



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

SAMUEL GUALBERTO DE OLIVEIRA

ESTUDO SOBRE UM CASO PRÁTICO DE INSPEÇÃO DE VASO DE PRESSÃO

João Pessoa

2023

SAMUEL GUALBERTO DE OLIVEIRA

ESTUDO SOBRE UM CASO PRÁTICO DE INSPEÇÃO DE VASO DE PRESSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Benilton Luis Nascimento de Oliveira

João Pessoa

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

O48e Oliveira, Samuel Gualberto de.

Estudo sobre um caso prático de inspeção de vaso de pressão / Samuel Gualberto de Oliveira. - João Pessoa, 2023.

102 f. : il.

Orientação: Benilton Luis Nascimento de Oliveira
Oliveira.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Inspeção de vasos de pressão. I. Oliveira,
Benilton Luis Nascimento de Oliveira. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 621(043.2)

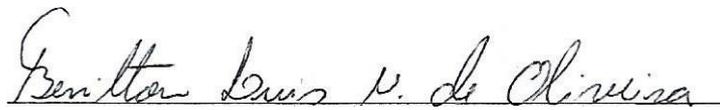
SAMUEL GUALBERTO DE OLIVEIRA

ESTUDO SOBRE UM CASO PRÁTICO DE INSPEÇÃO DE VASO DE PRESSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em: 01/11/2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Benilton Luis Nascimento de Oliveira



Prof. Dr. Bruno Leonardo Campelo de Queiroga



Prof. Dr. Adriano Sitônio Rumão

RESUMO

A inspeção de vasos de pressão desempenha um papel crucial na segurança dos trabalhadores e na preservação do meio ambiente. Normas de projeto, como a ASME, fornecem diretrizes essenciais para a concepção de vasos de pressão, que servem como orientações valiosas para inspeções subseqüentes. A norma brasileira NR-13 detém força legal e estabelece requisitos mínimos para a inspeção de vasos de pressão, enquanto a NBR 15417 oferece diretrizes adicionais relevantes. O emprego de ensaios não destrutivos e procedimentos para o cálculo da pressão máxima de trabalho admissível, pressão de teste hidrostático e pressão de abertura de válvula de segurança é fundamental no processo de inspeção. Este trabalho apresenta um estudo de caso prático envolvendo a inspeção de um balão de ar comprimido. Embora nenhuma falha ou anomalia tenha sido detectada, ele pode servir como um guia para aqueles interessados na área de inspeção de vasos de pressão.

Palavras-chave: Inspeção de vasos de pressão. Balão de ar comprimido. NR-13. ASME. ABNT NBR 15417.

ABSTRACT

Pressure vessel inspection plays a pivotal role in worker safety and environmental preservation. Design standards such as ASME provide essential guidelines for pressure vessel design, serving as valuable guidance for subsequent inspections. The Brazilian standard NR-13 holds legal force and establishes minimum requirements for pressure vessel inspections, while NBR 15417 offers additional relevant guidelines. The use of non-destructive testing and procedures for calculating maximum allowable working pressure, hydrostatic test pressure, and safety valve opening pressure is critical in the inspection process. This work presents a practical case study involving the inspection of a compressed air balloon. Although no faults or anomalies were detected, it can serve as a guide for those interested in the field of pressure vessel inspection.

Keywords: Inspection. Pressure vessels. NR-13. ASME. ABNT NBR 15417.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos vasos de pressão em relação a seu funcionamento.....	11
Figura 2 - Exemplo de um vaso de pressão de acumulação intermediária utilizado na operação de enchimento de botijões de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).....	11
Figura 3 - Exemplo de vaso (S.A. LITO GONELLA E HIJO I.C.F.I) de armazenamento de GLP para abastecimento de empilhadeiras.....	12
Figura 4 - Exemplo de um vaso (BOILERMAX/HL-3FH 400x10) de processamento: Gerador de vapor de água utilizado em indústria de calçados.....	12
Figura 5 - Principais formatos de vasos de pressão.....	13
Figura 6 - Vaso de pressão (MECÂNICA PESADA S/A) cilíndrico horizontal.....	14
Figura 7 - Vasos esféricos para armazenamento de GLP.....	14
Figura 8 - Alguns tipos de tampos de fechamento.....	15
Figura 9 - Vaso de pressão (S.A. LITO GONELLA E HIJO I.C.F.I) vertical com tampos elipsoidais.....	16
Figura 10 - Vaso de pressão (METALPLAN) vertical com tampos torisféricos.....	17
Figura 11 - Exemplo de vasos de pressão (Confab Indústria Brasileira) de grandes dimensões com tampos de fechamento hemisféricos construídos em gomos.....	18
Figura 12 - Exemplo de vaso de pressão com fechamento por tampo cônico.....	18
Figura 13 - Exemplo de tampo plano removível.....	19
Figura 14 - Abertura do tipo bocal para conexão roscada com válvula de segurança instalada.....	20
Figura 15 – Vista da válvula de segurança da Fig.13 fora do vaso de pressão.....	20
Figura 16 - Abertura do tipo bocal de fundo.....	21
Figura 17 - Abertura do tipo boca de visita em vaso de pressão.....	21
Figura 18 - Abertura para conexão flangeada de válvulas de segurança.....	21
Figura 19 - Exemplo de soldas de topo com penetração total do tipo longitudinal e circunferencial em vaso cilíndrico (MECÂNICA PESADA S/A).....	22
Figura 20 - Soldas de topo em cascos e tampos de vasos de pressão.....	23
Figura 21 - Soldas entre cascos e tampos ou saídas de suporte.....	25
Figura 22 - Exemplo de vaso de pressão (PRESSURE) compacto e móvel.....	26
Figura 23 - Exemplo de vaso de pressão (METALPLAN) vertical com suporte do tipo saia apresentando instalação incorreta.....	27
Figura 24 - Alguns tipos de suportes para vasos verticais.....	27

Figura 25 - Alguns tipos de suportes para vasos horizontais.....	28
Figura 26 - Fábrica de sapatos Brockron antes da explosão da caldeira (1905).....	30
Figura 27 - Fábrica de sapatos Brockton após a explosão da caldeira (1905).....	30
Figura 28 - Exemplo de válvula de segurança (REGO) instalada em tubulação de GLP ligada a tanque de armazenamento.....	36
Figura 29 - Exemplo de manômetro (WILLY) instalado em vaso de pressão de ar comprimido.....	36
Figura 30 - Vaso de pressão (S.A. LITO GONELLA E HIJO I.C.F.I) com acesso seguro.	37
Figura 31 - Vasos de pressão (P-90) de categoria I.....	38
Figura 32 - Placa de identificação fixada em vaso de pressão.....	39
Figura 33 - Número de identificação e categoria do vaso de pressão.....	39
Figura 34 - Exemplo de vaso de pressão de categoria V de produção seriada.....	41
Figura 35 - Válvula de segurança (FLUID CONTROLS DO BRASIL) em bancada de calibração.....	42
Figura 36 - Realização de inspeção em espaço confinado.....	47
Figura 37 - Medição de espessura por ultrassom.....	59
Figura 38 - Ponto de medição de espessura.....	60
Figura 39 - Mapa de medição de espessura.....	60
Figura 40 - Ensaio por partículas magnéticas.....	61
Figura 41 - Ensaio de ACFM.....	64
Figura 42 - Ensaio de ultrassom em configuração "pulso-eco".....	66
Figura 43 - Teste de ultrassom para medir espessura de vaso de pressão.....	68
Figura 44 - Etapas do ensaio por líquido penetrante. (a) limpeza da peça; (b) aplicação do líquido penetrante; (c) remoção do excesso de líquido; (d) aplicação do revelador; (e) avaliação da inspeção; (f) formação da indicação da trinca.....	70
Figura 45 - Arranjo básico utilizado para realização do ensaio radiográfico.....	72
Figura 46 - Visão geral do vaso de pressão conforme NR-13, subitens 13.5.1.4 e 13.5.2.3.....	80
Figura 47 - Placa de identificação atende a NR-13, subitem 13.5.1.3.....	80
Figura 48 - Manômetro atende a NR-13, subitem 13.5.1.2 d).....	81
Figura 49 - Válvula de segurança atende a NR-13, subitem 13.5.1.2 a).....	82
Figura 50 - Purgador em conformidade com a norma NR-13, subitem 13.5.2.1.....	82
Figura 51 - Conexões, flanges, bocais e boca de visita.....	82

Figura 52 - Medição de espessura de chapa por ultrassom no costado do vaso de pressão.....	83
Figura 53 - Medição de espessura de chapa no tampo do vaso de pressão.....	83
Figura 54 - Mapa de medição de espessura por ultrassom.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de eficiência de solda usuais.....	24
Tabela 2 - Tensões admissíveis em MPa de alguns aços-carbono amplamente utilizados na construção de vasos de pressão.....	29
Tabela 3 - Classificação do vaso de pressão segundo o tipo de fluido contido.....	32
Tabela 4 - Classificação dos vasos de pressão segundo o produto P.V.....	32
Tabela 5 - Classificação segundo o potencial de risco.....	33
Tabela 6 - Prazos máximos para a inspeções de segurança periódicas.....	42
Tabela 7 - Informações fundamentais sobre o vaso de pressão.....	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 VASOS DE PRESSÃO.....	10
2.1.1 Classes dos vasos de pressão.....	10
2.1.2 Finalidades dos vasos de pressão.....	11
2.1.3 Formato e posição dos vasos de pressão.....	13
2.1.4 Tampos dos vasos de pressão.....	15
2.1.5 Aberturas nos vasos de pressão.....	19
2.1.6 Soldas em vasos de pressão.....	22
2.1.7 Suportes para vasos de pressão.....	26
2.1.8 Materiais utilizados na construção de vasos de pressão.....	28
2.2 REGULAMENTAÇÃO DOS VASOS DE PRESSÃO.....	29
2.2.1 Principais tópicos da NR-13.....	31
2.2.1.1 Classificação dos vasos de pressão.....	31
2.2.1.2 Campo de aplicação.....	33
2.2.1.3 Casos em que não se aplica a NR-13.....	34
2.2.1.4 Requisitos mínimos para instalação e operação de vasos de pressão.....	35
2.2.1.5 Inspeções de segurança.....	40
2.2.1.6 Relatório de inspeção de segurança.....	43
2.2.1.7 Orientações gerais.....	44
2.2.2 Tópicos relevantes da ABNT NBR 15417.....	44
2.2.2.1 Orientações para execução de inspeção em vasos de pressão.....	44
2.2.2.1.1 <i>Reconstituição de prontuário.....</i>	<i>45</i>
2.2.2.1.2 <i>Requisitos de segurança.....</i>	<i>46</i>
2.2.2.2 Tipos de inspeções.....	48
2.2.2.2.1 <i>Inspeção externa.....</i>	<i>48</i>
2.2.2.2.2 <i>Inspeção interna.....</i>	<i>49</i>
2.2.2.2.3 <i>Inspeção inicial.....</i>	<i>51</i>
2.2.2.2.4 <i>Inspeção extraordinária de problema operacional.....</i>	<i>52</i>
2.2.2.2.5 <i>Inspeção extraordinária de alteração operacional.....</i>	<i>53</i>
2.2.2.2.6 <i>Inspeção extraordinária de reconstituição de prontuário.....</i>	<i>53</i>
2.2.2.2.7 <i>Inspeção extraordinária em vasos fora de operação.....</i>	<i>54</i>
2.2.2.2.8 <i>Inspeção extraordinária de alteração e reparo.....</i>	<i>55</i>

2.2.2.3 Modelo de relatório de inspeção de segurança.....	57
2.2.2.4 Orientações gerais.....	58
2.3 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO.....	58
2.3.1 Ensaios não destrutivos.....	58
2.3.1.1 Medição de espessura.....	59
2.3.1.2 Partículas magnéticas (PM).....	60
2.3.1.3 Medição de campo de corrente alternada (ACFM).....	63
2.3.1.4 Ultrassom (US).....	66
2.3.1.5 Líquido penetrante (LP).....	69
2.3.1.6 Radiações Ionizantes (Raios X e Raios gama).....	71
2.3.2 Determinação da PMTA de vasos de pressão.....	75
2.3.2.1 Cálculo da PMTA para cascos cilíndricos de pequena espessura.....	75
2.3.2.2 Cálculo da PMTA para cascos esféricos de pequena espessura.....	76
2.3.2.3 Cálculo da PMTA para tampos elipsoidais.....	76
2.3.2.4 Cálculo da PMTA para tampos torisféricos.....	77
2.3.3 Determinação da Pressão de Teste Hidrostático (PTH).....	78
2.3.3.1 Teste Hidrostático Padrão.....	78
2.3.4 Determinação da pressão de abertura de válvula de segurança.....	78
3 CASO PRÁTICO DE INSPEÇÃO.....	79
3.1 INSPEÇÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA EM VASO DE PRESSÃO INSTALADO EM EMPRESA ENVAZADORA DE GLP.....	79
3.1.1 Exame de prontuário.....	79
3.1.2 Exame de externo.....	80
3.1.3 Exame interno.....	83
3.1.4 Cálculo da PMTA e PTH.....	84
3.1.5 Elaboração de relatório periódico de inspeção de segurança.....	85
3.1.6 Considerações finais.....	85
4 CONCLUSÃO.....	86
REFERÊNCIAS.....	87
APÊNDICE A – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DO VASO DE PRESSÃO.....	88

1 INTRODUÇÃO

Os vasos de pressão são todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formato e finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado (NR-13). Há uma ampla aplicação, desde aerossóis comercializados em supermercados, painéis de pressão utilizadas em cozinhas residenciais, reservatórios para armazenamento de O₂ instalados em hospitais, até sofisticados reatores nucleares (TELLES, 1996).

A utilização generalizada de vasos de pressão e caldeiras no final do século XIX e início do século XX foi impulsionada pelo crescimento econômico e pelas necessidades decorrentes da preparação para a Primeira Guerra Mundial. No entanto, essa expansão não foi acompanhada de medidas adequadas de segurança, resultando em uma série de acidentes, muitos dos quais tiveram consequências graves. Um exemplo emblemático ocorreu em 1905, quando uma explosão em uma fábrica de calçados em Massachusetts resultou na perda de 58 vidas, deixando 117 feridos e causando danos materiais significativos. Outra explosão semelhante ocorreu em 1906, novamente em uma fábrica de calçados em Massachusetts, causando prejuízos semelhantes. Esses trágicos eventos levaram o governador do estado a criar um conselho com o objetivo de estabelecer regulamentações básicas para a construção e operação de caldeiras sob pressão. Assim, em 30 de agosto de 1907, Massachusetts aprovou o primeiro conjunto de regras para o projeto e construção de caldeiras, consistindo em apenas três páginas, marcando o início da regulamentação de caldeiras e vasos de pressão (GROEHS, 2014).

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar um caso prático de inspeção de um vaso de pressão, proporcionando uma análise baseada nas normas NR-13 e ABNT NBR-15417, para destacar a importância crucial dessa prática na preservação da segurança dos trabalhadores e na otimização dos custos de operação. Uma inspeção adequada e bem executada permite a identificação precoce e a correção de problemas, evitando paradas não programadas, reduzindo os custos de manutenção corretiva e assegurando a continuidade das operações industriais de forma eficiente e segura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VASOS DE PRESSÃO

O conceito de vasos de pressão é discutido em vários comitês técnicos e pode variar de acordo com legislações, regulamentações e normas técnicas. No entanto, as técnicas de projeto, construção e formatos desses vasos têm se mantido relativamente constantes ao longo dos últimos 100 anos de desenvolvimento tecnológico (MATTEWS, 2000).

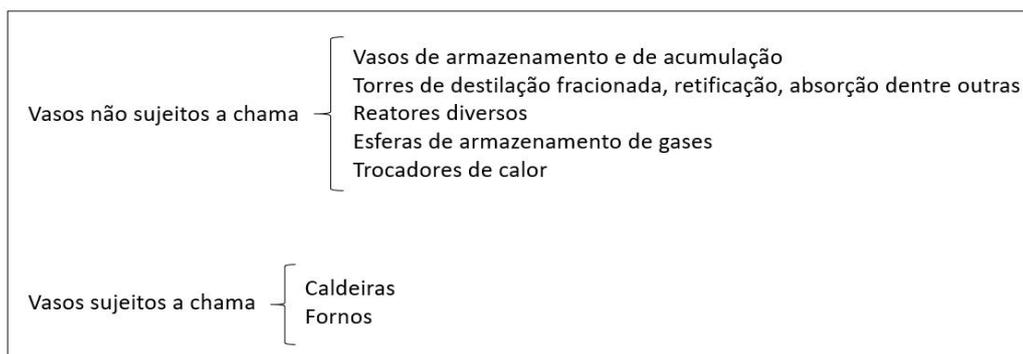
Conforme a definição proposta por Telles (1996), o termo "vaso de pressão" engloba de forma genérica todos os recipientes estanques, independentemente do tipo, dimensões, formato ou finalidade, que sejam capazes de conter um fluido pressurizado. Essa definição abrangente inclui uma vasta variedade de equipamentos, desde simples painéis de pressão de cozinha até reatores nucleares altamente sofisticados.

A definição de vasos de pressão como qualquer equipamento estanque, utilizado para armazenagem ou processo, no qual atua uma pressão ($\geq 1,02 \text{ kgf/cm}^2$) proveniente de um fluido presente na interface interna ou externa, proporciona uma orientação conceitual que nos permite compreender os vasos de pressão sob a perspectiva da ASME (LIMA, 2023).

2.1.1 Classes dos vasos de pressão

Os vasos de pressão podem ser divididos em duas categorias distintas, conforme Fig.1, vasos sujeitos a chama e os não sujeitos a chama. Os vasos sujeitos a chama são equipamentos que ficam expostos, total ou parcialmente, às chamas resultantes da queima de um combustível, independentemente de ser líquido, sólido ou gasoso. Já os não sujeitos a chama são equipamentos que podem operar em temperaturas elevadas, porém não há presença de fogo (TELLES, 1996).

Figura 1 - Classificação dos vasos de pressão em relação a seu funcionamento.



Fonte: Telles, 1996

2.1.2 Finalidades dos vasos de pressão

Além da distinção entre vasos de pressão sujeitos e não sujeitos a chama, também é possível classificá-los com base em sua finalidade específica. Geralmente, essa classificação abrange três casos principais de uso: armazenamento de gases sob pressão, processamento de gases e líquidos, e acumulação intermediária de gases e líquidos em processos industriais (TELLES, 1996).

Os vasos de acumulação desempenham um papel crucial ao armazenar gases ou líquidos sob pressão durante processos intermediários, para fins de estoque ou transporte (GROEHS, 2014), conforme mostra a Fig. 2, onde este vaso de pressão é utilizado no sistema de enchimento de botijões comerciais em sua linha de produção seriada.

Figura 2 - Exemplo de um vaso de pressão de acumulação intermediária utilizado na operação de enchimento de botijões de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).



Fonte: O autor.

Os vasos de armazenamento desempenham a função crucial de conter gases sob pressão (GROEHS,2014), como ilustrado na Fig. 3. Nesse contexto, é possível observar a presença de dois vasos do modelo P-2000, que estão integrados ao sistema de pit-stop e destinados ao armazenamento de GLP.

Figura 3 - Exemplo de vaso (S.A. LITO GONELLA E HIJO I.C.F.I) de armazenamento de GLP para abastecimento de empilhadeiras.



Fonte: O autor.

Os vasos de processo são equipamentos essenciais no contexto das transformações físicas e/ou químicas de materiais fluidos e/ou sólidos. Eles desempenham um papel fundamental dentro desses processos, fornecendo um ambiente controlado onde ocorrem as mudanças desejadas (GROEHS, 2014). Na Fig. 4 pode se ver um exemplo de vaso de processo bastante utilizado na indústria e no comércio, um gerador de vapor de água.

Figura 4 - Exemplo de um vaso (BOILERMAX/HL-3FH 400x10) de processamento: Gerador de vapor de água utilizado em indústria de calçados.

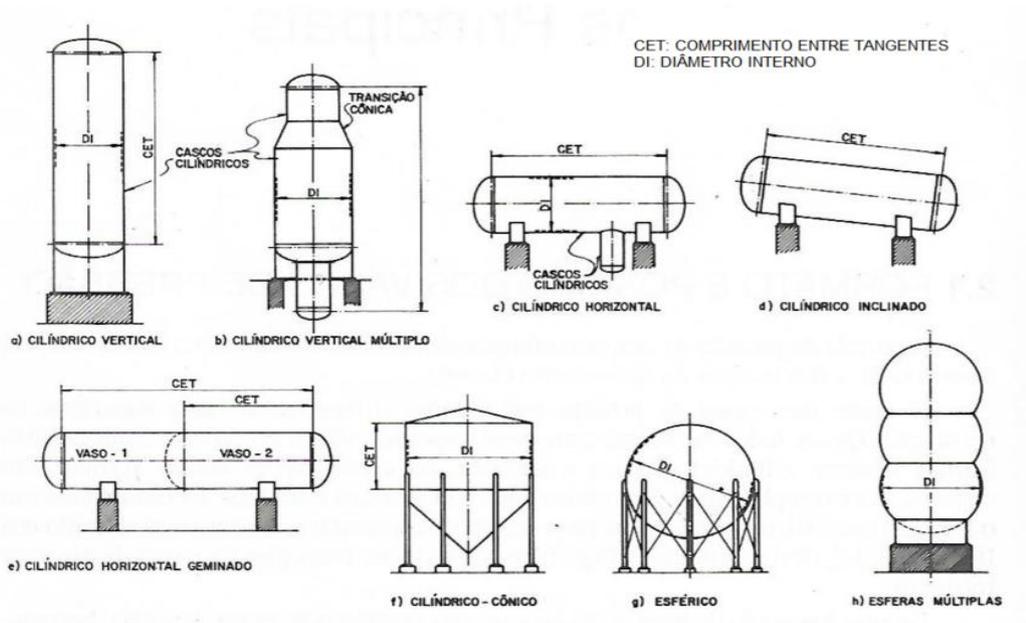


Fonte: O autor.

2.1.3 Formato e posição dos vasos de pressão

A parede de pressão de um vaso é composta principalmente pelo casco (ou cascos) do vaso e pelos tampos de fechamento. O casco dos vasos de pressão possui sempre o formato de uma superfície de revolução e pode adotar uma das três formas básicas: cilíndrica, cônica e esférica, ou combinações dessas formas. É comum encontrar vasos com múltiplos cascos cilíndricos e cônicos, além do formato toroidal que é frequente em seções de concordância¹. Quanto à posição de instalação, os vasos de pressão podem ser verticais, horizontais ou inclinados, conforme Fig. 5 (TELLES, 1996).

Figura 5 - Principais formatos de vasos de pressão.



Fonte: Adaptada de TELLES, 1996.

Os vasos verticais são utilizados em serviços que dependem da gravidade, como torres de fracionamento, retificação e absorção, bem como muitos tipos de reatores. Embora geralmente mais caros, especialmente em casos de grande comprimento, os vasos verticais ocupam menos área de terreno. Por outro lado, por ser de menor custo os vasos horizontais são amplamente utilizados, sendo comuns em permutadores de calor e na maioria dos vasos de acumulação. Já os vasos em

¹ Concordância entre arcos e/ou retas a partir de uma linha de tangência.

posições inclinadas são excepcionais, sendo empregados apenas quando necessário para serviços específicos (TELLES, 1996).

A maioria dos vasos possui um casco cilíndrico, ver Fig. 6, ou até mesmo múltiplos corpos cilíndricos conectados por seções de concordância cônicas e/ou toroidais, ver Fig.5. Essa preferência pelo formato cilíndrico se deve à sua facilidade de fabricação e transporte, bem como à sua versatilidade para atender à maioria dos serviços. Além disso, o formato cilíndrico proporciona um aproveitamento mais eficiente do material utilizado (TELLES, 1996).

Figura 6 - Vaso de pressão (MECÂNICA PESADA S/A) cilíndrico horizontal.



Fonte: O autor.

Teoricamente, o formato ideal para um vaso de pressão seria uma esfera, pois proporciona a menor espessura de parede e o menor peso em condições de pressão e volume iguais. No entanto, os vasos esféricos têm limitações práticas. Além de serem adequados apenas para fins de armazenamento, eles são caros e difíceis de fabricar, ocupam muito espaço e raramente podem ser transportados inteiros. Por esses motivos, os vasos esféricos, ver Fig. 7, só são economicamente viáveis em grandes dimensões e são empregados principalmente para armazenar gases sob pressão (TELLES, 1996).

Figura 7 - Vasos esféricos para armazenamento de GLP.



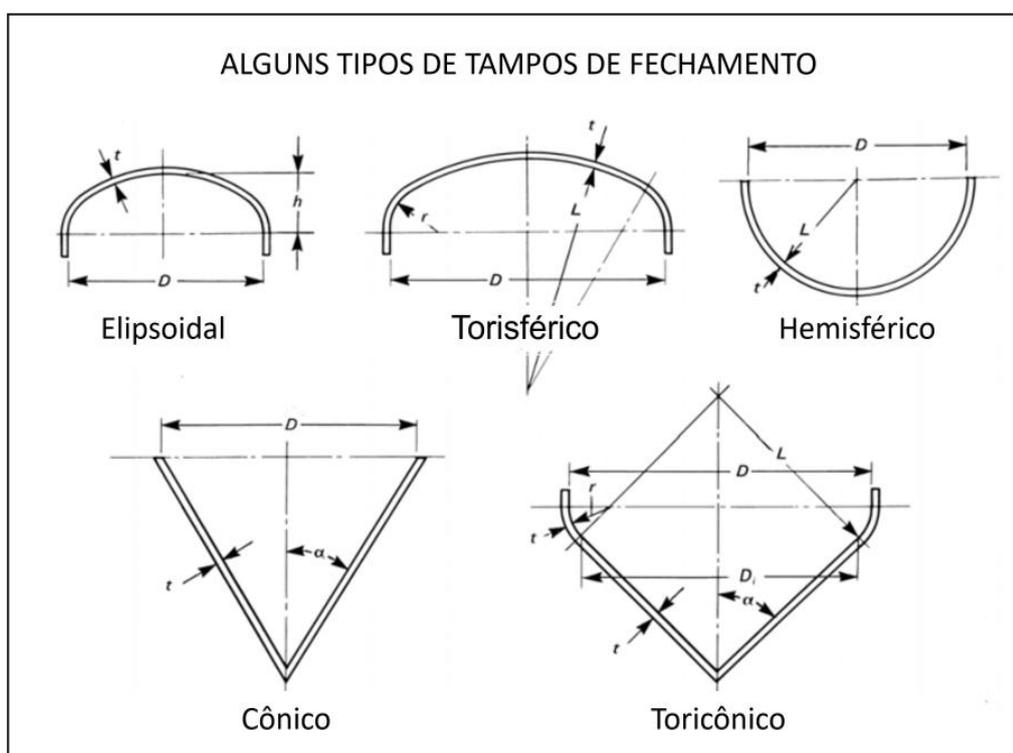
Fonte: O autor.

O formato cônico é comumente utilizado para realizar a transição entre diâmetros distintos. Embora menos frequentes, também existem os formatos de esferas múltiplas e ovóides, que encontram aplicações específicas. Além disso, é possível realizar a combinação de vasos verticais ou horizontais, conhecida como vasos geminados, nos quais dois ou mais vasos do mesmo diâmetro são agrupados em um conjunto único. Essa configuração traz benefícios como economia de materiais nos tampos, suporte e espaço ocupado. Em particular, essa disposição é vantajosa quando a pressão atuante no lado convexo dos tampos é moderada (TELLES, 1996).

2.1.4 Tampos dos vasos de pressão

Os tampos são componentes responsáveis pelo fechamento das extremidades dos vasos de pressão cilíndricos e podem possuir uma variedade de formatos. Os formatos mais comumente utilizados incluem: elipsoidal, torisférico, hemisférico, cônico e plano (ASME), ver Fig. 8.

Figura 8 - Alguns tipos de tampos de fechamento.



Fonte: ASME, Seção VIII, Divisão 1 (com adaptações).

O tampo elipsoidal, conforme Fig. 8 e 9, é uma forma com seções transversais que se assemelham a uma elipse perfeita do ponto de vista teórico. No caso do tampo elipsoidal denominado "padrão", a relação de semieixos é de 2:1, ou seja, o diâmetro do tampo é quatro vezes a sua altura. Esse tipo de tampo geralmente pode ser construído com chapas de espessura equivalente àsquelas utilizadas no casco cilíndrico do vaso. Isso ocorre devido à sua resistência à pressão interna, que é praticamente igual à do cilindro de mesmo diâmetro (TELLES, 1996). O código ASME permite que tampos torisféricos "falsa-elipse"² possam ser dimensionados através das equações de cálculo para tampos semi-elípticos.

Figura 9 - Vaso de pressão (S.A. LITO GONELLA E HIJO I.C.F.I) vertical com tampos elipsoidais.



Fonte - O autor.

A produção de tampos elipsoidais apresenta um custo mais elevado devido à exigência de uma matriz específica para acomodar o diâmetro e a relação de eixos dessa geometria. Por outro lado, os tampos torisféricos resultam da combinação de duas geometrias distintas: uma calota esférica central, obtida por meio de prensagem, juntamente com a região tórica, cujo raio é formado pelo rebordeamento da chapa (DONATO, 2009).

Comparado ao tampo elipsoidal, o tampo torisférico, ver Fig. 8 e 10, é consideravelmente mais fácil de fabricar, e essa facilidade aumenta à medida que o raio r diminui, indicando uma menor profundidade. Por outro lado, a resistência do

² Tampo torisférico onde $r = 0,1727 D$ e $L = 0,9045 D$, ver Fig.8.

tampo torisférico será maior à medida que o raio r aumentar, o que permite o uso de chapas de menor espessura. No entanto, é importante ressaltar que qualquer tampo torisférico é sempre menos resistente do que um tampo elipsoidal de mesmo diâmetro e relação de semi-eixos equivalentes. (TELLES, 1996).

Figura 10 - Vaso de pressão (METALPLAN) vertical com tampos torisféricos.



Fonte: O autor.

O tampo hemisférico, ver Fig. 8 e 11 se destaca por sua excepcional resistência, podendo ter cerca da metade da espessura de um casco cilíndrico com o mesmo diâmetro. No entanto, sua construção é notoriamente desafiadora e requer um espaço considerável devido à sua altura. É empregado para vasos horizontais em geral, vasos verticais de diâmetro muito grande (10 m, ou mais), quando as condições de processo permitirem, e também para vasos pequenos e médios para altas pressões, caso em que o tampo é de construção forjada integral. Para grandes diâmetros esses tampos são construídos em gomos, ver Fig.11 (DONATO, 2009).

Figura 11 - Exemplo de vasos de pressão (Confab Indústria Brasileira) de grandes dimensões com tampos de fechamento hemisféricos construídos em gomos.



Fonte: O autor.

Os tampos cônicos, ver Fig. 12, são relativamente simples de construir, no entanto, sua utilização é limitada devido à sua menor resistência quando comparada às opções anteriores. Esses tampos são, em sua maioria, empregados em situações específicas, como o fundo de vasos que requerem um esvaziamento rápido e completo, ou em sistemas que lidam com fluidos de difícil escoamento (TELLES, 1996). O código ASME, na Seção VIII, Divisão 1, estipula a necessidade de uma concordância toroidal entre casco e tampo, para tampos com um ângulo de vértice superior a 30° .

Figura 12 - Exemplo de vaso de pressão com fechamento por tampo cônico.



Fonte: O autor.

Os tampos planos, ver Fig. 13, apresentam uma ampla diversidade de configurações, incluindo opções fixas, que são forjadas e comumente empregadas em vasos destinados a operações de alta pressão, e também variantes removíveis, que são fixadas através de parafusos em flanges cegos ou rosqueadas em corpos cilíndricos por meio de anéis, frequentemente utilizadas em aplicações de baixa pressão. Essas escolhas são geralmente preferidas devido à sua economia de custos (DONATO, 2009).

Figura 13 - Exemplo de tampo plano removível.



Fonte: O autor.

O código ASME é uma referência abrangente que estabelece requisitos detalhados para a construção de tampos de vasos de pressão. No entanto, dado o escopo deste trabalho, não é possível abordar todas as exigências específicas estabelecidas pelo código ASME. Recomenda-se consultar diretamente o código ASME BPVC (Boiler and Pressure Vessel Code) para obter todas as informações detalhadas necessárias para a construção de tampos de vasos de pressão.

2.1.5 Aberturas nos vasos de pressão

Os vasos de pressão são equipamentos essenciais que possuem várias aberturas com diferentes finalidades, sem as quais eles seriam inúteis. Alguns exemplos dessas aberturas incluem conexões com tubulações de entrada e saída de diferentes correntes de fluidos, instalação de instrumentos, drenagem e ventilação, acesso ao interior do vaso através de bocas de visita, ver Fig. 17 ou inspeção, conexões com outros componentes do próprio vaso de pressão, desmontagem ou remoção de peças internas, e conexões diretas com outros vasos (TELLES, 1996).

Essas aberturas podem ser localizadas tanto no corpo do vaso, ver Fig. 14, 17 e 18, quanto em seus tampos, ver Fig. 16. A maioria delas apresenta uma seção transversal circular, com o eixo perpendicular à parede do vaso. Em alguns casos, as aberturas podem ter o eixo inclinado em relação à parede, e em casos menos comuns, a seção transversal pode ser não circular, como elíptica, oval ou oval modificada. No entanto, é importante garantir que, em todos os casos, as aberturas possuam uma forma arredondada, sem ângulos agudos ou trechos retos, a fim de minimizar descontinuidades geométricas e reduzir concentrações de tensões, ver de Fig. 14 e Fig. 16 a 18 (Seção VIII, Divisão 2, da norma ASME).

Figura 14 - Abertura do tipo bocal para conexão roscada com válvula de segurança instalada.



Fonte: O autor.

Figura 15 – Vista da válvula de segurança da Fig.13 fora do vaso de pressão.



Fonte: O autor.

Figura 16 - Abertura do tipo bocal de fundo.



Fonte: O autor.

Figura 17 - Abertura do tipo boca de visita em vaso de pressão.



Fonte: O autor.

Figura 18 - Abertura para conexão flangeada de válvulas de segurança.



Fonte: O autor.

2.1.6 Soldas em vasos de pressão

A fabricação de vasos de pressão envolve a soldagem de chapas de aço, unindo não apenas as partes da parede de pressão, mas também muitos componentes não pressurizados internos e externos (TELLES, 1996). É uma exigência comum em normas, como o código ASME, Seção VIII, Divisão 1, que todas as soldas de emenda de chapas no casco e nos tampos dos vasos de pressão sejam soldas de topo com penetração total e facilmente radiografáveis. Em alguns casos, como vasos de pequeno diâmetro, onde a soldagem interna é impraticável, a solda externa é aceitável, desde que garanta a qualidade da raiz da solda, com a possibilidade de uso de mata-juntas³ de cobre.

Figura 19 - Exemplo de soldas de topo com penetração total do tipo longitudinal e circunferencial em vaso cilíndrico (MECÂNICA PESADA S/A).

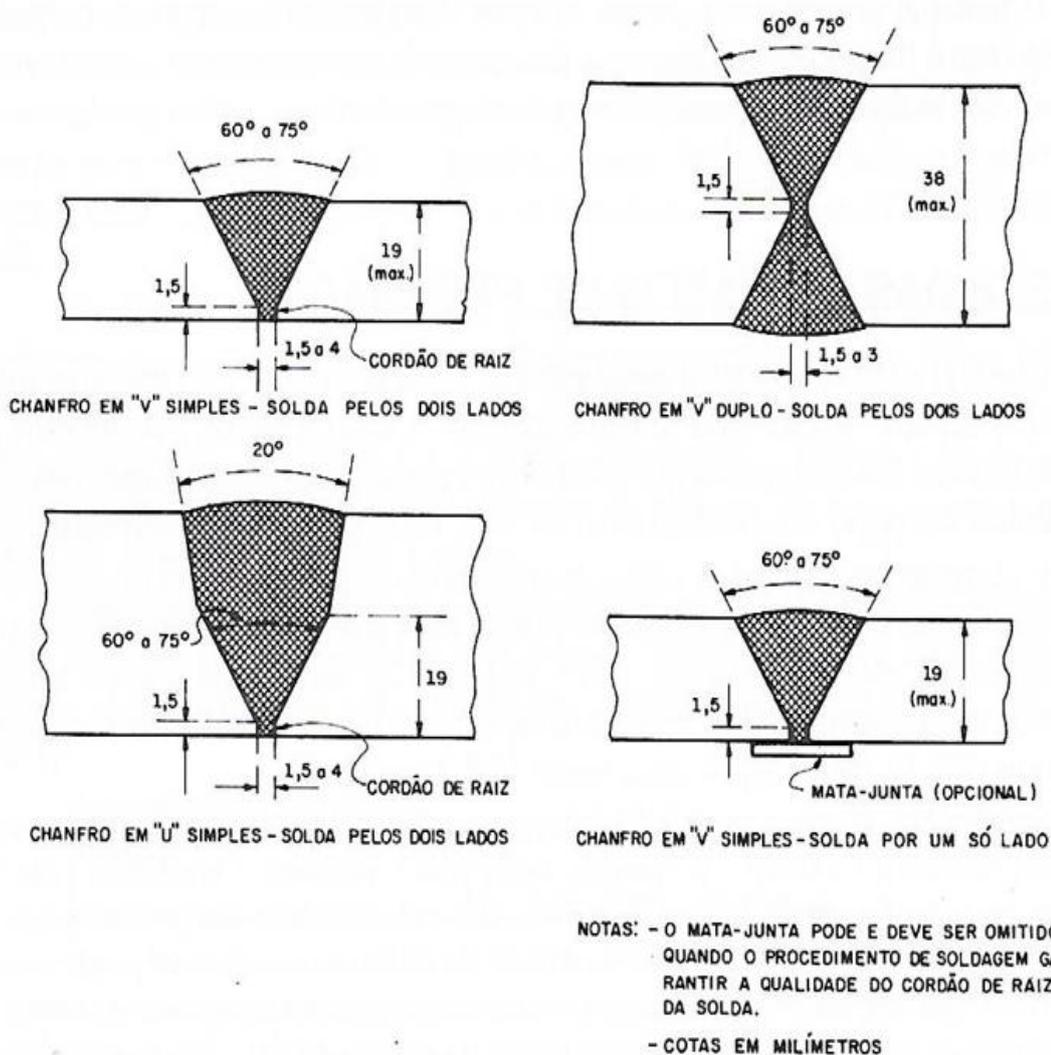


Fonte: O autor.

No entanto, o código ASME, Seção VIII, Divisão 2, exige a soldagem por ambos os lados em aços de alta resistência. Soldas de topo não radiografadas são incomuns na parede de pressão, geralmente exigindo radiografia parcial. A escolha do tipo de chanfro de preparação das bordas das chapas, como V simples, V duplo, U simples ou U duplo, ver Fig. 20, pode influenciar a quantidade de solda depositada e as distorções. Soldas assimétricas tendem a gerar maiores tensões e distorções do que as soldas simétricas, e é fundamental considerar o projeto e a execução com cuidado, especialmente nas soldas longitudinais em cascos cilíndricos ou cônicos, que estão sujeitas a esforços dobrados em relação às soldas circunferenciais, ver Fig. 19. (TELLES, 1996).

³ Dispositivo utilizado por trás da junta a ser soldada para evitar vazamento de metal de solda.

Figura 20 - Soldas de topo em cascos e tampos de vasos de pressão.



Fonte: Adaptada de TELLES, 1996.

As soldas são avaliadas quantitativamente por meio de sua eficiência, que, de acordo com o código ASME, Seção VIII, Divisão 1, é definida pelo nível de inspeção necessário após o processo de soldagem. Esse nível de inspeção leva em consideração a configuração da junta soldada. A seguir, apresenta-se a Tab. 1 com base na Tabela UW-12 do código ASME, Seção VIII, Divisão 1.

Tabela 1 - Coeficiente de eficiência de solda usuais.

Tipo de solda	Limitações	Radiografia		
		Total	Parcial	Sem

Solda de topo, feita por ambos os lados, ou por procedimento equivalente, de forma a obter penetração e fusão totais. (excluem-se as soldas com mata-junta permanente)	Nenhuma	1,00	0,85	0,70
Solda de topo, feita por um só lado, com mata-junta permanente.	Nenhuma	0,90	0,80	0,65
Solda de topo, feita por um só lado, sem mata-junta.	Uso permitido somente para soldas circunferenciais, para espessuras inferiores a 15 mm, e diâmetros inferiores a 610 mm.	--	--	0,60
Solda sobreposta, com filete duplo de altura total	Uso permitido para soldas longitudinais em espessuras inferiores a 10 mm, e para soldas circunferenciais em espessuras inferiores a 15 mm.	--	--	0,55

Fonte: Adaptada de ASME, Seção VIII, Divisão 1.

A Fig. 21 apresenta detalhes das soldagens aplicadas na conexão de cascos cilíndricos com tampos extremos, intermediários e saias de sustentação⁴. As uniões entre os cascos e os tampos extremos⁵ são realizadas por meio de soldas de topo, conforme exemplificado na Fig. 20. Já as conexões com tampos intermediários⁶ e saias, geralmente empregam soldas em ângulo. É uma prática comum posicionar a solda a uma distância específica da linha de tangência do tampo, embora essa medida seja uma exigência apenas do código ASME, Seção VIII, quando as espessuras do

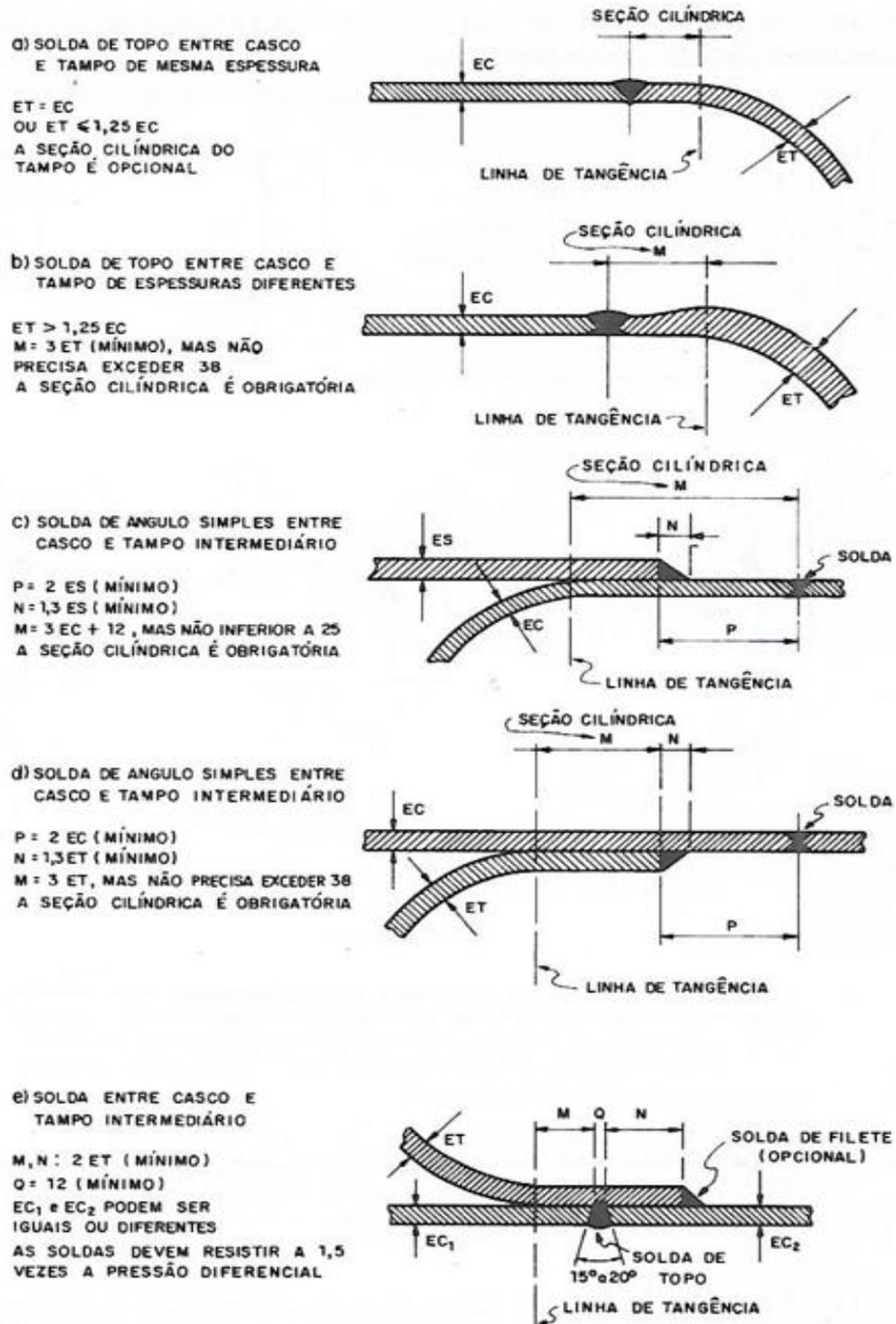
⁴ Tipos de suporte para sustentação de vaso de pressão, normalmente em formato cilíndrico e apoiado diretamente sobre uma base de concreto.

⁵ Tampos utilizados para fechamentos das extremidades de vasos de pressão.

⁶ Tampos utilizados para conectar vasos geminados.

tampo e do casco cilíndrico são diferentes (TELLES, 1996).

Figura 21 - Soldas entre cascos e tampos ou saídas de suporte.



Fonte: Adaptada da Fig. UW-13.1, do código ASME, Seção VIII, Divisão 1.

A norma ASME aborda de maneira abrangente as questões relacionadas às soldas, e é altamente recomendável consultar diretamente o documento normativo para detalhes adicionais sobre casos não abordados neste trabalho.

2.1.7 Suportes para vasos de pressão

Cada vaso de pressão deve ser provido de suporte dedicado, sem exceções, independentemente de seu tamanho ou peso. Não é permitido que os vasos, mesmo os mais leves e compactos, ver Fig. 22, sejam sustentados pelas tubulações (TELLES, 1996).

Figura 22 - Exemplo de vaso de pressão (PRESSURE) compacto e móvel.



Fonte: O autor.

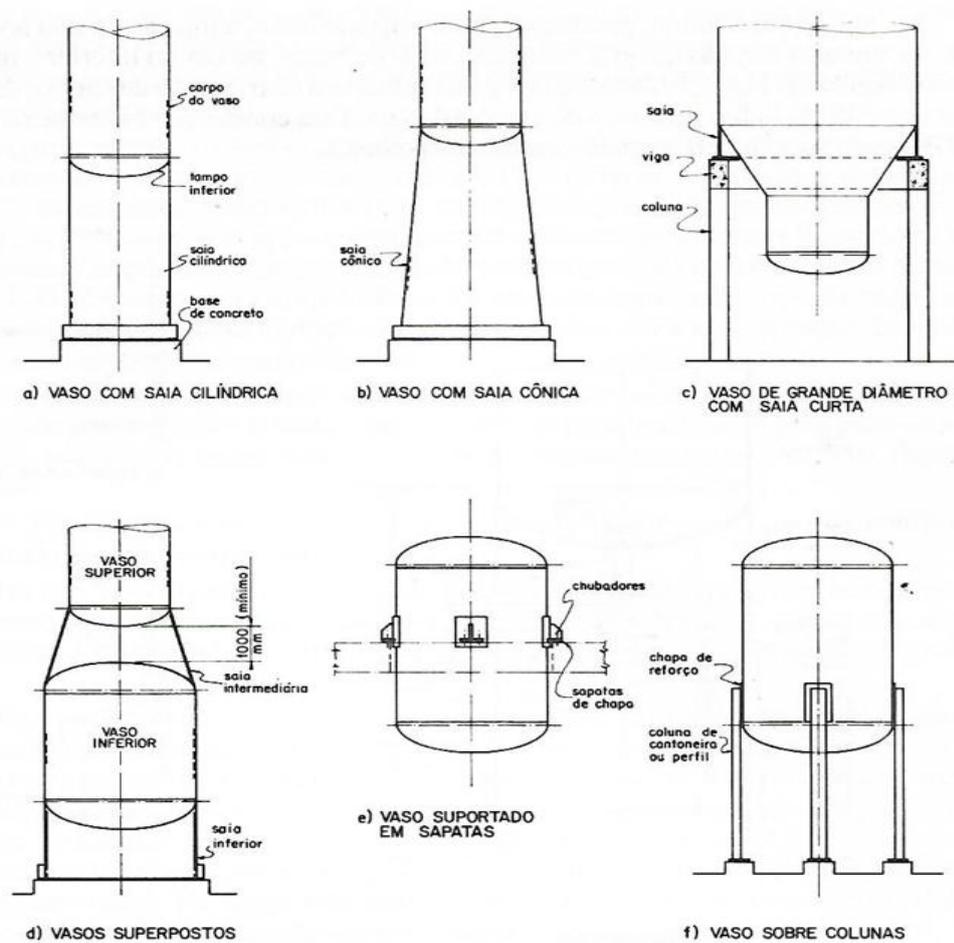
Os principais tipos de suporte são aqueles constituídos por saias, sapatas, colunas e berços. Os tipos saias, sapatas e colunas são utilizados, normalmente para suportar vasos dispostos verticalmente, conforme Fig. 23 e 24 (GROEHS, 2014). Note que os vasos de pressão dispostos verticalmente devem dispor de base de concreto para sustentá-los, conforme Fig. 24, mas na Fig. 23, não há fixação em base de concreto, configurando uma irregularidade em sua instalação.

Figura 23 - Exemplo de vaso de pressão (METALPLAN) vertical com suporte do tipo saia apresentando instalação incorreta.



Fonte: O autor.

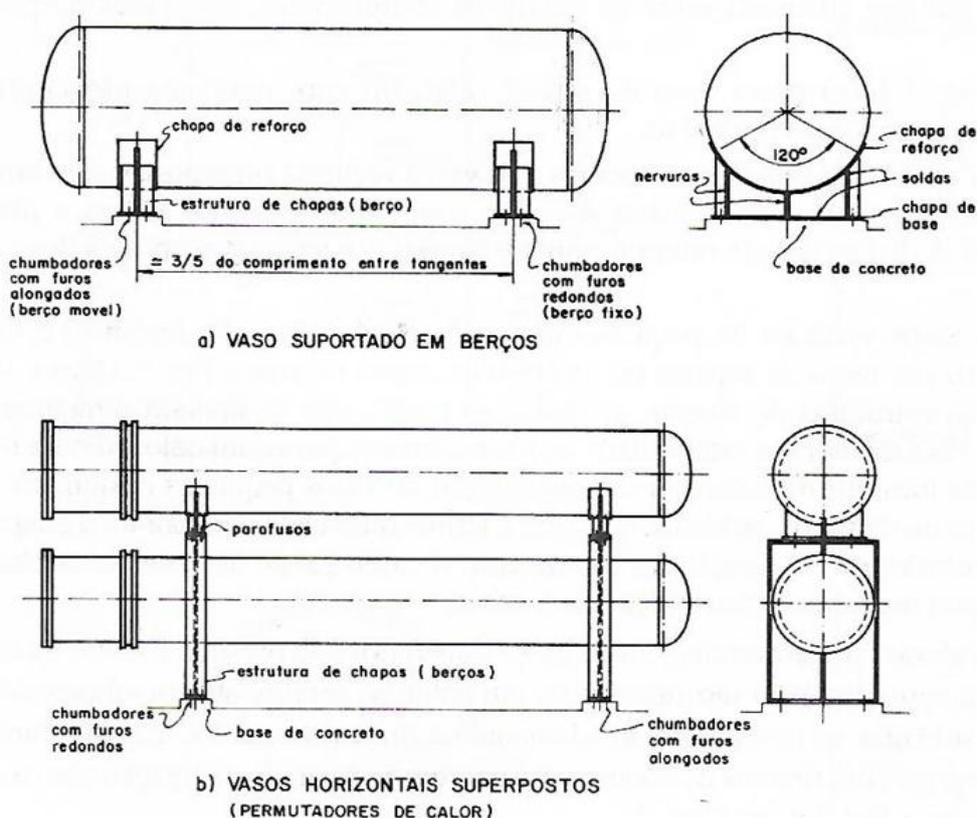
Figura 24 - Alguns tipos de suportes para vasos verticais.



Fonte: Adaptada de TELLES, 1996.

Já os vasos dispostos horizontalmente ou inclinados, conforme Fig. 6 e 25, são suportados por berços (GROEHS, 2014).

Figura 25 - Alguns tipos de suportes para vasos horizontais.



Fonte: Adaptada de TELLES, 1996.

A norma ASME aborda de maneira abrangente as questões relacionadas aos suportes, e é altamente recomendável consultar diretamente o documento normativo para detalhes adicionais sobre casos não abordados neste trabalho.

2.1.8 Materiais utilizados na construção de vasos de pressão

O aço-carbono é o material mais amplamente utilizado na construção da maioria dos vasos de pressão. Isso se deve ao fato de que, ao contrário de outros materiais, o aço-carbono não possui restrições específicas de aplicação, sendo adequado para a maioria dos casos, a menos que circunstâncias excepcionais impeçam seu uso. Os demais materiais são empregados em situações em que o uso do aço-carbono não é viável por razões diversas. Essa preferência se justifica pelo aço-carbono ser altamente conformável, facilmente soldável, amplamente disponível

em diversas formas e, o mais importante, oferecer uma excelente relação custo-resistência mecânica. Para ilustrar a predominância desse material, em uma refinaria de petróleo típica, aproximadamente 95% dos vasos de pressão são fabricados com aço-carbono (TELLES, 1996). A seguir será apresentada Tab. 2, baseada na tabela 1A da ASME, Seção II, Parte D, 2010, com valores de tensões admissíveis de aço-carbono.

Tabela 2 - Tensões admissíveis em MPa de alguns aço-carbono amplamente utilizados na construção de vasos de pressão.

Aço	Grau	-30 a 40 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C	375 °C
SA-36	---	133	133	133	133	129	125	122	119
SA-283	A	310	310	310	310	310	310	310	310
	B	186	165	160	153	145	141	137	132
	C	108	108	108	108	107	104	101	---
	D	152	134	200	125	118	115	111	---
SA-285	A	108	108	108	108	107	107	101	97,8
	B	345	345	345	345	345	345	345	345
	C	108	108	108	108	107	104	101	97,8

Fonte: Adaptada da tabela 1ª, Seção II, Parte D, ASME, 2010.

2.2 REGULAMENTAÇÃO DOS VASOS DE PRESSÃO

Desde o século XIX, tornou-se evidente a urgência de regulamentar a concepção e a fabricação dos vasos de pressão, em resposta às recorrentes explosões de caldeiras que assolavam a era da Revolução Industrial, marcada pelo uso generalizado das máquinas a vapor (DONATO,2009).

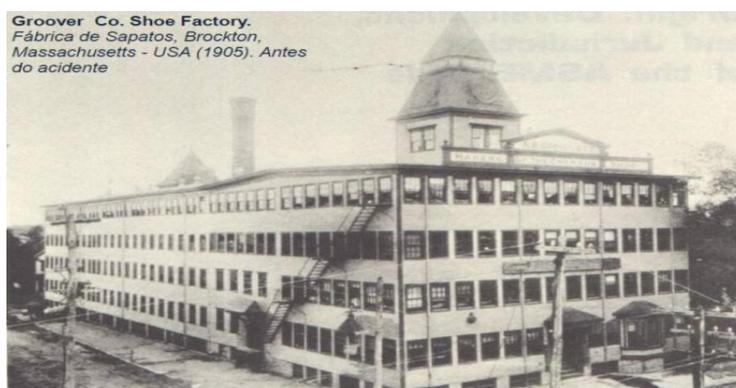
Após uma explosão catastrófica em Londres no ano de 1815, o Parlamento Britânico conduziu uma investigação minuciosa, concluindo que o acidente era resultado de construção inadequada, uso de materiais inadequados e pressão excessiva. Como medida preventiva, determinou-se que as caldeiras deveriam ser fabricadas em ferro forjado, com tampos hemisféricos e equipadas com duas válvulas de segurança (DONATO,2009).

Na cidade da Filadélfia, nos Estados Unidos, foi promulgada em 1817 uma lei que estabelecia a regulamentação de testes hidrostáticos e procedimentos de

inspeção para caldeiras. Posteriormente, em 1852, o Franklin Institute consolidou todas as normas referentes a caldeiras no Steam-Boat Act. No entanto, mesmo com essas medidas, no início do século XX, apenas nos Estados Unidos, estima-se que ocorriam entre 300 e 400 explosões de caldeiras anualmente, resultando em consideráveis danos pessoais e materiais (TELLES, 1996).

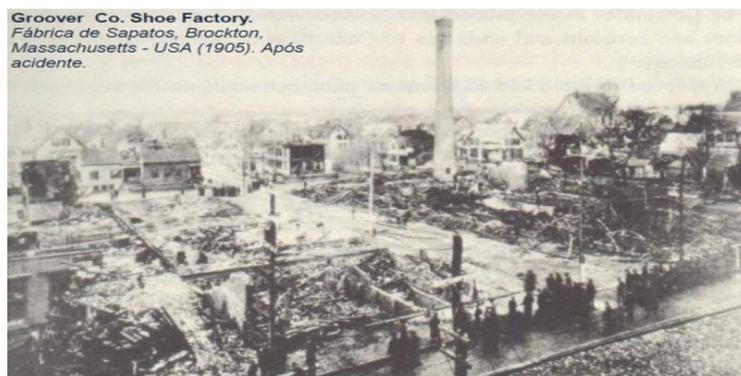
Após uma terrível explosão, ver Fig. 26 e 27, em Brockton, Massachusetts (EUA), no ano de 1905, que resultou em 58 mortes e 117 feridos, foi estabelecida a primeira norma americana de uso legal e obrigatório, abrangendo requisitos de projeto, materiais, fabricação e inspeção de caldeiras estacionárias. Essa norma, conhecida como Massachusetts Rules, foi publicada em 1907 e serviu como base para o futuro código ASME. Entre suas determinações, destacava-se a exigência de um coeficiente de segurança de 4,5 em relação ao limite de resistência do material (TELLES, 1996).

Figura 26 - Fábrica de sapatos Brockton antes da explosão da caldeira (1905).



Fonte: Fundacentro, 2001.

Figura 27 - Fábrica de sapatos Brockton após a explosão da caldeira (1905).



Fonte: Fundacentro, 2001.

Em 1911, foi estabelecida uma comissão especial da ASME (American Society of Mechanical Engineers) com o propósito de desenvolver uma norma. A primeira edição dessa norma foi finalmente publicada em 1914, abrangendo inicialmente apenas as caldeiras estacionárias. Somente em 1924, a Seção VIII do Código ASME foi lançada pela primeira vez, abrangendo os vasos de pressão que não estão expostos a chamas. Nessa época, já existiam diversas normas europeias tanto para caldeiras quanto para vasos de pressão (GROEHS, 2014).

É relevante observar que a motivação inicial por trás de todas as normas de projeto de vasos foi a segurança, ou seja, a preocupação em prevenir acidentes. A normalização e padronização em si surgiram posteriormente, com o objetivo específico do Código ASME de unificar e consolidar as várias normas que existiam em diferentes regiões dos Estados Unidos (TELLES, 1996).

A implementação e disseminação das normas tiveram um impacto significativo na redução tanto do número quanto da gravidade dos acidentes, mesmo com o aumento generalizado do uso de vasos de pressão em condições cada vez mais rigorosas (TELLES, 1996).

2.2.1 Principais tópicos da NR-13

As Normas Regulamentadoras (NRs) emitidas pelo Ministério do Trabalho no Brasil têm status de força legal. A NR-13, especificamente, define os requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural de caldeiras, vasos de pressão, tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento, abordando aspectos que englobam desde a instalação até a manutenção e inspeção desses equipamentos.

2.2.1.1 Classificação dos vasos de pressão

Neste item será transcrito a norma com ilustrações de tabelas para melhor entendimento desta.

Para os fins da NR 13, os vasos de pressão são classificados em categorias com base no tipo de fluido e no potencial de risco. A classificação em grupos de potencial de risco é determinada pelo valor do produto "P.V", em que "P" representa a pressão máxima de operação em MPa e "V" corresponde ao volume geométrico interno em m³.

Os fluidos contidos nos vasos de pressão devem ser classificados de acordo com a tabela a seguir, segundo o item 13.5.1.1.1 da NR-13, 2022.

Tabela 3 - Classificação do vaso de pressão segundo o tipo de fluido contido.

Características do fluido	Classe do fluido
<ul style="list-style-type: none"> - fluidos inflamáveis; - fluidos combustíveis com temperatura ≥ 200 °C - fluidos tóxicos com limite de tolerância \leq vinte partes por milhão (20 ppm); - hidrogênio; - acetileno. 	A
<ul style="list-style-type: none"> - fluidos combustíveis com temperatura < 200 °C - fluidos tóxicos com limite de tolerância > 20 partes por milhão (20 ppm). 	B
<ul style="list-style-type: none"> - vapor de água; - gases asfixiantes simples; - ar comprimido. 	C
- outros fluidos não enquadrados nas classes anteriores	D

Fonte: NR-13, 2022

Outra classificação de vasos de pressão dá-se pelo produto P.V, como mostrado na tabela a seguir, de acordo com o item 13.5.1.1.3 da NR-13, 2022.

Tabela 4 - Classificação dos vasos de pressão segundo o produto P.V

Grupo	Produto P(MPa) x V (m ³)
1	>100
2	≥ 30 e <100
3	$\geq 2,5$ e <30
4	≥ 1 e $<2,5$
5	<1

Fonte: NR-13, 2022.

Por fim, a tabela de categorização de vasos de pressão, de acordo com o item 13.5.1.1.3 da NR-13, 2022, que associa a classificação dos fluidos a grupos classificados segundo o produto P.V, vale ressaltar que o nível de risco aumenta de V a I, sendo I o de maior potencial de risco e V representando o menor potencial de risco.

Tabela 5 - Classificação segundo o potencial de risco.

Classe de fluido	Potencial de risco P (MPa) x V (m ³)				
	1: PV≥100	2: 30≤P.V >100	3: 2,5≤ P.V <30	4: 1≤P.V>2,5	5: P.V >1
	Categorias				
A	I	I	II	III	III
B	I	II	III	IV	IV
C	I	II	III	IV	V
D	II	III	IV	V	V

Fonte: NR-13, 2022.

2.2.1.2 Campo de aplicação

Neste item será transcrito a norma com citações de figuras para melhor entendimento desta.

A seguir, encontra-se a descrição do campo de aplicação da NR-13, de acordo com o item 13.2.1 da versão de 2022:

- a) Caldeiras com pressão de operação superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm²), ver Fig. 4;
- b) Vasos de pressão cujo produto P.V seja superior a 8, onde P é o módulo da pressão máxima de operação em kPa e V o seu volume interno em m³;
- c) Vasos de pressão que contenham fluidos da classe A, ver Fig. 3;
- d) Recipientes móveis com P.V superior a 8, onde P é o módulo da pressão máxima de operação em kPa, ou com fluidos da classe A, ver Fig. 22;
- e) Tubulações que contenham fluidos de classe A ou B, ligados a caldeiras ou vasos de pressão abrangidos por esta NR;
- f) Tanques metálicos de armazenamento, com diâmetro externo maior do que três metros, capacidade nominal acima de vinte mil litros, e que contenham fluidos de classe A ou B.

2.2.1.3 Casos em que não se aplica a NR-13

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

Da mesma forma, apresenta-se a descrição dos casos em que não se aplica a NR-13, de acordo com o item 13.2.2 da versão de 2022:

- a) Recipientes transportáveis, vasos de pressão destinados ao transporte de produtos, reservatórios portáteis de fluido comprimido e extintores de incêndio;
- b) Vasos de pressão destinados à ocupação humana;
- c) Vasos de pressão integrantes de sistemas auxiliares de pacote de máquinas;
- d) Dutos e seus componentes;
- e) Fornos, serpentinas para troca térmica e aquecedores de fluido térmico;
- f) Vasos de pressão com diâmetro inferior a 150 mm independentemente da classe do fluido;
- g) Geradores de vapor não enquadrados em códigos de vasos de pressão ou caldeira;
- h) Tubos de sistemas de instrumentação;
- i) Tubulações de redes públicas de distribuição de gás;
- j) Vasos de pressão fabricados em plástico reforçado de fibra de vidro – PRFV, inclusive aqueles sujeitos à condição de vácuo;
- k) Caldeiras com volume inferior a 100 litros;
- l) Tanques estruturais de embarcações, navios e plataformas marítimas de exploração e produção de petróleo;
- m) Vasos e acumuladores de equipamentos submarinos destinados à produção e exploração de petróleo;
- n) Tanques enterrados ou apoiados sobre pernas, sapatas, pedestais ou selas;
- o) Painéis de cocção;
- p) Acumuladores e blocos hidráulicos;
- q) Tubulações que operam com vapor, se mantidas em boas condições operacionais de acordo com um plano de manutenção;
- r) Trocador de calor com placas corrugadas gaxetadas e brasadas;

- s) Vasos de pressão sujeitos exclusivamente a condições de vácuo menor ou igual a 5 kPa, que não contenham fluidos de classe A.

Apesar de não estarem enquadrados na NR-13, é responsabilidade do empregador realizar inspeções e manutenções em equipamentos não abrangidos por essa norma, assim como em outros sistemas pressurizados que possam apresentar riscos aos trabalhadores. Essas ações devem ser conduzidas ou supervisionadas por um profissional técnico qualificado, seguindo as recomendações do fabricante e os requisitos dos códigos e normas aplicáveis, de acordo com o item 13.2.3 da NR-13, 2022.

2.2.1.4 Requisitos mínimos para instalação e operação de vasos de pressão

Neste item será transcrito a norma com ilustrações de figuras para melhor entendimento desta.

Os vasos de pressão devem ser dotados dos seguintes itens, de acordo com o item 13.5.1.2 da NR-13, 2022:

- a) A válvula de segurança, ou qualquer outro dispositivo de segurança, conforme Fig. 28, deve ter sua pressão de abertura ajustada para um valor igual ou inferior à Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA). Essa válvula deve ser instalada diretamente no vaso ou no sistema ao qual pertence, levando em consideração os requisitos do código de construção, especialmente em relação a aberturas escalonadas e tolerâncias de ajuste de pressão;
- b) Vasos de pressão submetidos a vácuo devem ser dotados de dispositivos de segurança ou outros meios previstos no projeto;
- c) Medidas para evitar o bloqueio inadvertido de dispositivos de segurança, incluindo controles administrativos ou, quando inexistentes, utilização de Dispositivo Contra Bloqueio Inadvertido (DCBI) associado à sinalização de advertência;
- d) Instrumento que indique a pressão de operação, conforme Fig. 29, instalado diretamente no vaso ou no sistema que o contenha.

Figura 28 - Exemplo de válvula de segurança (REGO) instalada em tubulação de GLP ligada a tanque de armazenamento.



Fonte: O autor.

Figura 29 - Exemplo de manômetro (WILLY) instalado em vaso de pressão de ar comprimido.



Fonte: O autor.

Os vasos de pressão devem viabilizar acessos seguros a todos os drenos, respiros, bocas de visita e indicadores de nível, pressão e temperatura, quando existentes, conforme Fig. 30, segundo item 13.5.2.1 da NR-13, 2022.

Figura 30 - Vaso de pressão (S.A. LITO GONELLA E HIJO I.C.F.I) com acesso seguro.



Fonte: O autor.

Todo vaso de pressão deve estar instalado em ambiente que possui os seguintes requisitos, segundo o item 13.5.2.2 da NR-13, 2022:

- a) Pelo menos duas saídas amplas, permanentemente desobstruídas, sinalizadas e dispostas em direções distintas;
- b) Acesso fácil e seguro para atividades de manutenção, operação e inspeção, sendo que, para guarda-corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;
- c) Iluminação nos termos da legislação vigente;
- d) Sistema de iluminação de emergência, exceto para vasos de pressão móveis que não exijam a presença de um operador para o seu funcionamento.

Para vasos de pressão instalados em ambientes fechados, além dessas exigências citadas anteriormente, deve ter ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas, de acordo com o item 13.5.2.3 da NR-13, 2022.

De acordo com o item 13.5.3.1 da NR-13, 2022, os vasos de pressão enquadrados nas categorias I ou II, conforme Fig. 31, devem possuir manual de operação próprio, manual de operação da unidade ou instruções de operação, em língua portuguesa, em local de fácil acesso aos operadores, contendo no mínimo:

- a) Procedimentos de partidas e paradas;
- b) Procedimentos e parâmetros operacionais de rotina;
- c) Procedimentos para situações de emergência;

d) Procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente.

Figura 31 - Vasos de pressão (P-90) de categoria I.



Fonte: O autor.

Conforme estabelecido no item 13.5.1.3 da NR-13, 2022, é obrigatório que todo vaso de pressão possua uma placa de identificação indelével fixada em seu corpo, ver Fig. 32. Essa placa deve ser posicionada em um local de fácil acesso e claramente visível. Além disso, a placa deve conter, no mínimo, as seguintes informações:

- a) Fabricante;
- b) Número de identificação;
- c) Ano de fabricação;
- d) Pressão máxima de trabalho admissível;
- e) Código de construção e ano de edição.

Figura 32 - Placa de identificação fixada em vaso de pressão.

NACIONALGÁS			
GÁS DO BRASIL			
EQUIPAMENTO:	VASO HORIZONTAL COM TAMPOS SEMIESFÉRICOS		
Nº DE SÉRIE:	1619-R2	ANO DE FABRICAÇÃO:	1969
INSPEÇÃO:	NR - 13	TAG:	09 - TQ - 03
FABRICANTE:	MECÂNICA PESADA S/A	CLASSE:	A
CÓD. PROJ.:	ASME VIII DIV.1 ED.1965	CATEGORIA:	I
PMTA:	1,725 MPa	17,60 kgf/cm ²	
PTH:	2,588 MPa	26,40 kgf/cm ²	
VOL:	117,406 m ³	117,406 Litros	
CAPACIDADE:	60,00 TONELADAS		
MATERIAL DOS TAMPOS:	ASTM A-285 Gr. C		
MATERIAL DO COSTADO:	ASTM A-285 Gr. C		
DIÂMETRO:	2.750,0 mm	COMPRIMENTO:	20.707,0 mm
ESP. DOS TAMPOS:	16,50 mm	ESP. COSTADO:	20,90mm
TIPO DE INSPEÇÃO EXECUTADA:	EXTERNA	16/06/2020	
PRÓXIMA INSPEÇÃO:	EXTERNA	16/06/2021	
Executante: C3 ENGENHARIA			

Fonte: O autor.

Além da placa de identificação, devem constar, em local visível, a categoria do vaso e seu número ou código de identificação, conforme Fig. 33, segundo item 13.5.1.4 da NR-13 de 2022.

Figura 33 - Número de identificação e categoria do vaso de pressão.



Fonte: O autor.

Os vasos de pressão devem possuir também a seguinte documentação atualizada, conforme item 13.5.1.5 da NR-13 de 2022:

- a) Prontuário do vaso de pressão, fornecido pelo fabricante, contendo as seguintes informações:
 - Código de construção 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 ao monitoramento da sua vida útil;
 - Pressão máxima de operação;
 - Registros da execução do teste hidrostático de fabricação;
 - Características funcionais;
 - Dados dos dispositivos de segurança;
 - Ano de fabricação;
 - Categoria do vaso;
- b) Registro de segurança;
- c) Projeto de alteração ou reparo;
- d) Relatórios de inspeção de segurança;
- e) Certificados de inspeção e teste dos dispositivos de segurança.

2.2.1.5 Inspeções de segurança

Neste item será transcrito a norma com ilustrações de figuras para melhor entendimento desta.

Os vasos de pressão são obrigados a passar por inspeções de segurança em três momentos distintos: a inspeção inicial, a inspeção periódica e a inspeção extraordinária, conforme estabelecido no item 13.5.4.1 da atualização da NR-13, em 2022. Estas verificações são essenciais para garantir a integridade e o correto funcionamento dos vasos, visando à prevenção de quaisquer potenciais riscos e assegurando a segurança dos trabalhadores e do ambiente em que estão inseridos.

A inspeção de segurança inicial deve ser feita em vasos de pressão novos, antes de sua entrada em funcionamento, no local definitivo de instalação, devendo

compreender exames externo e interno, de acordo com o item 13.5.4.2 da NR-13, 2022.

Ainda em relação a inspeção inicial, os vasos de pressão devem, obrigatoriamente, ser submetidos a teste hidrostático em sua fase de fabricação, com comprovação de laudo assinado por responsável técnico designado pelo fabricante ou importador, de acordo com o item 13.5.4.3 da NR-13, 2022.

Para os casos em que não há comprovação documental de que o teste hidrostático tenha sido realizado na fase de fabricação, aplica-se duas situações, de acordo com o item 13.5.4.3.1 da NR-13, 2022:

- a) Para os vasos de pressão fabricados ou importados a partir de 2 de maio de 2014, o teste hidrostático deve ser feito durante a inspeção inicial;
- b) Para os vasos de pressão em operação antes de 2 de maio de 2014, a execução do teste hidrostático correspondente ao da fase de fabricação fica a critério técnico do profissional habilitado responsável pela inspeção e, caso este julgue necessário, deve ser executado até a próxima inspeção de segurança periódica interna.

Já os vasos de pressão categorias IV ou V de produção seriada, certificados por Organismo de Certificação de Produto – OCP, acreditado pelo INMETRO, ficam dispensados de inspeção inicial, desde que instalados de acordo com as recomendações do fabricante (item 13.5.4.4, NR-13, 2022), ver Fig. 34.

Figura 34 - Exemplo de vaso de pressão de categoria V de produção seriada.



Fonte: O autor.

A data da instalação do vaso de pressão deve ser anotada no registro de segurança, a partir da qual se inicia a contagem do prazo para a inspeção periódica de segurança (item 13.5.4.4.1 da NR-13,2022). A inspeção periódica é constituída por

exames interno e externo com prazos máximos estabelecidos, de acordo com a tabela a seguir (item 13.5.4.4.2 da NR-13, 2022):

Tabela 6 - Prazos máximos para a inspeções de segurança periódicas

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

Fonte: NR-13, 2022.

O SPIE é o Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos, que deve seguir uma série de requisitos para ser implementado em uma empresa, conforme anexo II da NR-13, 2022.

De acordo com o item 13.5.4.9 da NR-13 de 2022, as válvulas de segurança, ver Fig. 35, devem ser desmontadas, inspecionadas e testadas com prazo não superior ao previsto para a inspeção de segurança periódica interna dos vasos de pressão por elas protegidos.

Figura 35 - Válvula de segurança (FLUID CONTROLS DO BRASIL) em bancada de calibração.



Fonte: O autor.

De acordo com o item 13.5.4.10 da NR-13,2022, a obrigatoriedade da inspeção extraordinária de segurança dá-se nas seguintes situações:

- a) Sempre que o vaso de pressão for danificado por acidente ou outra ocorrência que comprometa sua segurança;
- b) Quando o vaso de pressão for submetido a reparo ou alterações importantes, capazes de alterar sua condição de segurança;
- c) Antes de o vaso de pressão ser recolocado em funcionamento, quando permanecer inativo por mais de 12 meses;
- d) Quando houver alteração do local de instalação do vaso de pressão, exceto para vasos móveis.

2.2.1.6 Relatório de inspeção de segurança

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo, ver apêndice A.

Em conformidade com o item 13.5.4.11 da NR-13, 2022, o relatório de inspeção de segurança, deve conter no mínimo:

- a) Identificação do vaso de pressão;
- b) Categoria do vaso de pressão;
- c) Fluidos de serviço;
- d) Tipo do vaso de pressão;
- e) Tipo de inspeção executada;
- f) Data de início e término da inspeção;
- g) Descrição das inspeções, exames e testes executados;
- h) Registro fotográfico das anomalias detectadas no exame interno e externo do vaso de pressão;
- i) Resultado das inspeções e intervenções executadas;
- j) Recomendações e providências necessárias;
- k) Parecer conclusivo quanto à integridade do vaso de pressão até a próxima inspeção;
- l) Data prevista para a próxima inspeção de segurança;
- m) Nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do profissional habilitado e nome legível e assinatura de técnicos que participaram da inspeção;
- n) Número do certificado de inspeção e teste das válvulas de segurança.

2.2.1.7 Orientações gerais

Embora tenham sido mencionados alguns tópicos relevantes da NR-13, é importante destacar que diversas outras situações não foram abordadas neste contexto. Para uma compreensão abrangente e precisa das diretrizes estabelecidas, é fundamental consultar a norma em sua última versão.

2.2.2 Tópicos relevantes da ABNT NBR 15417

A norma ABNT NBR 15417 desempenha um papel crucial ao estabelecer os requisitos mínimos para a inspeção de segurança de vasos de pressão em serviço, aplicando-se especialmente aos equipamentos classificados conforme a NR-13. Essa regulamentação é essencial para garantir a integridade e o desempenho seguro desses vasos de pressão, assegurando que estejam em conformidade com os padrões estabelecidos e contribuindo para a prevenção de acidentes industriais (ABNT NBR 15417,2007).

2.2.2.1 Orientações para execução de inspeção em vasos de pressão

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

No tópico 4.2 da ABNT NBR 1547:2007, são delineadas as diretrizes para a preparação e execução da inspeção em vasos de pressão, onde é aconselhada uma abordagem abrangente, incluindo a consulta mínima a todos os aspectos relevantes relacionados ao vaso de pressão.

De acordo com o tópico 4.2.1, quando existir prontuário completo e registro de segurança dos vasos de pressão, é aconselhável a realização da avaliação dos seguintes itens:

- a) Histórico de inspeções;
- b) Recomendações de inspeções pendentes;
- c) Alterações e reparos pendentes;
- d) Características físicas do vaso e seus dispositivos de segurança (por exemplo, dimensões, tipo);
- e) Características de projeto e operacionais, PMTA, temperatura máxima e mínima de operação, materiais, etc.);

- f) Mecanismos de deterioração mais prováveis em ação;
- g) Vida útil restante;
- h) O inspetor deve familiarizar-se com a operação e a função do equipamento, incluindo seus componentes internos e bocais, para identificar possíveis descontinuidades;
- i) Registro de segurança ou documento equivalente;
- j) Verificação das espessuras mínimas requeridas de todos os elementos do vaso conforme a memória de cálculo ou, se aplicável, a PMTA de todos os elementos, em conformidade com o código de construção;
- k) Verificação das espessuras mínimas requeridas de todos os elementos do vaso de pressão conforme a memória de cálculo ou, se aplicável, a PMTA de todos os elementos, de acordo com o código de construção;
- l) Verificação da existência de um manual de operação específico ou instruções de operação dentro do manual da unidade, para vasos de categoria I e II da NR-13; e
- m) Para vasos de pressão das categorias I e II, verificar se o operador passou pelo "treinamento de segurança e operação de unidades de processos" ou possui experiência comprovada conforme exigido pela NR-13.

2.2.2.1.1 Reconstituição de prontuário

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

Conforme estabelecido no item 4.2.2 da NBR - 15417, na ausência de um prontuário completo do vaso de pressão, seu extravio, ou a falta do registro de segurança, é necessário reconstituir integralmente o prontuário do vaso de pressão por meio de um Profissional Habilitado (PH) em conformidade com a NR-13. Esse prontuário reconstituído deve abranger os seguintes documentos obrigatórios:

- a) Um mapeamento preciso das medições de espessura, conduzido por meio de ultrassom ou outra técnica apropriada, abrangendo todos os componentes do vaso sujeitos a pressão, incluindo elementos soldados nas áreas pressurizadas;
- b) A elaboração da memória de cálculo do vaso de pressão, baseada no código de construção, levando em consideração as menores espessuras identificadas e o

- cálculo da PMTA de todos os elementos do vaso, com a devida avaliação das cargas externas que atuam sobre o vaso;
- c) A apresentação de desenhos que contenham todas as informações essenciais para monitorar a vida útil do vaso, incluindo dimensões, dados do código de construção adotado na reconstituição da memória de cálculo e outras informações necessárias para atender às exigências da NR-13;
 - d) O desenvolvimento de um novo projeto de identificação do vaso em conformidade com a NR-13;
 - e) A inclusão das especificações dos dispositivos de segurança;
 - f) A abertura do registro de segurança;
 - g) E quaisquer outros documentos requeridos pela NR-13 ou determinados pelo Profissional Habilitado responsável pela reconstituição do prontuário.

2.2.2.1.2 Requisitos de segurança

Neste item, a norma será transcrita com ilustração de figura para melhor entendimento desta.

No tópico 4.3 da ABNT NBR 15417, encontram-se os requisitos de segurança que devem ser estritamente observados durante a condução de inspeções em vasos de pressão. Estes requisitos serão descritos nos parágrafos subsequentes.

É crucial verificar se a permissão de trabalho foi emitida de acordo com os procedimentos aprovados e vigentes na empresa. Em caso de identificação de não conformidades, é necessário comunicar imediatamente ao órgão de segurança industrial. É prudente dar especial atenção aos vasos que contenham fluidos quentes, inflamáveis, sob alta pressão ou envolvam serviços especiais, como aqueles que possam ser prejudiciais à saúde (por exemplo, H₂S, H₂, Cl, NH₃, etc.). Utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e/ou Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) necessários durante a execução dos serviços de inspeção são fundamentais para a realização de um trabalho seguro.

Assegurar-se de que os acessos, andaimes e a iluminação sejam adequados e suficientes. A avaliação deve ser realizada e registrada pelos órgãos de segurança industrial e de saúde ocupacional. Avaliar se os trabalhos de manutenção que ocorrerão simultaneamente aos serviços de inspeção apresentam riscos à segurança. Tomar as precauções necessárias antes de entrar no vaso, conforme as diretrizes

estabelecidas na ABNT NBR 14787 para espaços confinados, ver Fig.36, além de seguir os procedimentos específicos aplicáveis.

Isolar o vaso de todas as fontes de líquidos, vapores ou gases usando flanges cegos ou dispositivos similares adequados à temperatura e pressão da unidade. Antes de permitir a entrada do inspetor, o vaso deve ser drenado, limpo, purgado e verificado quanto à presença de gases. Quando aplicável, siga os procedimentos para reconhecer potenciais alterações na qualidade do ar respirável causadas pela emissão de aerodispersóides pelos agentes químicos usados em ensaios não destrutivos.

Cumprir rigorosamente os procedimentos para emissão de permissão de trabalho (PT) e/ou análise preliminar de riscos (APR), ou procedimentos equivalentes, a fim de garantir a máxima segurança para os inspetores em serviço, assegurando o total cumprimento das normas de boas práticas de segurança industrial.

Figura 36 - Realização de inspeção em espaço confinado.



Fonte: O autor.

2.2.2.2 Tipos de inspeções

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

O item 5 da NBR ABNT 15417 estabelece os requisitos específicos para conduzir diferentes tipos de inspeções. Essas inspeções são classificadas como: inspeção externa, inspeção interna, inspeção inicial e inspeção extraordinária. A inspeção extraordinária é subdividida em inspeção de problema operacional, inspeção de alteração operacional, inspeção de reconstituição de prontuário, inspeção de vasos fora de operação e inspeção de alteração ou reparo.

2.2.2.2.1 Inspeção externa

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

De acordo com o item 5.1 da NBR ABNT 15417, a inspeção externa deve ser realizada com uma abordagem visual, abrangendo, no mínimo, os seguintes pontos:

- a) Vias de acesso ao vaso, tais como escadas, plataformas e corrimãos, entre outros.
- b) Fundações e suportes, sempre que acessíveis;
- c) Chumbadores, quando estiverem acessíveis;
- d) Dispositivos de aterramento estático;
- e) Revestimento externo ao vaso, incluindo isolamento térmico ou pintura;
- f) Revestimento de proteção contra fogo, caso esteja presente;
- g) Bocais, cliques e olhais de suporte ligados ao vaso;
- h) Flanjes, estojos e porcas; e
- i) Identificação do vaso, sua categoria NR 13 e placa de identificação, correspondente.

Conforme especificado no item 5.1.2, a inspeção externa deve ser realizada visualmente. Geralmente, não é necessário remover o revestimento externo, como pintura e isolamento térmico, a menos que durante a inspeção sejam identificadas áreas suspeitas que demandem investigação adicional.

A medição da espessura deve seguir uma periodicidade estabelecida pelo PH, podendo coincidir com a inspeção externa ou interna do vaso. Essa frequência não deve ser superior ao menor valor entre metade da vida remanescente do equipamento ou o intervalo estipulado para a inspeção interna do vaso, conforme descrito no item 5.1.3.

No caso de danos acumulados evidentes e quando a perda de espessura não for o fator predominante na vida útil restante do equipamento, o PH deve determinar o critério mais adequado para a avaliação (por exemplo, corrosão sob tensão, fragilização por hidrogênio ou fadiga), conforme delineado no item 5.1.4.

Durante a inspeção externa de um vaso de pressão, devem ser observados diferentes tipos de descontinuidades, incluindo perda de espessura, deformações, falhas no revestimento externo que exponham ou possam comprometer o substrato (por exemplo, pintura, isolamento térmico e revestimento de proteção contra fogo), ruptura de elementos ligados ao vaso (por exemplo, cliques e olhais de suporte de plataformas e chapas de ligação do aterramento elétrico), integridade das vias de acesso às partes do vaso (por exemplo, plataformas, escadas e corrimãos) e o estado de corrosão da chaparia, conforme detalhado no item 5.1.5.

2.2.2.2.2 Inspeção interna

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

A inspeção interna, conforme detalhada no item 5.2 da NBR 15417, desempenha um papel fundamental na avaliação da integridade do equipamento. É responsabilidade do PH definir as áreas a serem preparadas e inspecionadas de maneira representativa das deteriorações que podem afetar o equipamento como um todo. Recomenda-se, a cada 10 anos de operação em regiões com alta umidade relativa do ar, proporcionar acesso para inspeção de parte da solda de união de suporte do vaso com o vaso. Em outras regiões, o prazo de inspeção pode ser estendido, de acordo com a decisão do PH. Além disso, é aconselhável retirar amostras dos depósitos para análise química.

Essa inspeção interna deve ser conduzida de maneira visual, com especial atenção aos seguintes aspectos:

- a) Antes da limpeza, nos casos em que a deposição de produtos possa afetar o desempenho do vaso ou sinalizar seu grau de deterioração, bem como quando são empregadas técnicas de passivação para proteger partes do vaso, como aquelas em contato com a água de permutadores de calor;

- b) Nas conexões dos bocais, é essencial dedicar uma atenção especial às áreas de soldagem entre o pescoço e o corpo do vaso. Essas regiões devem ser avaliadas quanto à potencial ocorrência de vazamentos e, se necessário, submetidas a análises adicionais por meio de ensaios não destrutivos (END);
- c) O pescoço do bocal que seja acessível a partir do interior do vaso deve ser examinado quanto a sinais de deterioração. Para bocais em que o acesso pelo interior do vaso não seja adequado para a avaliação, a integridade deve ser analisada mediante END.
- d) Os estojos e porcas dos componentes internos do vaso devem ser inspecionados para verificar a presença de corrosão e avaliar a quantidade de fios de rosca utilizados para o aperto adequado;
- e) Deve-se prestar especial atenção aos pontos com maior concentração de tensões, procurando identificar a presença de descontinuidades do tipo trinca. Isso inclui locais como bocais, áreas sujeitas a mudanças de forma e pontos de interseção entre soldas circunferenciais e longitudinais.

De acordo com o item 5.2.2, durante a realização da inspeção interna, é altamente recomendado que os pontos de controle relacionados à deterioração sejam minuciosamente reavaliados. Para completar a inspeção interna do recipiente de forma abrangente, é aconselhável realizar exames não destrutivos nas áreas de maior concentração de tensões. Isso inclui, por exemplo, bocais, áreas de transição de formato e os pontos de interseção entre soldas circunferenciais e longitudinais. Essa medida é especialmente relevante quando o recipiente está suscetível a mecanismos de deterioração que possam resultar em descontinuidades, como trincas associadas a tensões, como corrosão sob tensão e fadiga, conforme descrito no item 5.2.3.

Os dispositivos de segurança do recipiente, como válvulas de segurança, válvulas de alívio e discos de ruptura, devem ser removidos durante o processo de inspeção, desmontagem e avaliação das partes, além de serem recalibrados, conforme exigido pelas normas da NR-13, como especificado no item 5.2.4.

No caso de recipientes com revestimento interno, como pintura ou material refratário, a avaliação deve ser realizada visualmente, a menos que haja suspeitas de descolamento ou qualquer outra forma de deterioração que possa expor o substrato ao meio ambiente. Quando não for viável remover o revestimento, essa parte do recipiente deve ser avaliada externamente quanto à perda de espessura por meio de

medições de espessura com ultrassom ou outro método adequado, como indicado no item 5.2.5.

Recipientes que apresentem suspeita de descontinuidades internas, como trincas, devem passar por ensaios radiográficos, ultrassom ou outros métodos de exame não destrutivo mais apropriados para avaliar as descontinuidades esperadas ou que precisem ser avaliadas, conforme detalhado no item 5.2.6.

Os tubos que compõem os feixes tubulares devem ser minuciosamente avaliados quanto à corrosão ou trincas em seus pontos de acesso, como os tubos periféricos dos feixes removíveis e as extremidades dos tubos. Quando houver suspeita de redução na espessura da parede dos tubos, é necessário realizar avaliações que envolvam a remoção de amostras ou a utilização de métodos de exame não destrutivo mais avançados, como o sistema de inspeção rotativa interna (IRIS) e ensaios por correntes parasitas, conforme mencionado no item 5.2.7.

Outros métodos não convencionais de ensaios não destrutivos podem ser empregados quando uma avaliação mais detalhada do recipiente for necessária, a critério do PH, conforme estipulado no item 5.2.8.

2.2.2.2.3 Inspeção inicial

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

A inspeção inicial, conforme estipulado no item 5.3 da NBR ABNT 15417, impõe a responsabilidade ao PH de documentar cuidadosamente as ocorrências no registro de segurança e de elaborar o relatório de inspeção de acordo com os padrões desta Norma e da NR-13. Além disso, o PH deve solicitar ao usuário as medidas necessárias para a elaboração ou alteração do projeto de instalação de vasos na planta, o que inclui o vaso em questão.

Esta inspeção deve ser realizada quando um novo vaso de pressão estiver prestes a entrar em operação, com a obrigatoriedade de verificar, no mínimo, os seguintes aspectos:

- a) Verificar o código de construção do vaso, incluindo a edição e as adendas aplicáveis, e documentar essas informações no relatório de inspeção.

- b) Revisar o prontuário completo do vaso de pressão, emitido pelo fabricante, conforme os requisitos da NR-13 e do código de construção do equipamento. Este prontuário deve incluir memórias de cálculo, desenhos gerais, lista de certificados de materiais, instruções de operação para categorias I e II, quando aplicável, assim como todos os documentos exigidos pela NR-13.
- c) Verificar a presença e a correta conformidade da plaqueta de identificação do vaso, assegurando que ela esteja em conformidade com o código de construção e a NR-13.
- d) Examinar o certificado de teste hidrostático para garantir que o vaso tenha sido testado e certificado adequadamente.

2.2.2.2.4 Inspeção extraordinária de problema operacional

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

Conforme estipulado no item 5.4.1 da NBR ABNT 15417, é responsabilidade do PH registrar todas as ocorrências no registro de segurança e elaborar o relatório de inspeção de acordo com os padrões estabelecidos nesta Norma e na NR-13. A inspeção extraordinária de problemas operacionais deve ser realizada sempre que ocorrer qualquer situação anormal durante a operação que possa comprometer a segurança do vaso, tais como:

- a) Ocorrência de sobrepressão;
- b) Identificação de quaisquer tipos de vazamentos observados;
- c) Observação de superaquecimento do vaso, com temperaturas excedendo as especificações de projeto estipuladas para o equipamento;
- e) Evidência de queda no desempenho operacional que possa ameaçar as condições do vaso, como a formação de incrustações ou deterioração anormal;
- f) Ocorrência de abertura da válvula de segurança abaixo do ponto previsto ou a falta de abertura na pressão especificada.

2.2.2.2.5 Inspeção extraordinária de alteração operacional

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

No que diz respeito à inspeção extraordinária de alteração operacional, conforme estipulado no item 5.4.2 da NBR ABNT 15417, quando o código de construção do vaso e suas características não podem mais atender às novas condições desejadas, outro tipo de inspeção deve ser realizada, seguindo as orientações do PH, que baseará suas considerações nas normas relevantes. Essa inspeção é necessária apenas quando não há a necessidade de realizar um projeto de alteração ou reparo. Caso contrário, o PH deve conduzir uma inspeção de alteração ou reparo, em conformidade com os padrões estabelecidos por esta Norma.

O PH é encarregado de registrar todas as ocorrências no registro de segurança e de elaborar o relatório de inspeção conforme as diretrizes desta Norma e da NR-13. A inspeção de alteração operacional deve ser executada quando quaisquer parâmetros operacionais essenciais, conforme definidos pelo código de construção, pela NR-13 e por esta Norma, forem alterados. Isso pode incluir:

- a) Modificações na pressão máxima de trabalho;
- b) Variações na temperatura de projeto;
- c) Alterações no fluido de trabalho do vaso, que podem requerer uma reclassificação da categoria do vaso;
- d) A caracterização do vaso de pressão para sua situação anteriormente existente;
- e) A caracterização do vaso de pressão para a situação desejada;
- f) A confecção de uma nova plaqueta de identificação;
- g) A adaptação dos instrumentos de segurança para atender às novas condições de trabalho.

2.2.2.2.6 Inspeção extraordinária de reconstituição de prontuário

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

Em relação à inspeção extraordinária para reconstituição de prontuário de um vaso de pressão, esta ação deve ser realizada quando o prontuário original do equipamento estiver ausente ou extraviado, sendo responsabilidade do fabricante ou do PH proceder à sua reconstituição, seguindo as diretrizes de um código de

construção determinado e a regulamentação da NR-13. Caso seja difícil obter informações sobre os materiais utilizados no vaso, o PH pode optar por realizar END ou outras análises necessárias para identificar os componentes do equipamento. É crucial que o PH justifique as tensões utilizadas no cálculo da PMTA para cada parte do vaso no documento de cálculo.

A reconstituição do prontuário pode ser completa, quando nenhum dos documentos obrigatórios do prontuário original está disponível, ou parcial, quando faltam alguns documentos essenciais. Para realizar essa tarefa, deve-se seguir as diretrizes estabelecidas no item 5.4.3 da ABNT NBR 15417, que incluem:

- a) Realização de inspeções conjuntas periódicas, como inspeções internas, externas, inspeção inicial e teste hidrostático, conforme estipulado na NR-13 e nesta Norma;
- b) Elaboração de um prontuário completo para o vaso de pressão nas condições atuais, com a possibilidade de inclusão de projetos de alteração ou reparo, se necessário, além da restauração de todos os desenhos e cálculos pertinentes;
- c) Execução de pelo menos um END para avaliar as condições do vaso, incluindo a medição da espessura, utilizando o método de ultrassom de acordo com o código adotado pelo PH;
- d) Documentação adequada de todas as observações e considerações necessárias no relatório de inspeção, conforme as diretrizes da NR-13 e desta Norma;
- e) Abertura ou atualização do registro de segurança, com todas as informações relevantes devidamente registradas.

2.2.2.2.7 Inspeção extraordinária em vasos fora de operação

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

Conforme estipulado no item 5.4.4 da ABNT NBR 15417, a inspeção extraordinária em vasos de pressão que se encontram fora de operação é uma prática necessária. Nesse contexto, o PH tem a responsabilidade de registrar a ocorrência no registro de segurança e elaborar um relatório de inspeção em conformidade com os padrões estabelecidos nesta Norma e na NR-13. Isso é essencial quando um vaso de pressão é retirado de operação por um período determinado ou quando um vaso que estava paralisado, com a devida anotação em seu registro de segurança, precisa ser

reintegrado às operações. Para guiar essa ação, devem ser considerados os seguintes critérios:

- a) Vasos de pressão que permaneceram fora de operação por mais de seis meses devem passar por uma inspeção, mantendo o prontuário e o registro de segurança atualizados;
- b) Vasos que apresentem algum grau de deterioração enquanto estiverem paralisados, mesmo que por um período inferior a seis meses, devem ser submetidos a inspeções, a critério do PH;
- c) Qualquer vaso que esteja fora de operação, com tal condição devidamente registrada no registro de segurança, deve ser inspecionado antes de ser reintegrado às operações, além de outras inspeções adicionais que o PH considere necessárias.

2.2.2.2.8 Inspeção extraordinária de alteração e reparo

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

Conforme estabelecido no item 5.4.5 da norma ABNT NBR 15417, a inspeção extraordinária para alterações ou reparos em vasos de pressão é essencial. Essas intervenções requerem a elaboração prévia de um projeto por um PH antes da execução. Após a conclusão das alterações ou reparos, o vaso de pressão deve ser submetido a um teste hidrostático, seguindo o código de construção, nos termos da NR-13 e desta norma. Isso é necessário sempre que houver soldagem das partes pressurizadas ou das partes soldadas às partes pressurizadas.

Além da inspeção de alteração e reparo, outros tipos de inspeção podem ser realizados, conforme o critério do PH ou de acordo com as exigências da NR-13. O PH deve documentar essa ocorrência no registro de segurança e emitir um relatório de inspeção, seguindo as diretrizes desta norma e da NR-13.

Os projetos de alteração e reparo devem conter, no mínimo, as seguintes informações:

- a) Especificação dos materiais utilizados;

- b) Procedimentos escritos para a execução das atividades, como soldagem, seleção de consumíveis de soldagem, e procedimentos para o teste hidrostático, entre outros;
- c) Cálculos detalhados das partes que serão alteradas;
- d) Relatórios de exames, ensaios e testes realizados para garantir a qualidade;
- e) Qualificação do pessoal e detalhamento do processo de soldagem envolvido nas atividades, incluindo EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem), RQPS (Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem), RQS (Registro de Qualificação de Soldador), RQOS (Registro de Qualificação de Operador de Soldagem), conforme estipulado no código de construção.

A seguir, apresentamos exemplos de serviços que exigem a elaboração de projeto de reparo antes da execução:

- a) Reparos em juntas soldadas ou metal-base ou peças que apresentaram falhas durante o serviço;
- b) Instalação de chapas soldadas sobrepostas e camisas soldadas em partes pressurizadas;
- c) Substituição de bocais e conexões com dimensões e características idênticas aos originais.

Por outro lado, apresentamos exemplos de serviços que não requerem a elaboração de projeto de reparo:

- a) Plugueamentos de tubos de troca térmica, seguindo um procedimento escrito a ser adotado pelo usuário;
- b) Mandrilhamento de tubos de troca térmica, conforme um procedimento escrito a ser adotado pelo usuário;
- c) Reparos em partes não pressurizadas que não afetem a segurança do operador;
- d) Reparos em refratários e isolamento térmico com a aplicação do mesmo material;
- e) Reparos em pintura e outros revestimentos;
- f) Substituição de escadas e plataformas por outras de mesma concepção original, que não exijam intervenção com soldagem em partes pressurizadas do vaso.

A seguir, apresentamos exemplos de serviços que exigem a elaboração de projeto de alteração:

- a) Alterações que aumentem a pressão ou temperatura além dos limites estabelecidos no projeto original;
- b) Redução de temperaturas a níveis que comprometam a tenacidade do material originalmente utilizado no projeto;
- c) Inclusão de bocais não previstos no projeto original;
- d) Substituição de partes pressurizadas por outras diferentes das especificadas no projeto original;
- e) Alterações de dimensões ou geometrias, como diâmetro, comprimento ou posição, em partes pressurizadas;
- f) Substituições de materiais de componentes pressurizados ou do próprio equipamento, que apresentem diferenças em composição nominal, tensão admissível ou tenacidade, entre outros.

Por fim, apresentamos exemplos de serviços que não requerem a elaboração de projeto de alteração:

- a) Alterações de dimensões ou geometria de partes não pressurizadas que não representem riscos para o equipamento e os trabalhadores;
- b) Alterações de pressão e temperatura dentro dos limites máximos e mínimos estabelecidos pelo projeto mecânico do equipamento;
- c) Alterações na cor original da pintura, isolamento térmico, entre outros.

2.2.2.3 Modelo de relatório de inspeção de segurança

Neste item, a norma será transcrita de maneira contextualizada, visando facilitar uma compreensão mais clara do seu conteúdo.

Conforme estipulado no item 4.4 da norma ABNT NBR 15417, ao elaborar um relatório de inspeção, é essencial que sejam devidamente registradas as condições físicas observadas, os reparos realizados e os ensaios efetuados, assim como os valores de medição de espessura. Este relatório de inspeção deve, no mínimo,

atender aos requisitos estabelecidos na NR-13. Um modelo exemplar desse relatório encontra-se disponível no Anexo B da ABNT NBR 15417.

É válido ressaltar que os modelos apresentados nesta norma são recomendados, embora seja permitido, a critério do PH, a utilização de uma formatação personalizada, contanto que as informações essenciais sejam devidamente contempladas.

2.2.2.4 Orientações gerais

Esses tópicos desempenham um papel fundamental na orientação deste trabalho, porém, não abrangem todos os aspectos relacionados à inspeção de vasos de pressão. Para uma compreensão mais abrangente, é altamente recomendável a leitura integral da norma ABNT NBR 15417.

2.3 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO

2.3.1 Ensaio não destrutivo

Ensaio não destrutivo tem como objetivo principal localizar e dimensionar descontinuidades em produtos, incluindo técnicas para identificação e separação de diferentes composições químicas e/ou microestruturas em aços, além de abordagens que avaliam propriedades mecânicas e tecnológicas sem causar danos (COSTA E SILVA, PAULO ROBERTO MEI, 2021).

Dentro do âmbito de vasos de pressão, esses testes são realizados quando não é necessário causar danos permanentes ao equipamento, permitindo a detecção de falhas. A fim de assegurar a confiabilidade, os END devem ser conduzidos por profissionais qualificados e certificados de acordo com a norma ABNT NBR ISO 9712. Além disso, os requisitos de calibração, certificação e confiabilidade metrológica dos instrumentos de medição devem seguir as diretrizes estabelecidas no código de construção. Os END mais comuns são: medição de espessura, partículas magnéticas (PM), medição de campo de corrente alternada (ACFM), ultrassom (US), líquido penetrante (LP) e outros ensaios (NBR 15417).

2.3.1.1 Medição de espessura

A medição de espessura, conforme Fig. 37, requer a adesão a procedimentos específicos de acordo com o projeto. A frequência dessa medição deve ser alinhada com as inspeções externas ou internas do vaso, definida pelo PH e não deve exceder o menor valor entre metade da vida remanescente do vaso ou o prazo estipulado para a próxima inspeção interna. Essa medição deve ser realizada como parte da inspeção de segurança, conforme a NR 13, seja ela externa, interna ou geral. Todos os vasos devem ser medidos nos pontos de controle do registro de medições, ver Fig. 38 e 39, e caso seja identificada uma considerável perda de espessura (indicativa de alta taxa de corrosão ou espessura próxima ao mínimo), novos pontos devem ser incorporados à análise. A medição de conexões e tubulações de instrumentação é opcional, a critério do PH, enquanto é aconselhável medir internamente a espessura, ver Fig. 36, para verificar a presença de corrosão uniforme em áreas localizadas (NBR 15417).

Figura 37 - Medição de espessura por ultrassom.



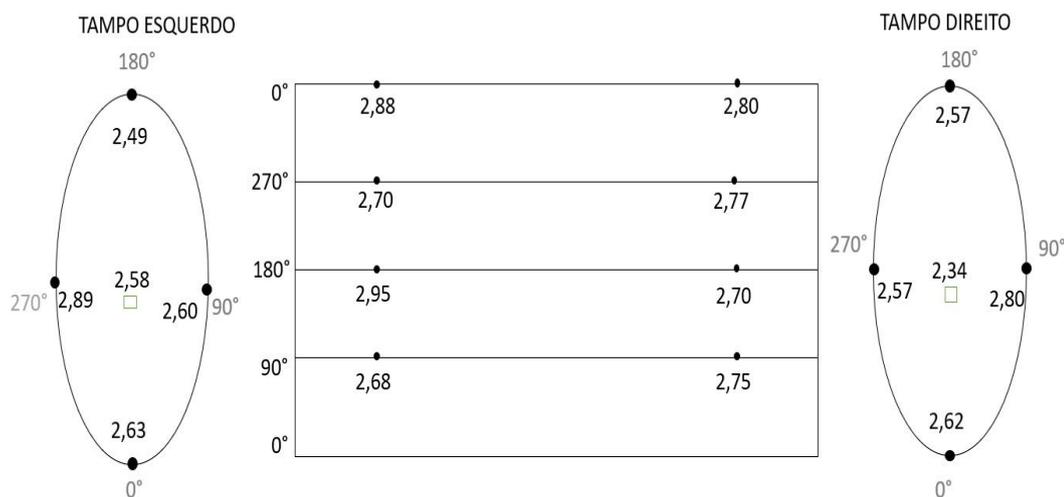
Fonte: O autor.

Figura 38 - Ponto de medição de espessura.



Fonte: O autor.

Figura 39 - Mapa de medição de espessura.



Fonte: O autor.

2.3.1.2 Partículas magnéticas (PM)

A detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferro-magnéticos pode ser realizada através do ensaio de partículas magnéticas. Quando a peça a ser examinada é submetida à magnetização, descontinuidades magnéticas que se estendem transversalmente à direção da magnetização provocam a criação de um vazamento de campo magnético na superfície e imediatamente acima

dela. A presença desse vazamento de campo magnético, e, conseqüentemente, da descontinuidade, pode ser identificada pela aplicação de partículas magnéticas finas na superfície, que serão atraídas por ela. Essas partículas podem ser aplicadas tanto de forma seca como em suspensão líquida e podem ser coloridas ou fluorescentes (COSTA E SILVA, PAULO ROBERTO MEI, 2021).

Figura 40 - Ensaio por partículas magnéticas.



Fonte: Metaltec-Ebe.

Diversos tipos de equipamentos podem ser escolhidos com base no tamanho, tipo, localização e orientação das descontinuidades, assim como na quantidade de peças a serem inspecionadas. Entre as opções mais comuns, destacam-se os Yokes, ver Fig. 40, dispositivos portáteis que possibilitam a magnetização localizada, gerando um campo magnético longitudinal no material em análise. No caso de peças fundidas, frequentemente são empregados equipamentos de Eletrodos, capazes de criar um campo magnético circular por meio da condução de corrente elétrica pelo material. Para processos em linhas de produção, são utilizados equipamentos estacionários que aplicam um ou mais campos magnéticos de forma sequencial ou simultânea, permitindo a detecção de descontinuidades em qualquer parte da peça, independentemente da orientação das descontinuidades. Tais escolhas são orientadas pelo guia da ABENDI de 2019, visando garantir a eficácia e precisão dos ensaios não destrutivos.

Em alguns casos, dependendo da aplicação do item examinado, pode ser necessário realizar a desmagnetização após o ensaio. Uma vez que qualquer fator que cause alteração na permeabilidade magnética do material pode gerar indicações,

a análise dos resultados desse ensaio requer pessoal devidamente treinado. É importante destacar que indicações "fantasma", ou seja, aquelas não causadas por defeitos, podem ser produzidas devido a alterações microestruturais, como segregação, por exemplo (COSTA E SILVA, PAULO ROBERTO MEI, 2021).

O ensaio por partículas magnéticas deve ser conduzido de acordo com o código de construção aplicável. Além disso, é importante observar que ele somente pode ser realizado em materiais ferromagnéticos para detecção de trincas superficiais. Isso requer a remoção completa de pintura ou qualquer outro tipo de revestimento, bem como uma minuciosa limpeza da superfície da peça a ser inspecionada (ABNT NBR 15417).

Recomenda-se realizar o ensaio por partículas magnéticas, por amostragem, nas juntas soldadas do casco e conexões em vasos que estão sujeitos a danos causados por hidrogênio ou que operam em ambientes com presença de NH₃, H₂S úmido ou meios que provocam corrosão sob tensão (CST). Caso sejam identificadas indicações significativas, a critério do responsável pela inspeção, é recomendável realizar um ensaio por ultrassom. Se, por algum motivo, não for possível realizar o ensaio por partículas magnéticas, outro método de inspeção, conforme definido pelo responsável pela inspeção, deve ser implementado (ABNT NBR 15417).

Conforme detalhado no guia da ABENDI de 2019, as informações essenciais sobre o campo de aplicação, as características específicas do método e suas limitações são as seguintes:

Aplicações:

- O método é projetado para detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos;
- É amplamente empregado na detecção de trincas que podem surgir durante a fabricação de peças fundidas, forjadas, laminadas, extrudadas, soldadas, usinadas e também em peças submetidas a tratamentos térmicos;
- Notavelmente sensível, especialmente na técnica fluorescente, o ensaio é valioso na detecção de trincas de fadiga.

Características específicas do método:

- Apresenta um baixo custo de execução;
- É rápido e simples de realizar;

- Fornece indicações imediatas e de fácil interpretação;
- Demonstra alta sensibilidade na detecção de descontinuidades superficiais, como as trincas de fadiga e aquelas provenientes de tratamento térmico;
- Pode ser configurado como portátil para ensaios em campo ou estacionário para alta produtividade em inspeções seriadas;
- É viável para aplicação em peças de geometria complexa, dependendo da técnica adotada;
- Demonstra alta eficiência em sistemas automatizados;
- Permite a detecção de descontinuidades subsuperficiais;
- Em algumas aplicações, a remoção de tintas protetivas não é necessária.

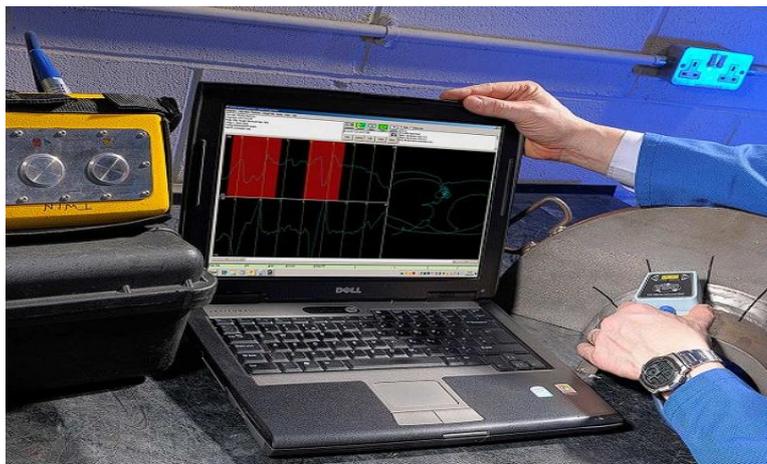
Limitações:

- Aplica-se apenas a materiais ferromagnéticos;
- A forma e a orientação das descontinuidades em relação ao campo magnético têm um impacto significativo nos resultados do ensaio, muitas vezes exigindo a realização de múltiplos ensaios na mesma peça;
- O registro das indicações das descontinuidades só pode ser obtido por meio de fotografias.

2.3.1.3 Medição de campo de corrente alternada (ACFM)

O ensaio por ACFM ver Fig. 41, deve ser realizado estritamente de acordo com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 15248 ou pela ASTM E 2261. Esta abordagem pode ser considerada como uma alternativa ao tradicional ensaio por partículas magnéticas, seguindo os mesmos critérios de amostragem. É uma técnica aplicável a materiais condutores, independentemente de serem ferromagnéticos ou não, com o objetivo de identificar e dimensionar trincas superficiais, fornecendo informações precisas sobre seu comprimento e profundidade (COSTA E SILVA, *et al*, 2021).

Figura 41 - Ensaio de ACFM.



Fonte: qualidadeonline.wordpress.com, 2020

O método de medição de corrente alternada ACFM utiliza corrente elétrica alternada para induzir um campo magnético na superfície da peça. Esse processo gera um fluxo uniforme de corrente alternada no material, sendo que a profundidade de penetração dessa corrente varia de acordo com o tipo de material e a frequência utilizada. Descontinuidades superficiais ou próximas à superfície perturbam ou interrompem esse fluxo de corrente, resultando em uma alteração detectável no campo magnético superficial, que é posteriormente identificada por bobinas sensoras na sonda, conforme estipulado pelas normas da ABNT NBR 15248.

Uma das vantagens notáveis do ensaio por ACFM é sua capacidade de ser aplicado em materiais com revestimentos não condutores de até 5 mm de espessura, eliminando a necessidade de uma limpeza extremamente rigorosa da superfície. Em caso de detecção de indicações relevantes, é aconselhável realizar um ensaio de ultrassom, de acordo com a avaliação do responsável pela inspeção. Quando a execução do ensaio por ACFM não é viável por algum motivo, deve-se adotar outra técnica de inspeção, conforme determinado pelo julgamento do responsável pela inspeção, conforme previsto na ABNT NBR 15417.

Durante os procedimentos de reparo das descontinuidades, é recomendável a utilização do ensaio por partículas magnéticas ou líquidos penetrantes. Isso auxilia na identificação das extremidades das descontinuidades, permitindo uma abordagem eficaz no tratamento das mesmas, como estabelecido na ABNT NBR 15417.

De acordo com o guia ABENDI de 2019, o campo de aplicação, as características específicas do método e as limitações incluem:

Aplicações:

- Detecção e dimensionamento de trincas, principalmente trincas de fadiga em soldas, estruturas e equipamentos;
- Detecção e monitoramento da evolução de trincas ao longo do tempo;
- Utilizado em estruturas terrestres e/ou marítimas, bem como em equipamentos industriais que estão sujeitos aos efeitos da fadiga originada por diversas fontes, como vento, marés, fadiga térmica, entre outras.

Características específicas do método:

- Menor exigência de limpeza superficial;
- Maior velocidade de aplicação e emissão de resultados;
- Permite o registro permanente de dados, facilitando análises posteriores e acompanhamento ao longo do tempo (armazenamento em HD, pendrive, nuvem, etc.);
- Possibilita a determinação não apenas do comprimento, mas também da profundidade das trincas, especialmente em casos de trincas de fadiga;
- Não requer remoção de revestimentos, desde que eles não sejam eletricamente condutores e não tenham espessura superior a 5 mm.

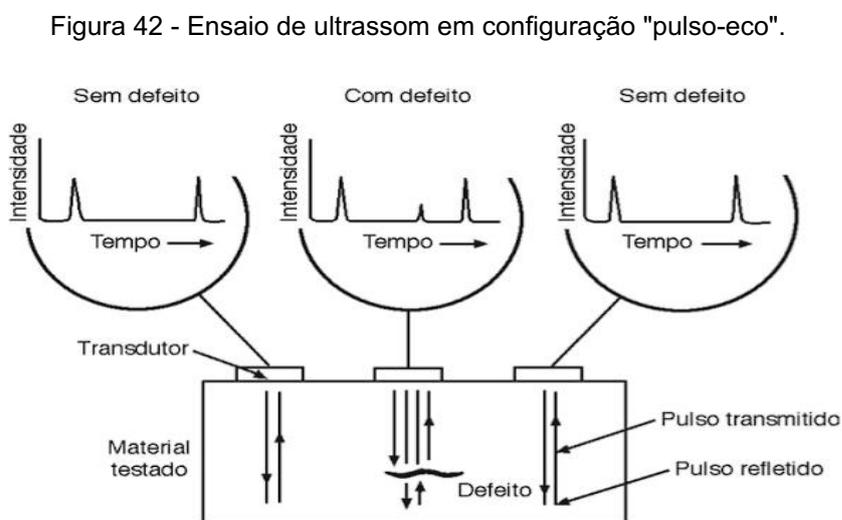
Limitações:

- Exige que o inspetor possua conhecimento em informática;
- Tem capacidade de detectar trincas com um comprimento mínimo de 15 mm e profundidade mínima de 2 mm, dependendo do fabricante;
- O comprimento do cabo da sonda pode ser limitado a 50 m em inspeções subaquáticas, dependendo do fabricante;
- No caso de inspeções remotas, o operador da sonda deve ter conhecimentos em soldagem;
- Não é aplicável a materiais não eletricamente condutores;
- Sua aplicação é restrita a trincas de fadiga, embora possa detectar descontinuidades induzidas por outros mecanismos, o dimensionamento fica prejudicado nesses casos;
- O equipamento pode ter um custo significativo.

2.3.1.4 Ultrassom (US)

A inspeção por ultrassom é um método não destrutivo que se baseia na transmissão de vibrações mecânicas ao material a ser inspecionado, caracterizadas por uma frequência superior a 20.000 Hz, conhecida como faixa ultrassônica, comumente abrangendo frequências na faixa de 1 a 25 MHz. Em sua forma mais comum, utilizando o método pulso-eco, ver Fig. 42, emprega-se um único transdutor, denominado cabeçote, que desempenha o papel de emitir um pulso de ultrassom e, simultaneamente, detectar qualquer feixe refletido. Nesse processo, um pulso sonoro é introduzido na superfície da peça, propaga-se pelo material e é refletido por interfaces internas. O feixe refletido é então minuciosamente capturado e analisado para determinar de maneira precisa a presença e a localização de possíveis falhas ou discontinuidades (COSTA E SILVA, *et al*, 2021).

O ensaio ultrassônico e o ensaio radiográfico competem diretamente devido à sua capacidade de detecção de discontinuidades internas em materiais. No entanto, a imagem radiográfica é geralmente considerada mais confiável e de interpretação mais acessível em comparação com as indicações exibidas na tela do aparelho de ultrassom, que às vezes não permite a identificação precisa do tipo de discontinuidade. Por essa razão, alguns códigos de construção priorizam o ensaio radiográfico, como exemplificado pelo Código ASME, que estabelece requisitos específicos desde o projeto e, no entanto, permite a substituição pelo ensaio ultrassônico com técnicas digitais avançadas (ABENDI, 2019).



Fonte – Adaptada de GARCIA, 2023.

O ensaio por ultrassom oferece uma variedade de técnicas disponíveis, incluindo pulso-eco, ToFD (Time of Light Diffraction), phased-array e ondas guiadas. Além disso, a escolha e posicionamento dos transdutores ultrassônicos, que podem ser normais, angulares ou de duplo cristal, desempenham um papel crítico. A forma de contato com a superfície do componente inspecionado, que pode envolver o uso de água, óleo, glicerina, entre outros, também é um fator determinante para definir quais tipos de ondas sonoras atravessarão o material inspecionado, assim como a amplitude e profundidade do volume examinado durante o ensaio (BOOK,2012).

Atualmente, na indústria moderna, com destaque nas áreas de caldeiraria e estruturas marítimas, o ensaio por ultrassom se estabeleceu como uma ferramenta essencial para assegurar a qualidade de peças com grandes espessuras e complexidade geométrica, como juntas soldadas e chapas. Em grande parte dos casos, esse tipo de teste é aplicado em aços carbono, embora em menor frequência também seja empregado em aços inoxidáveis. No entanto, vale ressaltar que a avaliação de materiais não ferrosos apresenta desafios adicionais, exigindo procedimentos especiais para sua realização de forma eficaz (ABENDI, 2019).

O tratamento digital dos sinais obtidos nos exames por ultrassom permite realizar mapeamentos de intensidade versus posição na direção de propagação do som (A-Scan), posição ao longo da peça (B-Scan) e posição na direção de propagação do som em que determinada intensidade é excedida versus posição na superfície da peça (C-Scan). A combinação destas informações pode ser útil para a geração de visualizações tridimensionais de defeitos por métodos matemáticos de reconstrução. Essas técnicas permitem gerar registros digitais do exame e reduzir a dependência do fator humano (CHEEKE, 2002).

O ensaio por ultrassom é amplamente empregado na inspeção de vasos de pressão, destacando-se principalmente na medição de espessura, ver Fig. 43. Para realizar essa medição com precisão, é comum utilizar o método pulso-eco, que envolve a utilização de um cabeçote duplo-cristal. Esta técnica permite a emissão de pulsos ultrassônicos que atravessam a parede do vaso de pressão e retornam após o contato com a superfície interna do material. Ao medir o tempo que os pulsos levam para ir e voltar, é possível determinar a espessura da parede com grande exatidão. Isso desempenha um papel crítico na garantia da integridade estrutural e na

segurança operacional de vasos de pressão em diversos setores industriais (ABENDI, 2019).

Figura 43 - Teste de ultrassom para medir espessura de vaso de pressão.



Fonte: O autor.

Vantagens do ensaio por ultrassom incluem sua notável capacidade de penetração, possibilitando a inspeção de rotores de até 6 metros de comprimento no sentido axial. Além disso, oferece alta sensibilidade e precisão na determinação da posição e estimativa do tamanho de descontinuidades. Contudo, é fundamental contar com pessoal devidamente treinado e qualificado (consulte as desvantagens). Apenas uma superfície precisa estar acessível, normalmente, tornando-o eficiente. A operação eletrônica permite a observação imediata dos resultados, com potencial para o tratamento digital das informações. Além disso, não apresenta riscos ao pessoal de operação nem aos equipamentos próximos, sendo um método portátil (COSTA E SILVA, *et al*, 2021).

No entanto, o ensaio por ultrassom também apresenta desvantagens. Requer técnicos altamente experientes e treinados na execução do ensaio e avaliação de resultados, destacando a importância do fator humano, especialmente em ensaios manuais. Para aplicações críticas, como soldas em reatores nucleares, técnicas de "validação" e qualificação das equipes em peças com defeitos conhecidos são adotadas. Adicionalmente, é necessário que a superfície seja regular, e

descontinuidades próximas à superfície podem não ser detectadas sem as devidas precauções na definição dos procedimentos de inspeção (ABENDI, 2019).

O ensaio por ultrassom encontra aplicações em diversas áreas, incluindo a inspeção de cilindros de laminação, colunas de prensa, eixos, forjados para turbinas e geradores, tubulação de pressão, soldas, forjados para turbinas a jato e discos de engrenagens, ferramentas como blocos para matrizes e aços ferramenta, peças para aplicações ferroviárias, como eixos, rodas e trilhos, além de peças de automóveis, como forjados, fundidos e peças soldadas (COSTA E SILVA, *et al*, 2021).

2.3.1.5 Líquido penetrante (LP)

O ensaio de Líquido Penetrante é um método de inspeção não destrutivo amplamente utilizado para identificar descontinuidades superficiais em materiais sólidos e não porosos. O procedimento envolve o uso de produtos conhecidos como materiais penetrantes, compostos principalmente por produtos de limpeza, líquido penetrante e revelador (ABENDI, 2019).

A base deste ensaio reside na propriedade universal dos líquidos de penetrar em aberturas diminutas, um fenômeno chamado capilaridade. Descontinuidades superficiais, como trincas, poros e rechupes, podem ser detectadas com eficácia por meio do ensaio de Líquido Penetrante (ABENDI, 2019).

Resumidamente, o procedimento começa com a preparação da superfície, que envolve a remoção de impurezas e sujeira. Em seguida, aplica-se o líquido penetrante em toda a área a ser inspecionada e aguarda-se um período de tempo designado como tempo de penetração. Após esse intervalo, todo o excesso de líquido na superfície é removido, deixando-a aparentemente livre de resíduos do líquido penetrante. Posteriormente, aplica-se o revelador, que interage com o líquido que penetrou nas pequenas aberturas. As áreas com descontinuidades gerarão "manchas" visíveis na camada de revelador aplicada (ANDREUCCI, 2014).

Existem diversas variações deste ensaio, dependendo das necessidades específicas. Variações podem estar relacionadas à forma de remoção do excesso (usando água, solvente ou emulsificação), bem como à visibilidade das indicações (colorida ou fluorescente) (ANDREUCCI, 2014).

Na técnica colorida, as indicações são visualizadas como manchas vermelhas que contrastam com a superfície branca formada pelo revelador, proporcionando uma identificação clara das descontinuidades. Na técnica fluorescente, as indicações são

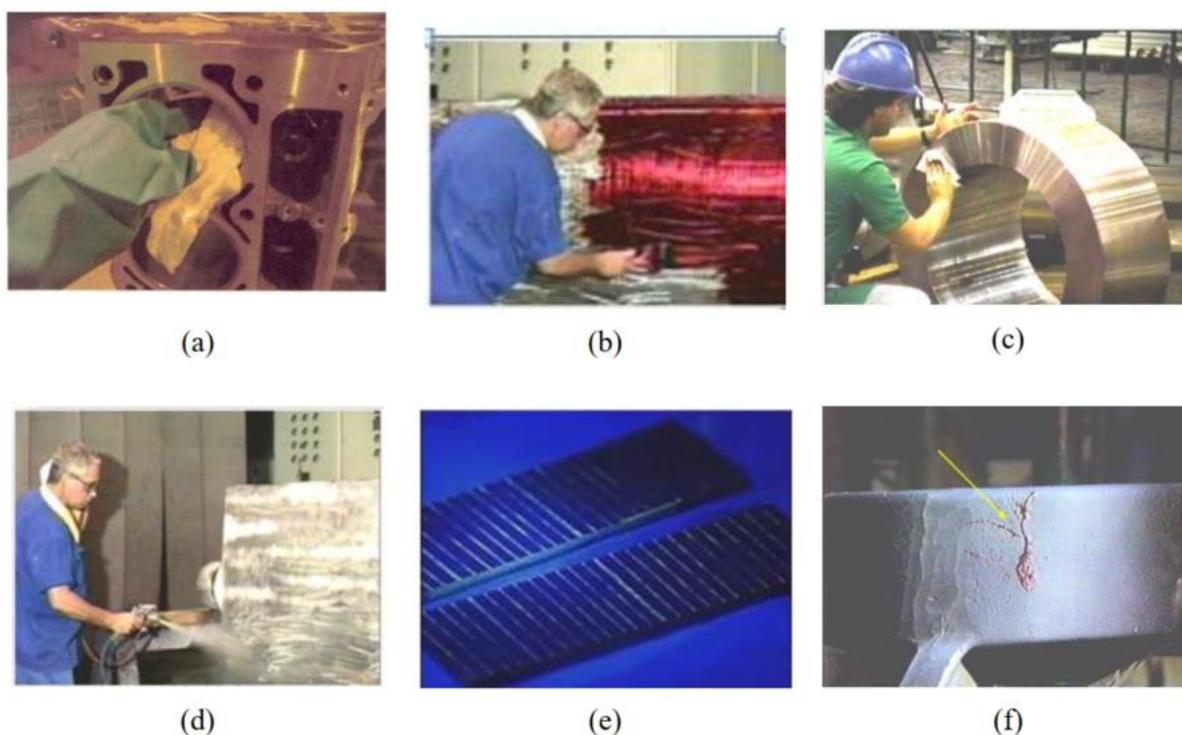
observadas com o auxílio de luz ultravioleta, que faz o líquido penetrante fluorescer. Essa abordagem oferece uma sensibilidade ainda maior no ensaio, especialmente em ambientes escurecidos (ABENDI, 2019).

A seguir, serão detalhadas as etapas essenciais para a realização de um ensaio de líquido penetrante, ver Fig. 44. A preparação da superfície a ser examinada é de extrema importância, pois o sucesso do método depende da abertura dos defeitos à superfície. A limpeza meticulosa da superfície é um passo fundamental, geralmente realizada com o uso de solventes apropriados (ANDREUCCI, 2014).

Na etapa seguinte, ocorre a aplicação cuidadosa do líquido penetrante, que geralmente possui uma coloração vermelha ou fluorescente para garantir a cobertura completa da área de interesse. Após um período de penetração adequado, é realizado o processo de remoção do excesso do penetrante (ANDREUCCI, 2014).

A etapa subsequente compreende a aplicação uniforme do revelador sobre a superfície da peça. Finalmente, a avaliação das indicações resultantes deve ser conduzida em condições ideais de luminosidade, sendo possível utilizar tanto a luz natural quanto a luz ultravioleta (luz negra) para esse propósito (ANDREUCCI, 2014).

Figura 44 - Etapas do ensaio por líquido penetrante. (a) limpeza da peça; (b) aplicação do líquido penetrante; (c) remoção do excesso de líquido; (d) aplicação do revelador; (e) avaliação da inspeção; (f) formação da indicação da trinca.



Fonte: Adaptada de ANDREUCCI, 2014.

Conforme a ABENDI (2019), o ensaio de líquido penetrante possui diversas aplicações, características específicas e limitações que devem ser consideradas:

Aplicações:

- Destina-se à detecção de descontinuidades superficiais em materiais não porosos, sejam eles ferrosos ou não ferrosos.
- É amplamente utilizado na detecção de vazamentos em tubos, tanques, soldas e componentes, conhecido como ensaio de capilaridade.
- Exemplos típicos de materiais que podem ser ensaiados incluem aços carbonos em geral, aços inoxidáveis, alumínio, bronze, titânio, vidros e certos tipos de plásticos.

Características específicas do método:

- Aplicável em materiais tanto magnéticos quanto não magnéticos.
- Permite uma fácil visualização e caracterização das descontinuidades.
- Pode ser aplicado em peças de geometrias complexas.
- Admite a execução em ambientes escurecidos, utilizando a técnica fluorescente, ou em grandes áreas.
- Kits disponíveis no mercado, compostos por três latas (limpador, penetrante e revelador), proporcionam portabilidade e versatilidade na realização do ensaio.

Limitações:

- Não é aplicável em materiais porosos usando as técnicas convencionais.
- Requer o tratamento adequado dos resíduos gerados durante o ensaio.
- Não gera um registro permanente do ensaio com as técnicas convencionais.
- Exige uma limpeza rigorosa da superfície a ser ensaiada antes da execução do procedimento.

2.3.1.6 Radiações Ionizantes (Raios X e Raios gama)

A Radiografia Industrial, ver Fig. 45, é um método de ensaio não destrutivo que faz uso de radiação ionizante ou penetrante para inspecionar peças de diversas formas geométricas e densidades. Esse ensaio é considerado volumétrico e se baseia na capacidade da peça em absorver de maneira diferenciada a radiação penetrante. Essa absorção varia devido à diferença de densidade, variações na espessura ou até

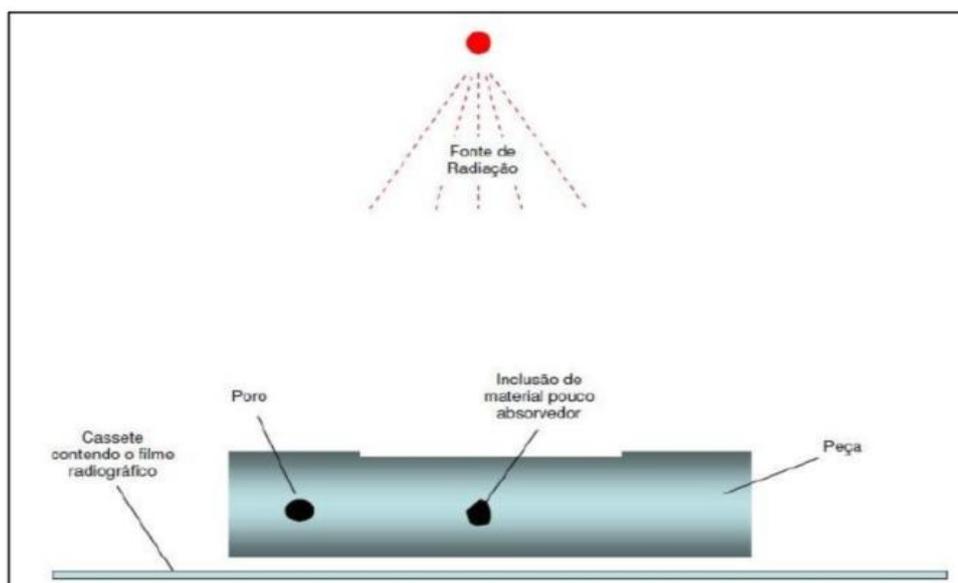
mesmo variações na composição do material. Como resultado, diferentes regiões da peça absorvem quantidades distintas da radiação penetrante (ABENDI, 2019).

Essa variação na absorção de radiação pode ser detectada de várias maneiras, como por meio de um filme radiográfico, um tubo de imagem ou detectores eletrônicos de radiação. Essa diferença na quantidade de radiação absorvida nos fornece informações valiosas, incluindo a detecção de descontinuidades superficiais ou internas em um material (COSTA E SILVA, *et al*, 2021).

Para gerar radiação, podem ser utilizados equipamentos elétricos geradores de raios X ou fontes seladas contendo radioisótopos que emitem radiação gama. A Radioscopia Industrial, que inclui a técnica originalmente conhecida como fluoroscopia, é considerada uma técnica convencional nesse contexto (ABENDI, 2019).

Na Radioscopia Industrial, em vez de usar filmes radiográficos, são empregadas telas fluorescentes que possibilitam a observação direta da imagem. Ou, mais comumente nos dias de hoje, a imagem é visualizada de forma indireta por meio de sistemas de câmeras que transmitem a imagem para monitores. A Radioscopia Industrial é frequentemente referida como "Radiografia em tempo real" ou, em inglês, "Real Time" (ABENDI, 2019).

Figura 45 - Arranjo básico utilizado para realização do ensaio radiográfico.



Fonte: Adaptada de JUNIOR, *at al*, 2006

Conforme a ABENDI (2019), a Radiografia Industrial apresenta diversas aplicações, características distintivas do método e algumas limitações notáveis:

Aplicações:

- Este método é aplicado em várias fases da fabricação e também em serviços de manutenção.
- Detecta eficazmente descontinuidades como poros e inclusões que tenham espessura variável em todas as direções, desde que não sejam muito pequenas em relação à espessura da peça e estejam favoráveis à exposição ao feixe de radiação.
- Utilizado na inspeção de soldas, peças laminadas, fundidas ou forjadas de ferro, aço, alumínio e outros materiais em diversas indústrias, como metalurgia, mineração, petróleo e gás, petroquímica, química, fertilizantes, farmacêutica, alimentícia, papel e celulose, hidroelétrica, automotiva, naval, nuclear, energia e sistemas de geração de vapor.
- É amplamente empregado na inspeção de produção de peças em linha e em tempo real.

Características específicas do método:

- Oferece um registro permanente por meio de filme radiográfico industrial, o que facilita auditorias de acompanhamento.
- Apresenta uma vantagem significativa sobre o método de ensaio por Ultrassom em espessuras abaixo de 6 mm.
- Permite a digitalização das imagens, simplificando a análise e elaboração de laudos por meio de programas especializados, bem como o arquivamento em dispositivos de armazenamento como CD, DVD, HD e SSD.
- Proporciona uma visão tridimensional em tempo real das descontinuidades quando a peça é manipulada dentro do feixe de radiação.
- Oferece visualização em tempo real, especialmente no contexto da Radioscopia Industrial.

Limitações:

- Possui limitações na detecção de descontinuidades planares, pois, a orientação dessas descontinuidades em relação ao feixe de radiação influencia diretamente na detecção.
- O uso de radiação ionizante exige procedimentos rigorosos de radioproteção para preservar a saúde e integridade dos operadores e do público em geral. Isso inclui o isolamento da área de exposição, o que pode interferir na produção e resultar em ensaios realizados durante a noite.
- Além das medidas de proteção radiológica, é necessário monitorar a exposição dos operadores e dos ambientes com o uso de instrumentos medidores e monitores de radiação registrados e calibrados em laboratórios credenciados pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).
- A área onde o ensaio é executado deve estar desprovida de pessoas e atender às normas de radioproteção estabelecidas.

As técnicas digitais estão ganhando destaque como alternativas à radiografia industrial convencional, que utiliza filme radiográfico ou tela fluorescente. Essas técnicas incluem a digitalização de filmes, radiografia computadorizada (RC), radiografia direta (RD) e tomografia industrial computadorizada. Cada uma dessas técnicas possui suas próprias vantagens e desvantagens (ABENDI, 2019).

As aplicações da radiografia digital são amplas e abrangem as mesmas áreas da radiografia convencional. No entanto, as técnicas digitais oferecem recursos adicionais para a análise dos resultados. Algumas possibilidades incluem a medição de espessura, inspeção de sedes de válvulas, inspeção de linhas elétricas energizadas, avaliação de danos por corrosão e detecção de obstruções ou incrustações em tubulações. É importante destacar que a capacidade de análise dos resultados por meio de programas específicos instalados em computadores e a aplicação de diversos recursos e filtros permitem o ensaio de peças de formatos variáveis, desde peças fundidas do setor automotivo até pequenas placas eletrônicas (ABENDI, 2019).

A radiografia digital apresenta características específicas que a tornam uma opção vantajosa. Essa técnica permite a geração de imagens digitais com a capacidade de otimizar as condições de laudo, incluindo o uso de filtros e métodos automáticos para segmentação e classificação de defeitos. Além disso, ela oferece uma ampla faixa dinâmica, o que viabiliza a radiografia de peças com grandes

variações de espessura em uma única exposição, especialmente na radiografia direta. Outro benefício é a ausência da necessidade de produtos químicos para o processamento dos filmes, o que não só contribui para a economia de água, mas também para a preservação do meio ambiente. A facilidade no armazenamento e processamento digital das imagens é um recurso adicional, juntamente com a redução das doses de radiação, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro para operadores e inspetores (ABENDI, 2019).

A adoção da radiografia digital na indústria não está isenta de desafios e limitações. Primeiramente, ela exige um investimento significativo em equipamentos, o que pode se tornar uma barreira para algumas empresas, especialmente as de menor porte. Além disso, o tempo necessário para inspecionar soldas pode ser igual ou até mesmo superior ao da radiografia convencional, dependendo da técnica empregada e do nível de treinamento dos operadores envolvidos. A interpretação de imagens digitais também difere da radiografia convencional, exigindo treinamento adicional para operadores e inspetores, de modo a garantir uma análise precisa e confiável dos resultados (ABENDI, 2019).

2.3.2 Determinação da PMTA de vasos de pressão

Na determinação da PMTA para vasos de pressão, é crucial destacar um conjunto de equações da norma ASME, Seção VII, Divisão 1, utilizadas para realizar cálculos mecânicos em componentes comuns desses vasos. A seguir, apresentaremos algumas equações específicas aplicadas ao cálculo da PMTA nos componentes de vasos de pressão que possuem maior aplicação. É importante observar que as incógnitas presentes nas equações a seguir serão descritas no item 2.3.2.1 e valerão para todos os outros itens.

2.3.2.1 Cálculo da PMTA para cascos cilíndricos de pequena espessura

O casco cilíndrico de pequena espessura, conforme Fig. 6, é amplamente utilizado e, portanto, requer atenção especial. A equação para calcular sua Admissível PMTA está especificada no parágrafo UG-27 da ASME VIII, Seção 1. De acordo com o parágrafo UG-27, para um casco cilíndrico de pequena espessura é necessário que a PMTA não deve exceder $0,385SE$, onde “S” representa a tensão máxima admissível e “E” corresponde ao coeficiente de eficiência da solda ou $t < \frac{1}{2} r$, onde “t” é a

espessura mínima para pressão interna e r é o raio interno do cilindro. A seguir, a equação completa será apresentada, detalhando todos os seus termos.

$$PMTA = \frac{SEt}{r+0,6t} \quad (2.1)$$

Na equação 2.1, é calculada a PMTA de vasos cilíndricos de pequena espessura. Nesta equação, "S" representa a tensão máxima admissível do material do vaso, "E" é o coeficiente de eficiência de solda do vaso de pressão, "r" é o raio interno do vaso de pressão e "t" é a espessura mínima necessária para suportar a pressão interna.

2.3.2.2 Cálculo da PMTA para cascos esféricos de pequena espessura

O casco esférico de pequena espessura, ver Fig. 7, também é bastante utilizado em vasos de pressão, principalmente para armazenamento de grande volume de gases sob pressão (TELLES, 1996). A equação para calcular sua PMTA está especificada no parágrafo UG-27 da ASME VIII, Seção 1. De acordo com o parágrafo UG-27, para um casco esférico de pequena espessura é necessário que a PMTA não deve exceder $0,665SE$ ou $t < 0,356r$.

$$PMTA = \frac{2SEt}{r+0,2t} \quad (2.2)$$

2.3.2.3 Cálculo da PMTA para tampos elipsoidais

O tampo elipsoidal, ver Fig. 8 e 9, é amplamente utilizado, especialmente aqueles com uma relação de semieixos de 2:1, e, portanto, merece destaque. Nesse contexto, será apresentado o cálculo da sua PMTA conforme estipulado no parágrafo UG-32 da ASME VIII, Seção 1.

$$PMTA = \frac{SEt}{r+0,1t} \quad (2.3)$$

Para tampos elipsoidais com relações de semieixos diferentes, utiliza-se a equação do parágrafo (1-4) da ASME VIII, Seção 1, juntamente com a Tabela 1-4-1.

$$PMTA = \frac{SEt}{Kr+0,1t} \quad (2.4)$$

Onde:

$$K = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{r}{h} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

O termo “h” é a altura interna do tampo (semieixo menor), conforme mostra a Fig. 8.

2.3.2.4 Cálculo da PMTA para tampos torisféricos

Para os tampos torisféricos, ver fig. 8 e 10, o código ASME, Seção VIII, Divisão 1, faz distinção também entre dois casos: os tampos com raio da seção toroidal igual a 6% do diâmetro do cilindro e com o raio maior (da coroa central) igual ao próprio diâmetro do cilindro, e os tampos com proporções diferentes dessas especificadas.

Para os tampos torisféricos com $r = 6\%D$ e $L = D$, onde “D” é o diâmetro do cilindro e “L” é o raio maior (da coroa central). A equação que calcula a PMTA, de acordo com o (parágrafo UG-32):

$$PMTA = \frac{SEt}{0,885L+0,1t} \quad (2.6)$$

Para outras proporções nos tampos torisféricos, o cálculo da PMTA, de acordo com o código ASME, Seção VIII, Divisão 1, é realizado conforme o parágrafo 1-4 e a Tabela 1-4-1.

$$PMTA = \frac{2SE}{LM+0,2t} \quad (2.7)$$

Onde:

$$M = \frac{1}{4} \left[3 + \frac{L}{r} \right] \quad (2.8)$$

De acordo com o (parágrafo UG-32), para o caso dos tampos torisféricos do tipo “falsa elipsoide”, onde $r = 0,1727D$ e $L = 0,9045D$, uma boa aproximação é aplicar a equação (2.3).

2.3.3 Determinação da Pressão de Teste Hidrostático (PTH)

O teste hidrostático é um procedimento no qual o vaso é completamente preenchido com um líquido apropriado e submetido a uma pressão adequada com o objetivo de identificar possíveis defeitos, falhas e vazamentos em soldas, conexões roscadas, tampas e outras conexões, tanto internas quanto externas ao vaso, incluindo acessórios (GROEHS,2014). Esta prática é regulamentada pela norma ASME, Seção VIII, Divisão 1, que estabelece dois tipos de teste hidrostático: o teste padrão e o teste alternativo. Neste contexto, será abordado apenas o teste padrão.

2.3.3.1 Teste Hidrostático Padrão

De acordo com o parágrafo UG-99 da ASME, Seção VIII, Divisão 1, o cálculo do teste hidrostático é realizado a partir da seguinte equação:

$$PTH \geq 1,3PMTAvf \frac{Sc}{Sh} \quad (2.9)$$

Onde:

PMTAvf = PMTA par o vaso quente e corroído;

Sc = Tensão admissível do material na temperatura ambiente (frio);

Sh = Tensão admissível na temperatura do material de projeto (quente).

Uma abordagem prática é aplicar 1,5 vezes a PMTA do vaso quando ele é novo e está frio. Geralmente, esse valor será mais alto do que o do vaso quando estiver quente e corroído, especialmente quando não for possível obter essas informações específicas.

2.3.4 Determinação da pressão de abertura de válvula de segurança

Conforme a ASME, Seção VII, Divisão 1 (parágrafo UG-125), é necessário que os dispositivos de alívio de pressão (válvulas de segurança), ver Fig. 15 e 28, evitem que a pressão interna do vaso exceda 10% ou 0,2 kgf/cm² acima da PMTA, o valor que for maior. Se houver múltiplos dispositivos de alívio no mesmo vaso, a pressão interna não deve ultrapassar 16% ou 0,3 kgf/cm² acima da PMTA, o valor que for maior. Para

vasos sob risco de incêndio, seja no próprio vaso ou em suas proximidades, é permitida a instalação de dispositivos adicionais de alívio de pressão, que podem permitir que a pressão interna suba até 21% acima da PMTA.

A Divisão 2 do código ASME (parágrafo AR-150) estabelece requisitos semelhantes aos descritos acima, com a diferença de que os acréscimos de pressão (10%, 16% e 21%) são considerados em relação à pressão de projeto do vaso, não à PMTA.

3 CASO PRÁTICO DE INSPEÇÃO

3.1 INSPEÇÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA EM VASO DE PRESSÃO INSTALADO EM EMPRESA ENVAZADORA DE GLP

Foi realizada uma inspeção de segurança no Balão de Ar Comprimido, em conformidade com as normas NR-13 (2022), ASME VIII Div.1 Ed.1 2019 e NBR 15417 da ABNT. O processo de inspeção consistiu em cinco etapas principais: exame do prontuário, avaliação externa, verificação interna, cálculo da PMTA e elaboração do relatório de inspeção.

3.1.1 Exame de prontuário

Após análise, constatou-se que o prontuário do equipamento está em conformidade com o subitem 13.5.1.5 da NR-13 já citado neste presente trabalho. Portanto, a etapa de enquadramento foi verificada e aprovada, como indicado no relatório de inspeção presente no apêndice.

Figura 46 - Visão geral do vaso de pressão conforme NR-13, subitens 13.5.1.4 e 13.5.2.3.



Fonte: O autor.

3.1.2 Exame de externo

Realizou-se uma inspeção visual abrangente, verificando as vias de acesso, fundações, suportes, condições do revestimento externo, bocais, flanges, bocas de visita e acessórios instalados no equipamento. As informações coletadas na Etapa 1 foram comparadas com as impressas na placa de identificação, ver Fig. 47, e transcritas na Tab. 7.

Figura 47 - Placa de identificação atende a NR-13, subitem 13.5.1.3.



Fonte: O autor

Tabela 7 - Informações fundamentais sobre o vaso de pressão.

Identificação: 09-TQ-104 (VP 03-ING)	Tipo: Horizontal com tampos torisféricos
Nº de Série: 97.1288	Código de Construção: ASME VIII Div.1 Ed.1995
PMTA (MPa): 1,030	Fluido de Teste: Água
PTH (MPa): 1,618	Categoria: IV
Pressão de Operação (MPa): 0,735	Fluido de Serviço: Ar comprimido
Volume Geométrico (m ³): 1,00	Ano de Fabricação: 1997
Diâmetro Interno (mm): 800,00	Fabricante: ABERKO EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA
Espessura Nominal do Costado (mm): 8,0	Espessura Nominal dos Tampos (mm): 9,5
Material do Costado: ASTM A-285 Gr.C	Material dos Tampos: ASTM A-285 Gr.C

Fonte: O autor.

Durante a inspeção externa, todos os critérios foram satisfatoriamente atendidos, de acordo com a ABNT NBR 15417, item 5.1, e registrado no relatório de inspeção de segurança presente no apêndice, ver Fig. 48 a 51.

Figura 48 - Manômetro atende a NR-13, subitem 13.5.1.2 d).



Fonte: O autor.

Figura 49 - Válvula de segurança atende a NR-13, subitem 13.5.1.2 a).



Fonte: O autor.

Figura 50 - Purgador em conformidade com a norma NR-13, subitem 13.5.2.1.



Fonte: O autor.

Figura 51 - Conexões, flanges, bocais e boca de visita.



Fonte: O autor.

3.1.3 Exame interno

O exame interno foi conduzido de acordo com as orientações estabelecidas no item 5.2 da ABNT NBR 15417, conforme mencionado neste trabalho, e todos os critérios foram satisfatoriamente atendidos.

Foi realizado um exame de uma medição de espessura por ultrassom, ver Fig. 52 e 53, em pontos críticos do equipamento inspecionado e registrado em mapa de medição de espessura, ver Fig. 54, foi comparado com medições da inspeção anterior e foi constatado que não houve perda significativa de espessura, sendo assim, não sendo encontrado pontos de deterioração no vaso de pressão. A válvula de segurança, ver Fig. 49, havia sido calibrada e certificada em conformidade com subitem 13.5.4.9 da NR-13 por empresa responsável. O manômetro, ver Fig. 48, também.

Figura 52 - Medição de espessura de chapa por ultrassom no costado do vaso de pressão.



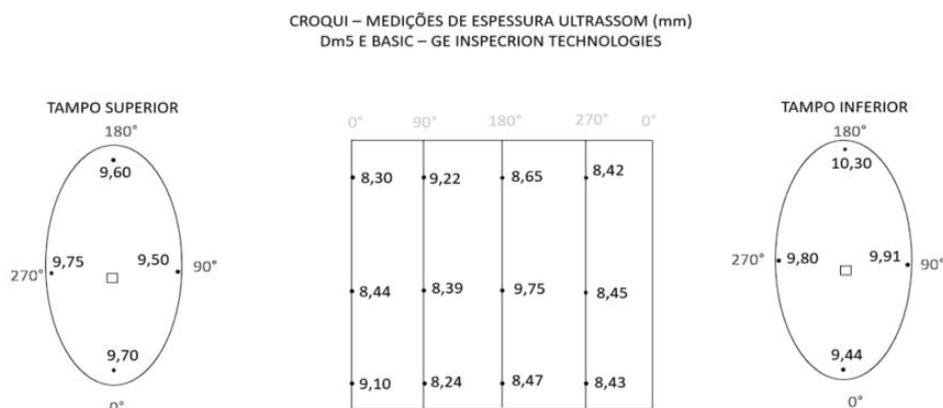
Fonte: O autor.

Figura 53 - Medição de espessura de chapa no tampo do vaso de pressão.



Fonte: O autor.

Figura 54 - Mapa de medição de espessura por ultrassom.



Fonte: O autor.

3.1.4 Cálculo da PMTA e PTH

Com base nos valores de espessura das chapas do vaso de pressão obtidos no mapa de medição de espessura, ver Fig. 54, é possível calcular a PMTA do mesmo e partir disso a pressão de teste hidrostático. Essa determinação é feita levando em consideração as informações fornecidas na placa de identificação, ver Tab. 7, e aplicando-se as equações 2.1, 2.3 e 2.9.

- Espessura mínima medida no costado cilíndrico = 8,24 mm
- Espessura mínima medida no tampo torisférico = 9,44 mm
- Material dos tampos e do costado = ASTM A-285 Gr.C
- Raio interno do costado cilíndrico do vaso de pressão = 400 mm
- Coeficiente de eficiência das soldas para tampos e costado = 1
- Tensão máxima admissível = 108 MPa

Aplica-se a Eq. 2.1, porque o $t < \frac{1}{2} r$, logo é considerado casco cilíndrico de pequena espessura.

$$PMTA = \frac{SEt}{r+0,6t} \quad (2.1)$$

Resolvendo Eq. 2.1, temos $PMTA = 2,19 \text{ MPa} = 22,33 \text{ kgf/cm}^2$

Para calcular a PMTA no tampo torisférico mais crítico, adotamos a Eq. 2.3.

$$PMTA = \frac{SEt}{r+0,1t} \quad (2.3)$$

Resolvendo Eq. 2.3, temos $PMTA = 2,54 \text{ MPa} = 25,90 \text{ kgf/cm}^2$

Obtido os resultados nos tampos e no costado, tomamos o resultado mais conservador, portanto a PMTA é igual a $22,33 \text{ kgf/cm}^2$.

Para cálculo da pressão de teste hidrostático a Eq. 2.9 é aplicada.

$$PTH \geq 1,3PMTA_{vf} \frac{S_c}{S_h} \quad (2.9)$$

Como foi citado em **2.3.3.1** deste trabalho uma boa aproximação é um acréscimo de 50% da PMTA do vaso de pressão, logo PTH é igual a $33,49 \text{ kgf/cm}^2$.

Como a placa de identificação, ver Tab. 7, registra PMTA igual a $10,50 \text{ kgf/cm}^2$ e PTH igual a $16,5 \text{ kgf/cm}^2$. Observa-se que a PMTA e PTH calculada apontaram valores maiores, então recomenda-se utilizar as respectivas pressões registradas na placa de identificação e documentação do vaso de pressão.

3.1.5 Elaboração de relatório periódico de inspeção de segurança

O relatório periódico de inspeção de segurança do vaso de pressão contendo informações adicionais encontra-se disponível no apêndice deste trabalho.

3.1.6 Considerações finais

O vaso de pressão apresenta plena condição de funcionamento e a inspeção periódica de segurança realizada mostra-se suficiente.

4 CONCLUSÃO

A análise de um caso prático de inspeção periódica de segurança em um balão de ar comprimido, no qual não foram identificadas falhas ou anomalias, é um exemplo que ilustra de maneira fiel a importância das inspeções em equipamentos sob pressão. Embora aparentemente simples, esse cenário reflete uma realidade comum enfrentada por profissionais que atuam na área de inspeção de vasos de pressão.

Apesar deste caso específico não tenha revelado nenhuma falha, ele desempenha um papel fundamental no aprendizado e no desenvolvimento de competências na área de inspeção. É importante destacar que esse é apenas um entre inúmeros casos práticos que podem ser encontrados no campo da inspeção de equipamentos sob pressão, mas ele serve como um guia inicial para aqueles que buscam aprimorar seus conhecimentos nessa área.

Além de simplesmente identificar a ausência de falhas, a análise desse caso prático pode ajudar os interessados a compreender os princípios subjacentes da inspeção de vasos de pressão e a aplicação de procedimentos de inspeção que estejam alinhados com as normas estabelecidas. Isso é crucial para assegurar que os equipamentos sob pressão operem de forma segura, evitando riscos para os trabalhadores e impactos negativos no meio ambiente.

No entanto, é fundamental enfatizar que cada caso de inspeção é único e pode apresentar desafios específicos. Portanto, este caso serve como um ponto de partida e um incentivo para que aqueles que se interessam pela inspeção de vasos de pressão busquem aprofundar seus conhecimentos e adquirir experiência prática no campo. O aprendizado contínuo e a busca por aprimoramento são essenciais nesse domínio, onde a segurança e a conformidade com as normas são de importância primordial. Portanto, a análise deste caso prático desempenha um papel crucial na formação e no desenvolvimento de profissionais capacitados e conscientes da relevância das inspeções de segurança em equipamentos sob pressão.

REFERÊNCIAS

- ANDRE LUIZ V. DA COSTA E SILVA. PAULO ROBERTO MEI. **Aços e Ligas Especiais** .4º.ed.rev. São Paulo: Blucher, 2021.
- ANDREUCCI, Ricardo. **Líquidos Penetrantes**. 2014. Disponível em: <<https://www1.abendi.org.br/>>
- ASME. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **History of ASME Standards**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.asme.org/codes-standards/aboutstandards/history-of-asme-standards>>. Acesso em: 03 jul. 2023.
- BROOK, M. V. Ultrasonic Inspection Technology Development and Search Unit Design. Editora Wiley, ed.1, Nova York, 2012.
- CHEEKE, J. D. N. **Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves**. Editora CRC Press, ed.1, Londres, 2002.
- DONATO, Guilherme. **Inspeção em vasos de pressão**, IBP, 2009.
- GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime A.; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaio dos Materiais, 2ª edição**. Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 978-85-216-2114-0. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2114-0/>. Acesso em: 20 set. 2023.
- GROEHS, Ademar Gilberto. Resistência Dos Materias E Vasos de Pressão. Unisinos, 2º Ed.,2014.
- JUNIOR, Silvério Ferreira da Silva; MARQUES, Paulo Villani. **Ensaio Não Destrutivos**. Belo Horizonte, 2006.
- LIMA, Ivo Andrei de Oliveira Lino. Projeto Mecânico de vasos de pressão: princípios, fundamentos e filosofia do ASME. 2º edição. São Paulo: Editora Dialética, 2023.
- MATTHEWS, C. **Engineers' Guide to Pressure Equipment: The Pocket Reference**. Wiley, 2000.
- Qualidade Online. **A Inspeção por Meio de Alternating Current Field Measurement (ACFM)**. Disponível em: qualidadeonline.wordpress.com/2020/10/21/a-inspecao-por-meio-de-alternating-current-field-measurement-acfm/. Acesso em: 3 de outubro de 2023.
- TELLES, Pedro C. Silva. **Vasos de Pressão**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos 2º Ed. ,1996.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DO VASO DE PRESSÃO

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO (RI)

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Folha: 1/11
		Data: 08/04/2022

IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Identificação: 09-TQ-104 (VP 03-ING)	Tipo: Horizontal com tampos torisféricos
Nº de Série: 97.1288	Código de Construção: ASME VIII Div.1 Ed.1995
PMTA (MPa): 1,030	Fluido de Teste: ÁGUA
PTH (MPa): 1,618	Categoria: IV
Pressão de Operação (MPa): 0,735	Fluido de Serviço: AR COMPRIMIDO
Volume Geométrico (m ³): 1,00	Ano de Fabricação: 1997
Diâmetro Externo (mm): 800,00	Fabricante: ABERKO EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA
Espessura Nominal do Costado (mm): 8,0	Espessura Nominal dos Tampos (mm): 9,5
Material do Costado: ASTM A-285 Gr.C	Material dos Tampos: ASTM A-285 Gr.C

PROFISSIONAL HABILITADO

Nome: xxx	Assinatura:	RNPCONFEA/CREA: xxx
Local e data: João Pessoa, 08 de abril de 2022		

1. LOCALIDADE DA INSTALAÇÃO DO VASO DE PRESSÃO

Empresa: xxx		
Endereço: xxx		Bairro: xxx
CEP: xxx	Cidade: xxx	Estado: xxx
Tel: xxx	CNPJ: xxx	Inscrição Estadual: xxx
Contato: xxx	Cargo: xxx	E-mail: xxx

2. EMPRESA INSPETORA E/OU PROFISSIONAL HABILITADO

Empresa: xxx		
Endereço: xxx		Bairro: xxx
CEP: xxx	Cidade: xxx	Estado: xxx
Telefone: xxx	CNPJ: xxx	Inscrição Estadual: xxx
PH: xxx	Título: xxx	CONFEA/CREA: xxx
Contato: xxx	Cargo: xxx	E-mail: xxx
Nº da ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) dessas inspeções: xxx		

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº:1.223/22
		Folha: 2/11
		Data: 08/04/2022

3.INSPEÇÕES CONTRATADAS E REALIZADAS

3.1	Inspeções Periódicas (NR 13)	Interna	X
3.2		Externa	X
3.3		Teste Hidrostático	--

4. NORMAS DE REFERÊNCIA PARA AS INSPEÇÕES REALIZADAS

Norma Regulamentadora do Ministério do trabalho		NR - 13
Código de construção original (edição/adenda)		ASME VIII Div. 1 Ed.1995
Código utilizado na inspeção (edição/adenda)		ASME VIII Div. 1 Ed. 2019
Norma Brasileira de construção		-
Norma Brasileira de inspeção		NBR 15417 da ABNT
Datas das inspeções:	Início das inspeções:	08/04/2022
	Término das inspeções:	08/04/2022

5. VERIFICAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE (PREPARAÇÃO PARA INSPEÇÃO)

ITEM	DESCRIÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO	SITUAÇÃO	
		EXISTENTE	NÃO EXISTENTE
5.1	Registro de segurança	X	
5.2	Desenho do conjunto geral	X	
5.3	Memória de cálculo das PMTA do costado e dos Tampos	X	
5.4	Memória do cálculo de teste hidrostático	X	
5.5	Inspeção periódica (interna, externa e TH)	X	
5.6	Inspeção do início de operação		X
5.7	Inspeção de alteração		X
5.8	Inspeção de reparo		X
5.9	Inspeção de reconstituição de prontuário	X	
5.10	Projeto de instalação geral	X	
5.11	Projeto de instalação do vaso	X	
5.12	Manual de operação ou instrução categoria I e II	X	
5.13	Operador qualificado para operação categoria I e II	X	
5.14	Laudo de Teste Hidrostático	X	
5.15	Certificado de calibração de válvula de segurança	X	
5.16	Certificado de calibração de manômetro e outros	X	
5.17	Relatório de inspeção anterior	X	
5.18	Programação de inspeções com as suas datas limites	X	
5.19	Mapa de medição de espessuras por ultrassom	X	
5.20	Plaqueta de identificação do fabricante do vaso	X	

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº:1.223/22
		Folha: 3/11
		Data: 08/04/2022

6.1. INSTRUMENTAÇÃO DE SEGURANÇA – MANÔMETROS E TERMÔMETROS

Descrição	TAG	Fabricante	Escala	Nº de certificado	Data de calibração	Validade da calibração
Manômetro	09-MN-97	RECORD	0-40 kgf/cm ²	21107/21	30/11/2021	30/11/2022

6.2 VÁLVULAS DE SEGURANÇA E ALÍVIOS

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	Válvulas de Segurança
Local:	09-TQ-104 (VP 03-ING)
Tamanho:	3/4"
TAG:	09-VS-26
Fabricante/Modelo:	--
Pressão de Ajuste (MPa):	1,030
Nº de Certificado:	19993/21
Data de calibração:	20/04/2021
Validade de calibração:	20/04/2024

6.3. CLASSIFICAÇÃO DO VASO CONFORME A NR – 13

Para efeito da NR 13 os vasos de Pressão são classificados em categorias segundo o tipo de fluido e o potencial de risco. A classificação em grupos potencial de risco é em função do produto "P.V", onde "P" é a Pressão Máxima de Operação em MPa e "V" o seu volume geométrico interno em m³, conforme segue:

CLASSE DE FLUIDO	GRUPO DE RISCO POTENCIAL				
	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" Líquidos inflamáveis, combustível com temperatura igual ou superior a 200°C Tóxicos com limite ≤ 20 ppm Hidrogênio Acetileno	I	I	II	III	III
"B" Combustível com temperatura menor que 200°C Tóxicos com limite > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
"C" Vapor de água Gases asfixiantes simples Ar comprimido	I	II	III	IV	V
"D" Água ou outros fluidos não enquadrados nas classes "A", "B" ou "C", com temperatura superior a 50°C.	II	III	IV	V	V

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº:1.223/22
		Folha: 4/11
		Data: 08/04/2022

Enquadramento na NR 13 P= 1,030 MPa e V= 1,000 m ³ P.V. P.V = 1,030 x 1,000 = 1,030	Categoria: IV Classe de Fluido: C Grupo Potencial de Riscos: 4
--	---

--

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA EM VASO DE PRESSÃO

I - DADOS GERAIS

CLIENTE: xxx

LOCAL: xxx

II – DADOS DO EQUIPAMENTO

EQUIPAMENTO: VASO DE PRESSÃO BALÃO DE AR COMPRIMIDO

Nº: 97.1288

TANQUE: 09-TQ-104 (VP 03-ING)

PMTA[kgf/cm²]:10,50

PTH[kgf/cm²]:16,50

CAPACIDADE [L]: 1.000,00

FLUIDO DE SERVIÇO: AR COMPRIMIDO

CATEGORIA: IV

III – RESULTADOS DOS EXAMES EXTERNOS E INTERNOS

3.1. Exame Externo: Foi realizado exame externo com resultados satisfatórios, as chapas, conexões, acessórios, flanges e equipamentos de precisão (manômetro e válvula de segurança) encontram-se em bom estado de conservação e funcionalidade.

IV – INSPEÇÃO EXTERNA

4.1. INSPEÇÃO E ANÁLISES DAS CONDIÇÕES FÍSICAS

4.1.1. INSPEÇÃO DE FUNDAÇÃO E SUPORTE

Foi realizada inspeção visual da fundação e suporte do vaso de pressão, sendo verificados os seguintes itens:

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº:1.223/22
		Folha: 5/11
		Data: 08/04/2022

4.1.1.1. Base de fixação: Em boas condições visuais.

4.1.1.2. Suporte metálico: Em boas condições visuais.

4.1.2. INSPEÇÃO DE PINTURA

Foi realizada inspeção visual na pintura do equipamento em toda a extensão, não verificando nenhuma moossa, desalinhamento e perda de revestimento do vaso.

4.1.3. INSPEÇÃO EXTERNA DO CASCO/ TAMPOS

Foi realizada inspeção visual na parte externa do costado e nos tampos do equipamento, não verificando nenhuma anomalia.

4.1.4. INSPEÇÃO DAS CONEXÕES E ACESSÓRIOS

Foram realizadas inspeções visuais em todas as conexões e acessórias quanto as suas condições físicas e possíveis vazamentos. O equipamento possui todos os acessórios necessários à segurança do equipamento em funcionamento.

4.1.4.1. Foram inspecionadas todas as conexões e outros dispositivos quanto ao processo de pintura, não sendo detectado pontos de corrosão em flanges, bocais, parafusos e porcas.

4.1.4.2. A válvula de segurança está calibrada e apresenta TAG.

4.1.4.3. O manômetro está calibrado e apresenta TAG.

4.1.4.4. O dreno do equipamento encontra-se em boas condições e com pleno funcionamento.

4.1.5. INSPEÇÃO DE TUBULAÇÕES

Foi realizada inspeção visual nas tubulações em toda a sua extensão de entrada e saída de fluidos.

V – INSPEÇÃO INTERNA

ENSAIO NÃO DESTRUTIVOS – END E INSPEÇÃO

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Folha: 6/11
		Data: 08/04/2022

5.1. MEDIÇÃO DE ESPESSURA DE CHAPA POR ULTRASOM

Ensaio realizado na parte externa do equipamento, utilizando-se o aparelho GE INSPECTION TECHNOLOGIES DM5S, com cabeçote DA501 com velocidade de 5.900 m/s. os registros obtidos estão registrados no croqui em anexos.

As espessuras mínimas encontradas foram as seguintes:

Costado: 8,24 mm **Tampos:** 9,44 mm

VI – PRESSÃO MÁXIMA DE TRABALHO ADMISSÍVEL [PMTA]

Com os dados obtidos na inspeção foi calculado a PMTA do equipamento. O mesmo pode operar satisfatoriamente até a pressão (10,50 kgf/cm²).

VII – RECOMENDAÇÕES DO PH AO USUARIO DO VASO DE PRESSÃO

- Fazer teste de abertura de válvula de segurança do vaso de pressão semanalmente;
- Drenar o vaso de pressão diariamente.

VIII – CONCLUSÃO

O equipamento está em ordem e satisfaz todas as condições de segurança, conforme preconiza as normas NBR 15417 da ABNT e a NR 13 do MTE, com a caracterização do recipiente com o que consta em sua documentação. Não foi observada nenhuma anomalia capaz de prejudicar a segurança do vaso.

IX– PRÓXIMAS INSPEÇÕES PERIÓDICAS A SEREM REALIZADAS

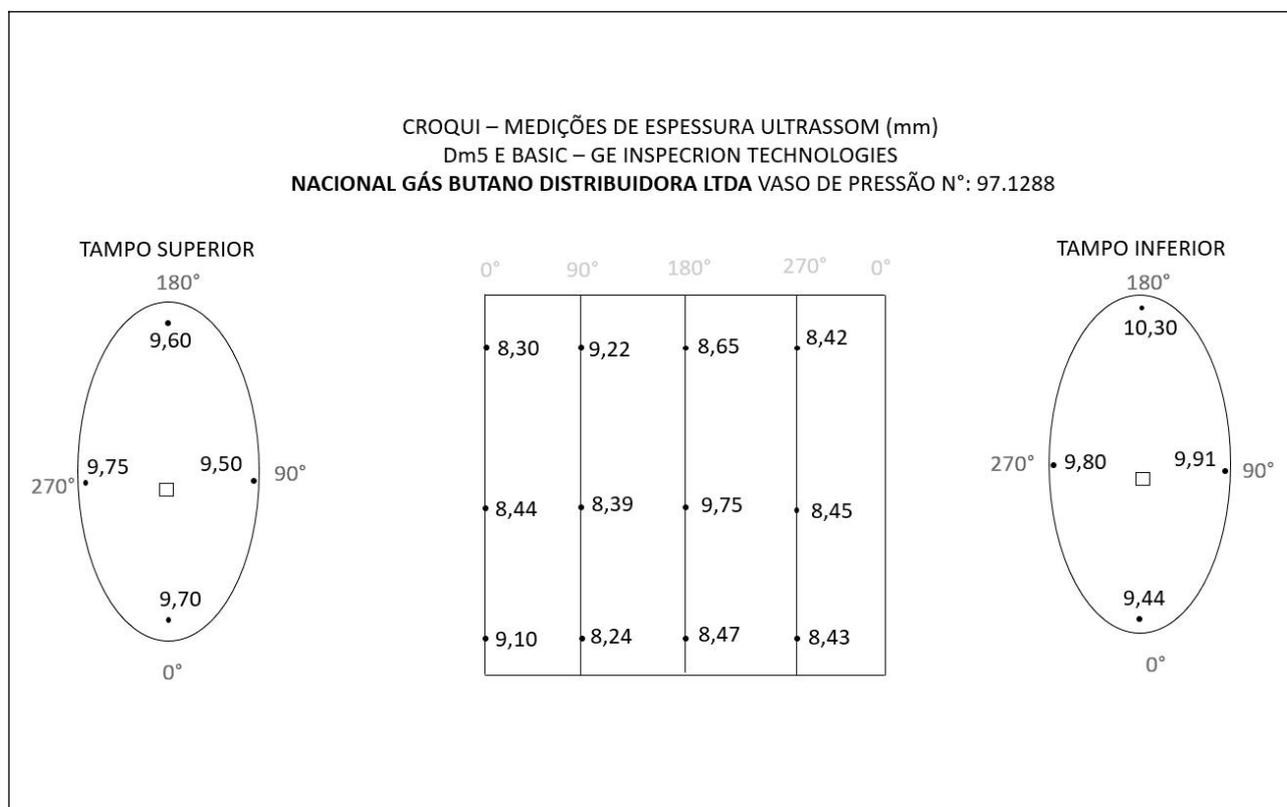
Inspeção Periódica	Prazo estabelecido pelo o PH	Data-limite – NR 13
Inspeção externa	08/04/2026	04 (quatro) anos
Inspeção interna	08/04/2030	08 (oito) anos
Teste hidrostático	--	--

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Folha: 7/11
		Data: 08/04/2022

SITUAÇÃO ENCONTRADA NO VASO INSTALADO

MAPA DE MEDIÇÃO DE ESPESSURAS DE CHAPAS

INSTRUMENTOS UTILIZADOS: ULTRASSOM – GEINSPECTION TECHNOLOGIES DM 5S
com cabeçote DA501 com velocidade 5.900 m/s.



xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº:1.223/22
		Folha: 9/11
		Data: 08/04/2022

FOTOS TIRADAS DURANTE INSPEÇÃO (CONTINUAÇÃO)

Foto 05 – Vista da base de sustentação e fixação ,e dreno do vaso de pressão.



Foto 06 – Medição de espessura de chapa do costado por ultrassom.



Foto 07 – Medição de espessura de chapa do tampo por ultrassom.



Foto 08 – Medição de espessura de chapa do tampo por ultrassom.



xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Folha: 10/11
		Data: 08/04/2022

RESUMO DO CÁLCULO DA PMTA E PRESSÃO DE TESTE HIDROSTÁTICO

PROPRIETARIO: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

IDENTIFICAÇÃO: VASO DE PRESSÃO 09-TQ-104 (VP 03-ING) Nº: 97.1288

FLUIDO: AR COMPRIMIDO

PONTOS ENSAIADOS

Tampos torisféricos : 04 medições em cada tampo nos pontos considerados mais críticos.

Corpo Cilíndrico: 12 medições em toda a extensão das chapas nos pontos considerados mais críticos.

CÁLCULOS DA P.M.T. A e Pressão de Teste Hidrostático

Tampos Torisféricos		Corpo Cilíndrico	
Maior espessura encontrada	10,30 mm	Maior espessura encontrada	9,75 mm
Menor espessura encontrada	9,44 mm	Menor espessura encontrada	8,24 mm
Diâmetro Interno	800,00 mm	Raio Interno	400,00 mm
Material dos tampos e do corpo cilíndrico			
Material dos tampos	ASTM A-285 Gr.C	Material do costado	ASTM A-285 Gr.C
Tensão Admissível			
Tampos	108 MPa	Costado	108 MPa
Temperatura do Gás	0 °C	Eficiência das juntas soldadas	1,00
Tolerância para corrosão	*C	Espessura da Chapa	t

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Folha: 11/11
		Data: 08/04/2022

MEMORIA DE CÁLCULO DA PMTA

1. TAMPOS TORISFÉRICOS

$$PMTA = \frac{S \times E \times t}{R + 0,1 \times t}$$

$$PMTA = \frac{108 \times 1,0 \times 9,44}{400 + 0,1 \times 9,44} = \frac{1.019,520}{400,944} = 2,54 \text{ MPa}$$

$$PMTA = 25,90 \text{ kgf/cm}^2$$

2. CORPO CILINDRICO

$$PMTA = \frac{S \times E \times t}{R + 0,6 \times t}$$

$$PMTA = \frac{108 \times 1,0 \times 8,24}{400 + 0,6 \times 8,24} = \frac{889,920}{404,944} = 2,19 \text{ MPa}$$

$$PMTA = 22,33 \text{ kgf/cm}^2$$

PRESSÃO MÁXIMA DE TRABALHO ADMISSÍVEL E DE TESTE HIDROSTÁTICO

$$PTH = 22,33 \text{ kgf/cm}^2$$

$$PPH = 33,49 \text{ kgf/cm}^2$$

João Pessoa, 08 de abril de 2022

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Engenheiro Mecânico
RNP CONFEA/CREA XXXXXXXXXXXX
ART Nº: XXXXXXXXXXXX

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Data: 08/04/2022

ANEXOS

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Data: 08/04/2022

ART - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº: 1.223/22
		Data: 08/04/2022

CERTIFICADOS DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS DURANTE A INSPEÇÃO

xxx	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VASO DE PRESSÃO	Relatório nº:1.223/22
		Data: 08/04/2022

CERTIFICADOS DOS INSTRUMENTOS DO VASO DE PRESSÃO