projeto. No item 14 é verificado se a placa de identificação possui as informações mínimas obrigatórias conforme o subitem 13.5.1.5 da NR-13, que determina que as

essas informações são: classificação, classe do fluido, grupo de risco e código de identificação do vaso de pressão.

Para a realização da simulação foi necessário a realização da modelagem do vaso de pressão em *software* de CAD, as dimensões utilizadas para a modelagem são ilustradas na Figura 4, onde foi considerada a menor espessura encontrada na inspeção do vaso (15,95mm). Visto que não é possível determinar com exatidão a liga de aço utilizada no vaso de pressão foi utilizado a liga de menor resistência, no caso foi determinado como sendo a liga ASTM-A 285, para a simulação foi utilizado o programa comercial *SolidWorks*, utilizando a opção análise estática presente nos tipos de simulações disponíveis no *software*, o vaso foi modelado com as seguintes propriedades mecânicas, tensão de escoamento de 108,26 MPa, modulo elástico de 190GPa e massa específica de 8000kg/m³.



Fonte: Autoria própria

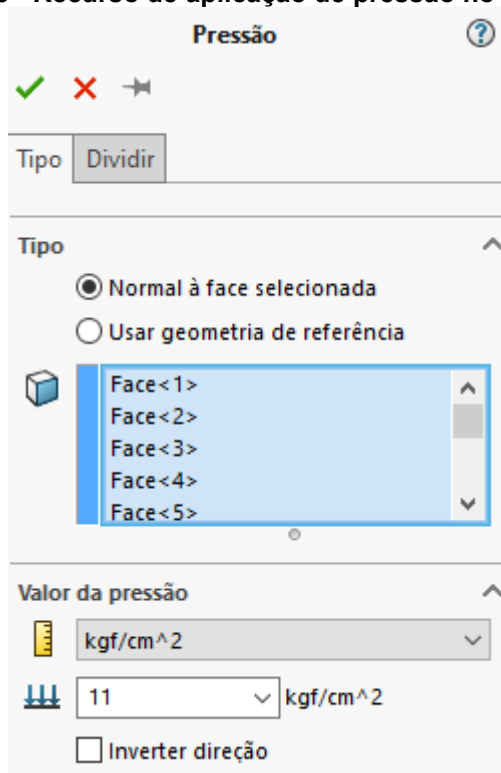
Para a simulação foi escolhida a opção de análise estática, como malha padrão triangular sólida de qualidade alta, resultando em 37267 nós no modelo do vaso de pressão, foi escolhido como resultados as tensões de von Mises no material do vaso provocadas pelas pressões internas de 19,94kgf/cm² e 11kgf/cm². Foi escolhido o tipo de fixação como sendo geometria fixa na base inferior do vaso de pressão. Para a aplicação das pressões no vaso foram selecionadas todas as superfícies internas do vaso de pressão e aplicado a pressão com sendo uniforme e direcionada de dentro para fora do vaso, conforme é mostrado na Figura 5, na Figura

6 são mostrados o vaso em corte, sendo que as superfícies azuis são as selecionadas em que a pressão atua e as setas vermelhas indicam a direção da pressão.

Para a realização das simulações foi considerado o vaso de pressão como sendo um corpo inteiriço e espessura constante igual a menor medida encontrada, ou seja, 15.95 mm.

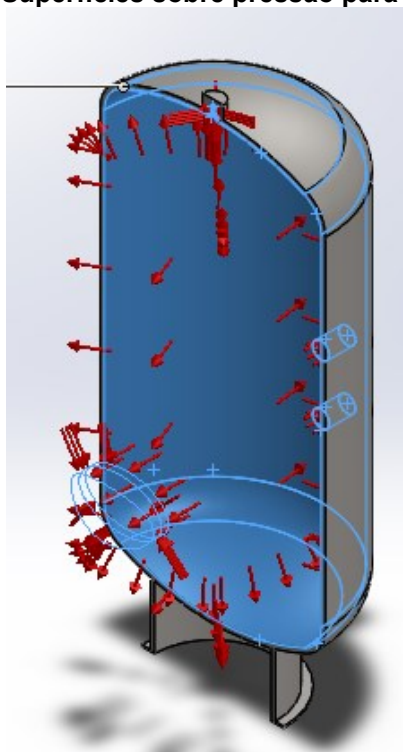
Foram realizadas duas simulações, uma com a pressão máxima de trabalho admissível (19,94 kgf/cm²) calculada para a espessura considerada do vaso e a outra com a PMTA atual para qual o vaso foi liberado (11 kgf/cm²).

Figura 5 - Recurso de aplicação de pressão no Software



Fonte: Autoria própria

Figura 6- Superfícies sobre pressão para simulação



Fonte: Autoria própria

3.1 CARACTERÍSTICAS DO VASO DE PRESSÃO

O vaso de pressão que teve seu lado analisado foi o Vaso Freimar 17720, esse vaso é utilizado em uma empresa de fundição, corte e conformação de alumínio para auxiliar nos processos de fabricação que necessitem de fluxo de ar.

Conforme mostrado na Figura 7 o equipamento possui uma plaqueta de identificação localizada em local visível e possui informações como: pressão de trabalho, PMTA e volume interno. A placa de identificação é um requisito estabelecido pela NR-13. A Figura 8 mostra uma visão melhor da placa de identificação e as informações são mostradas na Tabela 5.

Figura 7 - Vaso Freimar 17720



Fonte: Autoria própria

Figura 8 - Placa de identificação



Fonte: Autoria própria

Tabela 5 - Dados presentes na placa de identificação do vaso

Fabricante	Freimar
Designação	Reservatório de ar comprimido
Numero	17720
Tipo	RAC 030
Volume	3m ³
Pressão de trabalho	241 lbf/pol ²
Pressão de teste	404 lbf/pol ²
Data de fabricação	30/07/1986

3.2 CÁLCULO DA PMTA

Aqui serão vistos as formulas das pressões máximas de trabalho admissível para o casco e para os tampos do vaso de pressão. As PMTA's foram

calculadas utilizando a norma ASME seção VIII divisão I. A PMTA do casco e das tampas do vaso de pressão, são calculadas respectivamente conforme a seguir:

$$PMTA = \frac{SE(t-c)}{R+0,6(t-c)}, \quad (3.01)$$

$$PMTA = \frac{2SE(t-c)}{D-1,8(t-c)}, \quad (3.02)$$

em que “S” é tensão de limite de escoamento do material em kgf/cm², “E” é a eficiência da junta, “t” é a espessura mínima em mm, “c” é a margem de corrosão em mm e “R” é o raio externo em mm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DISPOSIÇÕES GERAIS

Apesar do vaso de pressão ter na plaqueta como pressão máxima de trabalho 16,9 kgf/cm² (241 lbf/pol²), foi optado por diminuir a PMTA para 11 kgf/cm², devido ao vaso possuir idade superior a 25 anos e a empresa que utilizará o vaso não possuir necessidade de pressões superiores. Na Figura 9, são mostradas as informações gerais para vasos de pressão conforme recomendação do item 13.5.1 da NR-13 (2019).

Figura 9 - Informações gerais do vaso de pressão

Informações gerais				
Identificação			Código do projeto	
Nomeclatura	Vaso Freimar 17720		Código	ASME SEC VIII DIV I
Fabricante	Freimar		Ano de edição	2013
Localização	Barracão de laminação		Especificações dos materiais	
Ano de fabricação	1986		Cascos, tampos, juntas e base	
Categoria	III		ASTM A 285	
Fluído	Ar comprimido			

Fonte: Autoria própria

O vaso de pressão não possuía os documentos exigidos pela NR-13, no subitem 13.5.1.6, que são: prontuário, registro de segurança, projeto de instalação e relatórios de inspeção. Visto que a recuperação do prontuário não era possível deve-se, de acordo com o subitem 13.5.1.7, foi necessário realizar a reconstrução do prontuário por meio de profissional habilitado com realização de uma ART. Vale ressaltar também que todos os documentos devem permanecer no local de instalação do vaso.

4.2 SEGURANÇA PARA OPERAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO

Um vaso de pressão dessa categoria (III) deve possuir manômetro e válvula de segurança. Ambos eram novos e estavam devidamente calibrados neste caso, sendo a válvula de segurança calibrada para abertura de 11 kgf/cm².

Conforme o subitem 13.5.4.10 da NR-13 (2019), todo reparo ou alteração em vasos de pressão deve respeitar o projeto de construção, de acordo com o fabricante, no que se refere a materiais e procedimentos de controle de qualidade. No caso do vaso de pressão analisado não havia nenhuma evidência de reparos ou alterações nas características de fábrica. Portanto não apresentou nenhuma irregularidade com esse subitem.

4.3 INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DE VASOS DE PRESSÃO

Neste tópico são apresentados os dados de inspeção de segurança de vasos de pressão, conforme NR-13 e mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Lista de verificações para vaso de pressão analisado

Lista de Verificação (check-list)			
01	Local	Aspectos gerais	ok
02	Casco e tampos	Aspectos gerais (Corrosões e amassados)	ok
03	Fixação/Suportes	Desnivelamento, instabilidade e outros	ok
04	Conexões	Vazamentos	ok
05	Soldas	Aspectos gerais (penetração e corrosão)	ok
06	Fundações e piso	Chumbadores e chapas de apoio	ok
07	Pintura	Aspectos Gerais	ok*
08	Vias de acesso ao vaso	Escadas, portas e outros	ok
09	Iluminação geral e de emergência	Aspectos Gerais	ok
10	Ventilação	Aspectos Gerais	ok
11	Válvula de segurança	Lacres, funcionamento e acesso	ok
12	Aterramento	Aspectos gerais dos cabos elétricos	ok
13	Placa de identificação	Aspectos gerais	ok
14	Manômetro	Funcionamento e aspectos gerais	ok
15	Purgador	Funcionamento e aspectos gerais	ok

Fonte: Autoria própria

***O vaso passou por pintura após a inspeção**

As informações são mostradas em forma de check-list para que não seja esquecido nenhum item pelo inspetor e para facilitação da conferência. Os itens 01, 08, 09, 10 e 11 são referentes ao subitem 13.5.2.2 da NR-13 (2019) que determina os critérios da instalação do vaso de pressão, como por exemplo: se estão instalados em locais estáveis, dispor de duas saídas amplas em direções opostas permanentemente desobstruídas, acesso fácil e seguro ao vaso e a válvula de segurança, dispor de boa iluminação e ventilação. Os itens 02 a 07 verificam se existe alguma corrosão elevada, vazamentos no vaso ou amassados. Nos itens 12, 13 e 15 são verificados se o vaso está de acordo com o subitem 15.5.4.9 da NR-13, ou seja, se as válvulas estão calibradas e em bom estado de conservação e de acordo com os parâmetros de

projeto. No item 14 é verificado se a placa de identificação possui as informações mínimas obrigatórias conforme o subitem 13.5.1.5 da NR-13, que determina que as essas informações são: classificação, classe do fluido, grupo de risco e código de identificação do vaso de pressão.

4.4 CÁLCULO DA PMTA E DO TESTE HIDROSTÁTICO

A Tabela 7 mostra os resultados das medições de espessuras realizadas no vaso.

Tabela 7 - Espessuras do vaso de pressão

Ponto	Espessura (mm)
Y	17,46
Y1	17,80
Y2	17,35
Y3	17,87
Y4	17,85
1A	16,10
1B	16,24
1C	16,04
2A	16,15
2B	16,25
2C	16,03
3A	16,02
3B	16,13
3C	16,00
4A	15,95
4B	16,19
4C	16,15
X	19,03
X1	19,54
X2	18,45
X3	20,02
X4	20,52

Fonte: Autoria própria

Conforme mostrado na Tabela 7, a espessura mínima no tampo foi de 17,35 mm e no casco foi de 15,95 mm. Já a medida do diâmetro externo foi de 1350mm conforme a Figura 4. Visto que não foi possível determinar o material exato do vaso de pressão foi adotado o material com menor resistência, no caso o aço ASTM-A-285, que possui resistência de 1104 kgf/cm² (108MPa), a eficiência de junta considerada foi de 0,8. A margem de corrosão adotada foi de 0,5mm de acordo com o item UG-25 da norma ASME seção VIII divisão 1.

A partir desses dados realizou-se os cálculos das pressões máximas admissíveis para o vaso de pressão. Para o cálculo da PMTA do corpo do vaso, a partir da equação 3.01 temos que:

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

$$PMTA = \frac{1104*0,8(15,95-0,5)}{675+0,6(15,95-0,5)},$$

$$PMTA = 19,94 \text{ kgf/cm}^2,$$

para o tampo do vaso de pressão e com a Equação 3.02 temos que:

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

$$PMTA = \frac{2*1104*0,8(17,35-0,5)}{1350-1,8(17,35-0,5)},$$

$$PMTA = 22,55 \text{ kgf/cm}^2,$$

o menor valor encontrado para a PMTA foi de 19,94 kgf/cm². Porém visto que o vaso de pressão possui idade superior a 25 anos e não possui nenhum registro ou histórico da utilização o profissional habilitado encarregado pela inspeção optou por rebaixar a pressão máxima de trabalho admissível do vaso de pressão para 11 kgf/cm². O teste hidrostático de acordo com a NR-13 deve ser realizado com pressão de 1,5 da PMTA, que para este caso é 16,5 kgf/cm².

Com a realização do teste hidrostático foi constatado que o vaso não possuía nenhum vazamento e suportou a pressão de 16,5 kgf/cm², logo está apto a operar com a PMTA estabelecida de 11 kgf/cm². O teste foi realizado com bomba manual Rothenberger para testes hidrostáticos conforme a figura a seguir.

Figura 10 - Relatório de Teste Hidrostático



Fonte: Autoria própria

A Tabela 8 mostra os valores de pressão, em kgf/cm², aplicados ao vaso de pressão em função do tempo em minutos.

Tabela 8 - Valores de pressão em função do tempo durante o TH

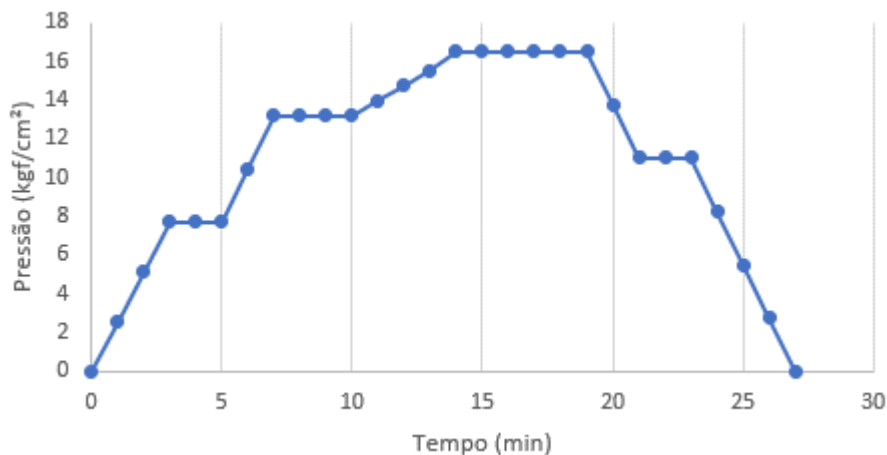
Tempo	Pressão
1	2,56
2	5,12
3	7,70
4	7,70
5	7,70
6	10,45
7	13,20
8	13,20
9	13,20
10	13,20
11	13,97
12	14,74
13	15,51
14	16,50
15	16,50
16	16,50
17	16,50
18	16,50
19	16,50
20	13,75
21	11,00
22	11,00
23	11,00
24	8,25
25	5,50

26	2,75
27	0

Fonte: Autoria própria

A Figura 11 apresenta os dados da Tabela 8 em forma de gráfico.

Figura 11 - Pressão em função do tempo durante TH

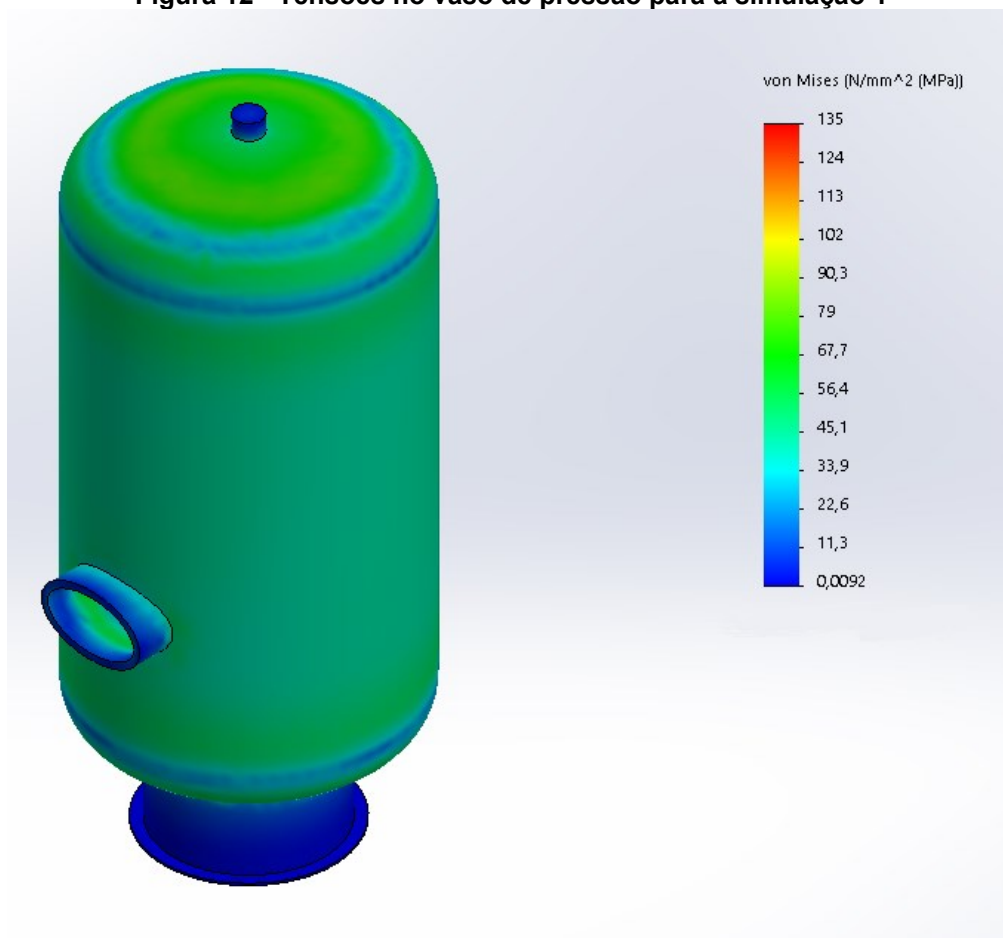


Fonte: Autoria própria

4.5 SIMULAÇÕES

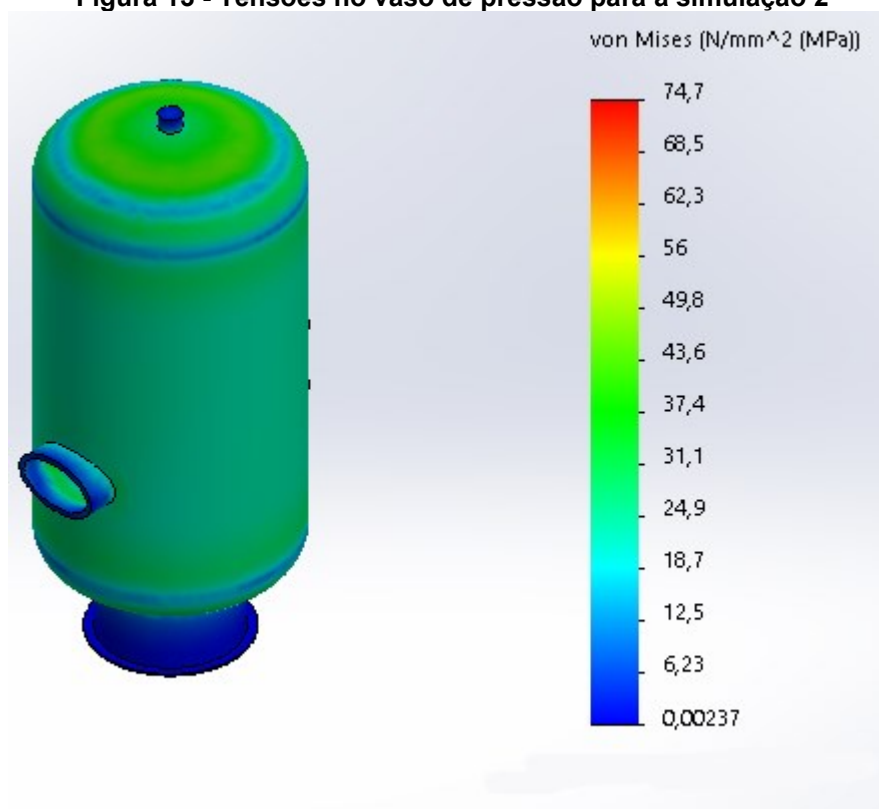
Para um melhor entendimento sobre as tensões atuantes no vaso de pressão foram realizadas simulações numéricas das tensões e deformações exercidas pelas pressões.

A Figura 12 demonstra os resultados das tensões obtidas para a primeira simulação com a pressão de 19,94 kgf/cm².

Figura 12 - Tensões no vaso de pressão para a simulação 1

Fonte: Autoria própria

A partir da Figura 12 pode-se observar que a tensão máxima de von Mises presente no vaso de pressão é de aproximadamente 70 MPa, cerca de 65% da tensão de escoamento do material, ou seja, a norma apresenta um coeficiente de segurança de 1,54 para este caso. A Figura 13 apresenta os resultados das tensões obtidos para a segunda simulação com a pressão de 11 kgf/cm². Através dos resultados é possível perceber que as maiores tensões estão presentes nos tampos do vaso, por isso que comumente essas regiões possuem a espessura maior que a do casco na maioria dos vasos de pressão.

Figura 13 - Tensões no vaso de pressão para a simulação 2

Fonte: Autoria própria

Conforme a Figura 13 a maior tensão presente no vaso para a pressão de 11kgf/cm² é de aproximadamente 45MPa cerca de 41,5% da tensão de escoamento do material, ou seja, um coeficiente de segurança de 2,2. Apesar do vaso de pressão resistir a pressões superiores a 11kgf/cm² decidiu-se por manter essa como a PMTA visto que a idade superior a 25 anos do vaso e o mesmo não possuir histórico ou registro de utilização, uma vez que foi comprado de outra empresa.

As simulações e os cálculos demonstram que o vaso está seguro para operar com a pressão determinada para a PMTA, porem pela idade do vaso foi recomendado que as inspeções periódicas ocorram a cada 2 anos para melhor acompanhamento das condições estruturais do vaso de pressão.

5 CONCLUSÕES

Os objetivos desse trabalho foram o de estudar e analisar os requisitos de segurança, instalação e operação de vasos de pressão conforme a NR-13. Assim sendo apresentado os itens a serem verificados durante uma inspeção de segurança, para que o vaso tenha seu funcionamento aprovado. Em seguida os parâmetros foram analisados em um estudo de caso em um vaso de pressão de uma indústria de conformação de alumínio. Foram verificados a adequabilidade com os itens da norma.

É válido ressaltar a importância das inspeções iniciais e periódicas, pois comprovam que o vaso de pressão está em condições seguras para a operação. O teste hidrostático é também de grande importância pois nele o vaso é testado em pressão superior à de trabalho, podendo assim identificar vazamentos ou outros problemas estruturais do vaso de pressão.

O estudo mostrou que o vaso de pressão analisado estava apto a operar de forma segura na indústria após a alteração da PMTA. Com a verificação de todos os itens da NR-13 foi possível determinar que o vaso está de acordo com as solicitações da norma. Com a realização da simulação numérica foi possível comparar e entender melhor as tensões presentes em um vaso de pressão e ter um melhor entendimento sobre o fator de segurança que a ASME apresenta.

REFERÊNCIAS

ASME, **Rules for Construction of Pressure Vessels**, 2010 Addenda ed., vol. Section VIII Division 1, New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, 2010.

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.

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.

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

TELLES, Pedro Carlos Silva. **Vasos de pressão**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 199

APÊNDICE A – PRONTUÁRIO DO VASO DE PRESSÃO FREIMAR 17720



**PRONTUÁRIO DE VASO DE PRESSÃO
(RECONSTITUÍDO)**

EMPRESA: 

**EQUIPAMENTO: VASO FREIMAR 17720
3000L**



1. DADOS DO CLIENTE (ONDE O EQUIPAMENTO ESTÁ INSTALADO)

NOME	
CNPJ	
CEP	
CIDADE	
ENDEREÇO	

2. EXECUTOR E RESPONSÁVEL TÉCNICO

Engenheiro Mecânico e de Segurança do Trabalho - CREA-PR

3. METODOLOGIA

O prontuário é apresentado visando o atendimento à NR 13 Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulação, Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, publicada pela Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 e alterada pela Portaria SEPRT n.º 915, de 30 de julho de 2019, mais especificamente do item 13.5.1.7 "Quando inexistente ou extraviado, o prontuário do vaso de pressão deve ser reconstituído pelo empregador, com responsabilidade técnica do fabricante ou de PH, sendo imprescindível a reconstituição das premissas de projeto, dos dados dos dispositivos de segurança e da memória de cálculo da PMTA", além de outros aspectos de segurança.

3.1. Código de projeto e ano de edição

São apresentados o código de projeto e ano de edição informados na plaqueta ou de inspeções anteriores ou ainda estabelecidos pelo profissional habilitado para o cálculo da PMTA, conforme o vaso.

3.2. Especificação dos materiais

São apresentados os materiais utilizados na fabricação do casco e tampos para o estabelecimento da PMTA, disponíveis na plaqueta do equipamento ou de inspeções anteriores. Caso inexistente, considera-se o material com a mais baixa resistência disponível.

3.3. Procedimentos utilizados na fabricação

Através da inspeção visual, determina-se fatores com a eficiência da solda, utilizada no cálculo da PMTA.

3.4. Montagem e inspeção Final

Tais parâmetros são verificados através da inspeção visual interna e externa.

3.5. Determinação da PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível)

3.5.1. Medição de espessura

Para orientação, os pontos verificados seguirão a nomenclatura do croqui mostrado na figura 1. Sendo para esse caso o Y o tampo inferior e X o tampo superior

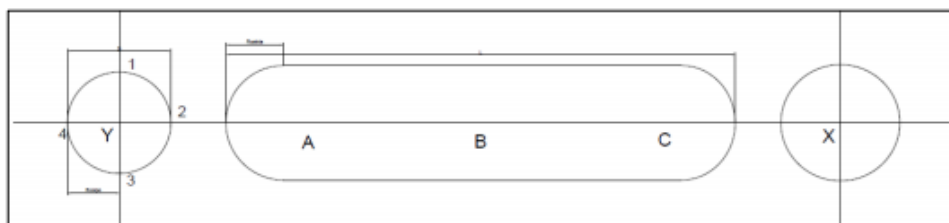


Figura 1 – Nomenclatura

3.5.2. PMTA para Casco

São realizadas 3 medições de espessura (A; B e C) em cada linha que corta o casco na horizontal (1; 2; 3), totalizando 9 medições. Então é analisada a medição no ponto com menor espessura e se está dentro dos padrões admissíveis com medidor de espessura MITECH NÚMERO DE SÉRIE

Para o cálculo da espessura mínima necessária é usada norma ASME VIII div. 01, mostrada na equação 1, dada em mm.

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad (1)$$

Onde:

E	Eficiência da Junta
P	Pressão interna de projeto (kgf/cm ²)
R	Raio interno (em mm)
S	Tensão de projeto (em kgf/cm ²)
t	Espessura necessária

3.5.3. PMTA para Tampo

Para análise das condições dos dois tampos, são realizadas 2 medições de espessura (Y e X) uma em cada tampo. Então é analisada a medida no ponto com menor espessura e se está dentro dos padrões admissíveis com medidor de espessura MITECH NÚMERO DE SÉRIE

Para o cálculo da espessura mínima é usada norma ASME VIII div. 01, mostrada na equação 1, dada em mm.

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot E + 0,6 \cdot P} \quad (2)$$

E	Eficiência da Junta
P	Pressão interna de projeto (kgf/cm ²)
R	Raio interno (em mm)
S	Tensão de projeto (em kgf/cm ²)
t	Espessura necessária

3.6. Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil

A inspeção verifica o comprimento e diâmetro do equipamento, necessários para a determinação da PMTA. A medição de espessura mostra a medida atual da parede, servindo de parâmetro para verificação da redução da espessura em inspeções futuras.

3.7. Teste hidrostático

Conforme item 13.5.4.3 da NR 13, "Os vasos de pressão devem obrigatoriamente ser submetidos a Teste Hidrostático - TH em sua fase de fabricação, com comprovação por meio de laudo assinado por PH, e ter o valor da pressão de teste afixado em sua placa de identificação."

A partir das verificações detalhadas nos itens 3.1, 3.2, 3.4, comprovação da realização do teste inicial pelo fabricante (plaqueta e documentação do vaso) ou ainda de laudos de inspeção anteriores e da condição do vaso (parâmetro de espessura, alterações construtivas, entre outros) pode ser realizado ou não o teste hidrostático.

3.8. Características funcionais

Determinação da pressão atual de trabalho e comparação com a PMTA estabelecida, bem como produto pressurizado, volume e temperatura de operação.

3.9. Dados dos dispositivos de segurança

Informação sobre a (s) válvula (s) de segurança (s) e sua calibração; manômetro (s) e sua calibração, bem como purgador de condensado e janela de inspeção.

3.10. Ano de fabricação

Caso existente na plaqueta ou relatórios de inspeção anteriores.

3.11. Categoria do vaso

Conforme NR 13: "os fluidos contidos nos vasos de pressão são classificados conforme descrito a seguir:

Classe A: fluidos inflamáveis; fluidos combustíveis com temperatura superior ou igual a 200 °C (duzentos graus Celsius); fluidos tóxicos com limite de tolerância igual ou inferior a 20 ppm (vinte partes por milhão); hidrogênio; acetileno.

Classe B: fluidos combustíveis com temperatura inferior a 200 °C (duzentos graus Celsius); fluidos tóxicos com limite de tolerância superior a 20 ppm (vinte partes por milhão).

Classe C: vapor de água, gases asfixiantes simples ou ar comprimido.

Classe D: outro fluido não enquadrado acima.

os vasos de pressão são classificados em grupos de potencial de risco em função do produto P.V, onde P é a pressão máxima de operação em MPa, em módulo, e V o seu volume em m³, conforme segue:

Grupo 1 P.V ≥ 100

Grupo 2 P.V < 100 e P.V ≥ 30

Grupo 3 P.V < 30 e P.V ≥ 2,5

Grupo 4 P.V < 2,5 e P.V ≥ 1

Grupo 5 P.V < 1

Classe de Fluido	CATEGORIAS DE VASOS DE PRESSÃO				
	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
A - Fluidos inflamáveis, e fluidos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200 °C - Tóxico com limite de tolerância ≤ 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno	I	I	II	III	III
B - Fluidos combustíveis com temperatura menor que 200 °C - Fluidos tóxicos com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
C - Vapor de água - Gases asfixiantes simples - Ar comprimido	I	II	III	IV	V
D - Outro fluido	II	III	IV	V	V

4. DESCRIÇÃO DO VASO DE PRESSÃO

As informações do vaso são mostradas na tabela e imagens a seguir:

Tabela– Dados do vaso – Retirados da Plaqueta Original

FABRICANTE	FREIMAR
CAPACIDADE	3000 L
Nº DE SÉRIE	17720
ANO DE FABRICAÇÃO	1986
FLUIDO	AR COMPRIMIDO
PROJETO BASEADO	ASME SEC VIII DIV I
PRESSÃO MÁXIMA DE TRABALHO ADMISSÍVEL	11 KGF/CM ²
PRESSÃO DE TESTE HIDROSTÁTICO	16,5 KGF/CM ²
CATEGORIA	III



4.1. Código de projeto e ano de edição usado na reconstituição

ASME SECÇÃO VIII – DIV. 1

4.2. Especificação dos materiais

CHAPA 5/8" MM PARA CORPO E 3/4 MM PARA TAMPO – MATERIAL ASTM A 285 – RESISTÊNCIA CONSIDERADA DE 1104 KGF/CM²

4.3. Procedimentos utilizados na fabricação

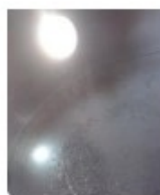
Casco fabricado com um trecho de chapa calandrada e soldado longitudinalmente
Tampo inferior peça única soldada no casco
Tampo superior peça única soldada no casco

4.4. Montagem e inspeção Final

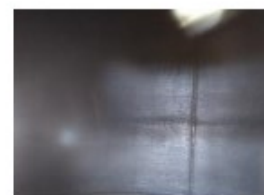
4.4.1. Interna



Solda conexão casco/tampo inferior



Solda conexão casco/tampo superior



Solda longitudinal casco

Conclusão: Soldas e estrutura geral interna em bom estado. OK

4.5. Pressão Máxima de Trabalho Admissível)

4.5.1. Medição de espessura

Ponto	Espessura (mm)
Y	17,46
Y1	17,80
Y2	17,35
Y3	17,87
Y4	17,85
1A	16,1
1B	16,24
1C	16,04
2A	16,15
2B	16,25
2C	16,03
3A	16,02
3B	16,13
3C	16,00
4A	15,95
4B	16,19
4C	16,15
X	19,03
X1	19,54
X2	18,45
X3	20,02
X4	20,52

4.5.2. PMTA para Casco

ANÁLISE DA ESPESSURA NECESSÁRIA PARA O CASCO		
E	Eficiência da Junta	0,8
P	Pressão interna de projeto (kgf/cm ²)	11
R	Raio interno (em mm)	675
S	Tensão de projeto (em kgf/cm ²)*	1104
t	Espessura necessária	8,47
exp	Espessura mínima encontrada no ultrassom	15,95
CONCLUSÃO		OK

*Considerado A285

Conclusão: OK para trabalho com 11 kgf/cm²

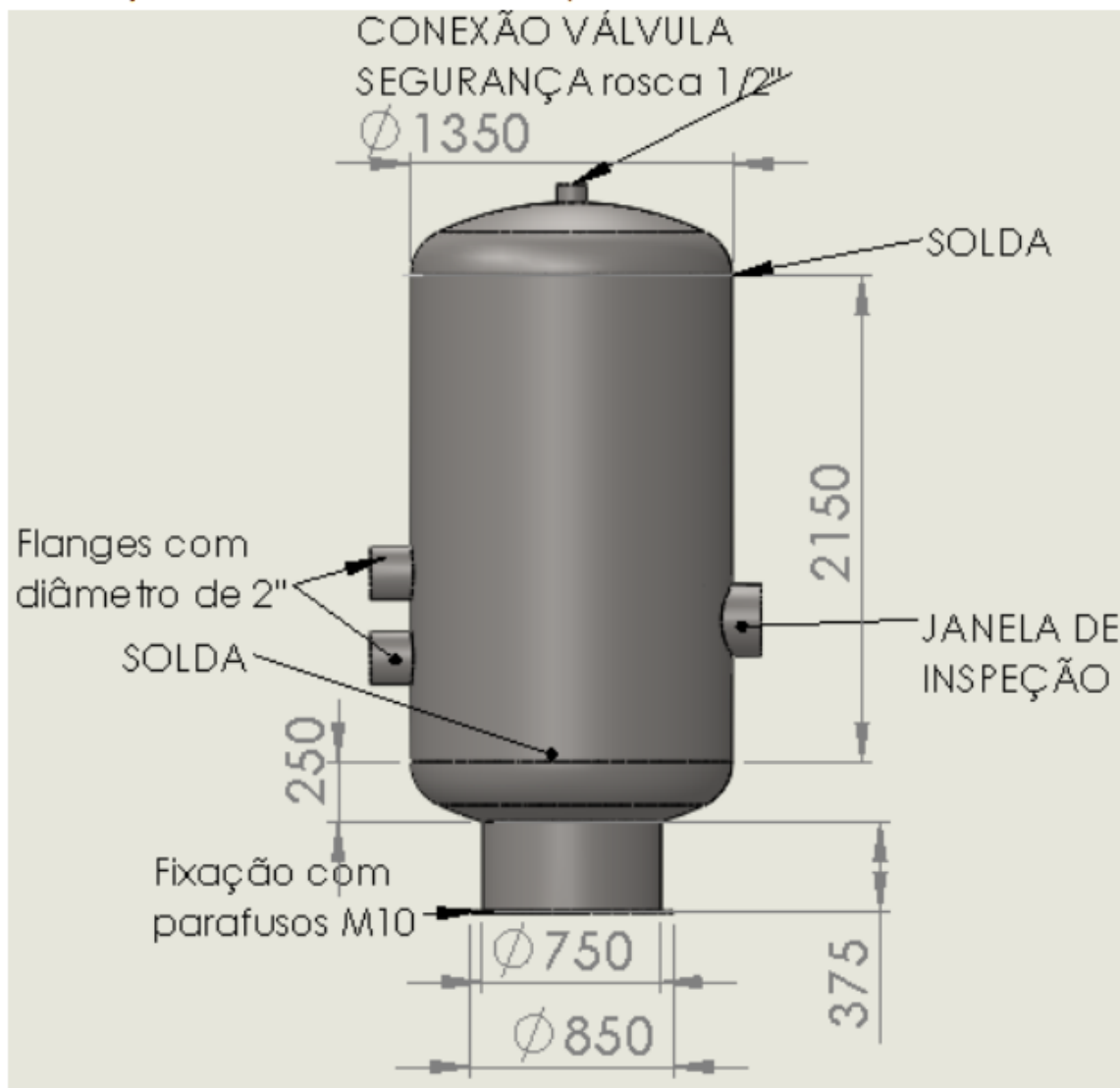
4.5.3. PMTA para Tambo

ANÁLISE DA ESPESSURA NECESSÁRIA PARA O TAMBO		
E	Eficiência da Junta	0,8
P	Pressão interna de projeto (kgf/cm ²)	11
D	Diâmetro interno (mm)	1350
S	Tensão de projeto (em kgf/cm ²)*	1104
t	Espessura necessária	8,42
exp	Espessura mínima encontrada no ultrassom	17,35
CONCLUSÃO		OK

*Considerado A285

Conclusão: OK para trabalho com 11 kgf/cm²

4.6. Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil



Verificar espessuras na inspeção externa conforme 4.5.1.

4.7. Teste hidrostático

Relatório de Teste Hidrostático

Tempo	Pressão
0	0
1	2,56
2	5,13
3	7,70
4	7,70
5	7,70
6	10,45
7	13,20
8	13,20
9	13,20
10	13,20
11	13,97
12	14,74
13	15,51
14	16,50
15	16,50
16	16,50
17	16,50
18	16,50
19	16,50
20	13,75
21	11,00
22	11,00
23	11,00
24	8,25
25	5,50
26	2,75
27	0

Data 02/10/2020
 Dados do equipamento Vaso Freimar 3000l 1986 17720
 Cliente [REDACTED]
 Localização Francisco Beltrão - PR



Gráfico



Conclusão: Não identificados vazamentos. Aprovado no teste.

4.8. Características funcionais

Parâmetro	Valor	Condição
FLUIDO	AR COMPRIMIDO	MANTIDO O ORIGINAL
PRESSÃO MÁXIMA DE TRABALHO ADMISSÍVEL	11 kgf/cm ²	ALTERADO
VOLUME	3000 LITROS	MANTIDO O ORIGINAL

4.9. Dados dos dispositivos de segurança

Item	Especificação	Condição
Válvulas de segurança do vaso	VSP – 005 – Rosca 1/2"	Ok
Manômetro	MAN – 005 – Rosca 1/2"	Ok

OBS.: Calibrar bianualmente.

4.10. Ano de fabricação

1986

4.11. Categoria do vaso

Parâmetro	Valor
Pressão	1,078 MPa
Volume	3 m ³
Pressão X Volume	3,3
Grupo potencial de Risco	3
Fluido	Ar comprimido
Classe Fluido	C
Categoria	III

OBS.: Frequência mínima de inspeção – 3 anos – Reduzida para 2 anos em função da utilização de 35 anos.

5. Informações de segurança

5.1. Instalação

- Este vaso foi projetado, construído e inspecionado para armazenar o fluido definido no prontuário, não prevendo uso para outros fluidos e nem para vácuo.
- Esse documento deverá ser apresentado à fiscalização e servirá para inspeções e reformas futuras, portanto, guarde-o em local seguro de conhecimento de todos.
- As informações como pressão máxima de trabalho e de teste hidrostático estão fixadas na plaqueta do vaso que não deve ser retirada.
- Essas informações servem para toda a vida útil do equipamento.
- Utilize os equipamentos individual para instalação, manutenção e operação: ÓCULOS, CAPACETE, SAPATO DE SEGURANÇA, LUVAS.

5.2. Instalação

- Inspeção o vaso antes da instalação verificando se existem avarias do transporte.
- O local de instalação deve permitir fácil acesso para purga, inspeções e manutenções.
- O vaso de pressão deve ser instalado em local nivelado em piso que resista seu peso mais o peso dele cheio de água para eventuais testes hidrostáticos.
- Instale purgador na parte inferior do vaso – preferencialmente eletrônico.
- Instale tubulações com suportes para que não exerçam forças nos cascos e bocais. Não conecte o vaso a tubulações que apresentem vibrações e/ou expansões térmicas – Se necessário use acoplamentos flexíveis.
- Atente-se para as inspeções de segurança.
- Fazer o transporte utilizando os olhais de içamento – devendo estar vazio e sem pressão.

5.3. Operação

- Faça a purga diariamente.
- Em caso de purgador automático – teste mensalmente
- Nunca remova qualquer conexão ou acessório com o equipamento pressurizado. Certifique-se de que ele está vazio observando o manômetro, abrindo a válvula manualmente e acionando o purgador de condensado.
- Atente-se para a PMTA fixada na plaqueta do vaso.
- Não são permitidas alterações no vaso sem que seja consultado o responsável técnico.

- Verifique o funcionamento da válvula de segurança mensalmente, puxando a alavanca manual (PUXAR A ALAVANCA SOMENTE COM O VASO PRESSURIZADO – A NÃO OBSERVÂNCIA A ESSE ITEM PODERÁ DANIFICAR A VÁLVULA)
- Mantenha atualizado o livro de registro.
- Manter o equipamento com boas condições de limpeza e pintura, preferencialmente em local coberto.
- Ao constatar vazamentos providenciar o reparo – devendo o vaso estar despressurizado
- Em caso de vazamentos nas partes sob pressão – contatar o responsável técnico.



Para qualquer tipo de intervenção o vaso deverá estar despressurizado – Nesse caso a fonte de ar comprimido (compressor) deve estar desligada, o vaso totalmente despressurizado conforme informado anteriormente, com as entradas e saídas bloqueadas.

Responsabilidade Técnica

**ENG. Mecânico e de Segurança do Trabalho
CREA PR**

REPRESENTANTE DA EMPRESA: ASSINAR ART