

**MATHEUS DE ALCÂNTARA TOMÉ**

**Aplicação da NR 13 em equipamentos industriais:**  
ensaios não-destrutivos

**Matheus de Alcântara Tomé**

**Aplicação da NR 13 em equipamentos industriais:**  
ensaios não-destrutivos

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

Guaratinguetá – SP  
2020

T656a	<p>Tomé, Matheus de Alcântara</p> <p>Aplicação da NR 13 em equipamentos industriais: ensaios não-destrutivos / Matheus de Alcântara Tomé – Guaratinguetá, 2020. 48 f : il. Bibliografia: f. 48</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins</p> <p>1. Vasos de pressão. 2. Ensaios não-destrutivos. 3. Normas técnicas (Engenharia). I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.643.2</p>
-------	--

Luciana Máximo  
Bibliotecária CRB 8/3595

**MATHEUS DE ALCÂNTARA TOMÉ**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

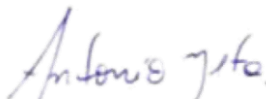
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Me. ANTONIO FARIA DOS REIS NETO  
UNESP-FEG



Eng. SOFIA GLYNIADAKIS  
UNESP-FEG

## **DADOS CURRICULARES**

### **MATHEUS DE ALCÂNTARA TOMÉ**

**NASCIMENTO** 02.05.1996 – Santa Bárbara D’Oeste / SP

**FILIAÇÃO** Maurivan Tomé  
Marta Pedro de Alcântara Tomé

**2014/2020** Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

Dedico este trabalho à minha família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço a minha família e meus amigos,

ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins que me concedeu a oportunidade de realizar este trabalho em um tema que me despertou o interesse,

aos meus pais Maurivan Tomé e Marta Pedro de Alcântara Tomé e meu irmão Felipe Tomé, que apesar das dificuldades enfrentadas, incentivaram meus estudos, me possibilitando aperfeiçoar e desenvolver, constantemente, novas habilidades,

aos meus colegas de minha república que sempre me motivaram em todos esses anos de graduação,

aos meus amigos de trabalho e todos os membros do Grupo PET Engenharia mecânica

aos servidores técnico-administrativos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá pela dedicação e trabalho.

“A melhor prova é a experiência”

Francis Bacon

## RESUMO

Vaso de pressão é definido como qualquer recipiente estanque capaz de armazenar um fluido pressurizado. Para seu projeto e manutenção, normas rígidas devem ser seguidas para que os equipamentos não falhem em serviço. Neste contexto, este presente trabalho tem como objetivo demonstrar por meio de trabalhos realizados em campo a aplicação prática da Norma Regulamentadora Nº 13 em vasos de pressão de diversos segmentos industriais, sendo eles: papel e celulose, indústria alimentícia, fábrica de peças automotivas, fábrica de produtos hospitalares, indústria química e confecção de roupas. As inspeções periódicas foram feitas seguindo os padrões da norma brasileira ABNT NBR 15417:2007 - Vasos de pressão - Inspeção de segurança em serviço, com o enquadramento da categoria de risco e exame visual externo, medição de espessura da parede por ultrassom, assim como o diagnóstico geral sobre as condições de desempenho dos vasos de pressão, seus acessórios e componentes com a análise de integridade do manômetro e da válvula de segurança, para determinados equipamentos foi realizado o teste hidrostático (TH) e ensaio de líquido penetrante (LP). Foram apresentados seis equipamentos com finalidades distintas, que se enquadram nos requisitos da norma, reforçando a ampla aplicação das normas regulamentadoras atribuídas aos engenheiros mecânicos em seus trabalhos práticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vasos de pressão. NR 13. Ensaio não-destrutivos.

## **ABSTRACT**

Pressure vessel is defined as any watertight container capable of storing a pressurized fluid. For its design and maintenance, strict standards must be followed so that the equipment does not fail in service. In this context, this present work aims to demonstrate, through work carried out in the field, the practical application of Regulatory Norm No. 13 in pressure vessels from several industrial segments, namely: paper and cellulose, food industry, automotive parts factory, hospital products factory, chemical industry and clothing manufacturing. Periodic inspections were carried out following the standards of the Brazilian standard ABNT NBR 15417: 2007 - Pressure vessels - Safety inspection in service, with the classification of the risk category and external visual examination, wall thickness measurement by ultrasound, as well as the general diagnosis on the performance conditions of the pressure vessels, their accessories and components with the integrity analysis of the pressure gauge and the safety valve, for certain equipment, the hydrostatic test (TH) and penetrating liquid test (LP) were carried out. Six pieces of equipment were presented for different purposes, which meet the requirements of the standard, reinforcing the wide application of regulatory standards attributed to mechanical engineers in their practical work.

**KEYWORDS:** Pressure vessel. NR 13. Non-destructive tests.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Principais formatos de vasos de pressão.....	19
Figura 2 - Seção do vaso de pressão cilíndrico .....	22
Figura 3 - Seção posterior do vaso de pressão com cargas na direção x.....	22
Figura 4 - Seção do vaso de pressão a esquerda do plano b.....	23
Figura 5 - Seção do vaso dividida pelo plano “a “ .....	24
Figura 6 - Diagrama de corpo livre para o vaso esférico.....	24
Figura 7 - Posicionamento do eletrodo.....	28
Figura 8 - Leitura da espessura.....	28
Figura 9 - Ensaio de líquido penetrante.....	30
Figura 10 - Cilindro secador da máquina de papel.....	33
Figura 11 - Aquecedor.....	34
Figura 12 - Resfriador .....	35
Figura 13 - Compressor horizontal.....	36
Figura 14 - Pulmão de ar comprimido.....	37
Figura 15 - Compressor de ar comprimido.....	38
Figura 16 - Local para instalação da válvula de segurança.....	41
Figura 17 - Placa de identificação do aquecedor.....	41
Figura 18 - Placa de identificação do resfriador.....	42
Figura 19 - Placa de identificação do compressor.....	43
Figura 20 - Placa de identificação do pulmão de ar .....	44
Figura 21 - Placa de identificação do compressor.....	45
Figura 22 - Local de instalação.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ENIT	Escola Nacional da Inspeção do Trabalho
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
NR	Norma Regulamentadora
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
TH	Teste Hidrostático
LP	Líquido Penetrante
ACFM	Medição de campo por corrente alternada
PH	Profissional Habilitado
PMTA	Pressão Máxima de Trabalho Admissível
MTB	Ministério do Trabalho
ASME	American Society of Mechanical Engineers
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
DCBI	Dispositivo Contra Bloqueio Inadvertido
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica

## LISTA DE SÍMBOLOS

$t$	Espessura da parede
$r$	Raio interno
$p$	Pressão manométrica no interior do vaso
$\sigma_1$	Tensão tangencial
$\sigma_2$	Tensão longitudinal
$dy$	Largura do elemento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	NORMAS REGULAMENTADORAS .....	14
1.2	NORMA REGULAMENTADORA Nº 13 .....	14
1.3	ESTUDO DE CASO .....	15
1.4	OBJETIVO .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
2.1	DEFINIÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO .....	17
2.2	TIPOS DE VASO DE PRESSÃO .....	19
2.3	ESPESSURA DE PAREDE DE CASCOS E TAMPOS .....	20
2.4	TENSÕES EM VASOS DE PRESSÃO CILÍNDRICOS E ESFÉRICOS .....	21
2.5	TENSÕES EM VASOS CILÍNDRICOS .....	21
2.6	TENSÕES EM VASOS ESFÉRICOS .....	24
2.7	INSPEÇÃO EM VASOS DE PRESSÃO .....	25
2.8	REQUISITOS MÍNIMOS .....	27
2.9	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS .....	27
<b>2.9.1</b>	<b>Medição de espessura por ultrassom</b> .....	27
<b>2.9.2</b>	<b>Partículas magnéticas</b> .....	29
<b>2.9.3</b>	<b>Medição de campo por corrente alternada (acfm)</b> .....	29
<b>2.9.4</b>	<b>Ensaio por líquidos penetrantes</b> .....	30
<b>2.9.5</b>	<b>Teste hidrostático</b> .....	30
<b>3</b>	<b>MÉTODOLOGIA</b> .....	32
3.1	FÁBRICA DE PAPEL E CELULOSE .....	32
3.2	INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA .....	33
3.3	FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS .....	34
3.4	FÁBRICA DE PRODUTOS HOSPITALARES .....	35
3.5	CONSTRUÇÃO CIVIL .....	36
3.6	CONFECÇÃO DE ROUPAS .....	37
3.7	RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS .....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	40
4.1	FÁBRICA DE PAPEL E CELULOSE .....	40
4.2	INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA .....	41

4.3	FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS.....	42
4.4	FÁBRICA DE PRODUTOS HOSPITALARES.....	43
4.5	CONSTRUÇÃO CIVIL .....	43
4.6	CONFECÇÃO DE ROUPAS.....	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 NORMAS REGULAMENTADORAS

Segundo a Escola Nacional da Inspeção do Trabalho - ENIT (2017), no início da década de 70, com aproximadamente 10 milhões de trabalhadores formais, eram registrados mais de 1,5 milhões de acidentes de trabalho e em torno de 4000 mortes provenientes desses acidentes por ano no Brasil. Diante desse cenário, o Banco Mundial anunciou que deixaria de realizar empréstimos para o país, que estava em processo de industrialização, fato que acelerou a criação de medidas que protegessem os trabalhadores.

A partir da lei N° 6.514 de 1977, o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), foi alterado incluindo leis relativas à segurança e medicina do trabalho e em 08 de junho de 1978 as Normas Regulamentadoras (NR) foram aprovadas pela Portaria N° 3.214.

As NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho - CLT. (NORMA REGULAMENTADORA N° 1, 2020).

Atualmente existem 37 normas vigentes que são constantemente atualizadas por comissões tripartite compostas por representantes do governo, empregadores e trabalhadores, estima-se que foram evitados 8 milhões de acidentes e 46000 mortes devido à redução das taxas de acidentes e adoecimentos em relação às da década de 70, de acordo com levantamento feito pela revista CIPA. Disponível em: <https://revistacipa.com.br/40-anos-de-prevencao-8-milhoes-de-acidentes-evitados-depois-das-nrs/>. Acesso em 27 de maio de 2020.

## 1.2 NORMA REGULAMENTADORA N° 13

O objeto de estudo deste trabalho é a Norma Regulamentadora N° 13 que trata da gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando à segurança e à saúde dos trabalhadores. (NORMA REGULAMENTADORA N° 13, 2019).

### 1.3 ESTUDO DE CASO

Após a consolidação das Normas Regulamentadoras, as empresas que possuem alguma atividade industrial devem, portanto se enquadrar para que não sejam alvo de autuações e multas pelos órgãos fiscalizadores. A NR 13 é uma das normas solicitadas atualmente em auditorias e fiscalizações das entidades legais. Disponível em: <http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=3609#.YGxRoq9Ki00>. Acesso em 27 de maio de 2020.

É obrigação do empregador a adoção das medidas determinadas nas normas regulamentadoras, que tem caráter compulsório, além de ter a documentação dos equipamentos que se enquadram na norma, sendo que essa documentação deve ser emitida periodicamente por um profissional habilitado, de acordo com a categoria do equipamento.

Considera-se profissional habilitado aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento da operação e da manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no País. (NORMA REGULAMENTADORA Nº 13, 2019).

O estudo de caso, foi realizado em indústrias de diversos segmentos como: papel e celulose, indústria alimentícia, fábrica de peças automotivas, fábrica de produtos hospitalares, indústria química e confecção de roupas.

As inspeções periódicas foram feitas seguindo os padrões da norma brasileira ABNT NBR 15417:2007 - Vasos de pressão - Inspeção de segurança em serviço, com o enquadramento da categoria de risco e exame visual externo, medição de espessura da parede por ultrassom, assim como o diagnóstico geral sobre as condições de desempenho dos vasos de pressão, seus acessórios e componentes com a análise de integridade do manômetro e da válvula de segurança, para determinados equipamentos foi realizado o teste hidrostático (TH) e ensaio de líquido penetrante (LP).

### 1.4 OBJETIVO

Demonstrar a aplicação prática da Norma Regulamentadora Nº 13 em vasos de pressão de diversos segmentos industriais. Além disso, este trabalho de graduação busca apresentar,

por meio de um estudo de caso, a aplicação desta norma regulamentadora em diferentes equipamentos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DEFINIÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO

O nome vaso de pressão designa genericamente todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensão formato ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado. Dentro de uma definição tão abrangente inclui-se uma enorme variedade de equipamentos, desde uma simples panela de pressão de cozinha, até os mais sofisticados reatores nucleares (TELLES, 2007).

Os vasos de pressão também podem ser empregados em processos que utilizam vácuo, sendo necessário suportar a influência da pressão atmosférica externa, entretanto as aplicações mais comuns são em processos que utilizam fluidos compressíveis e que precisam ser armazenados em determinada quantidade. (NORMA REGULAMENTADORA Nº 13, 2019).

Em todos os vasos de pressão existe sempre um invólucro estanque, externo e contínuo, que é denominado “parede de pressão” do vaso, ou seja, o elemento do vaso que contém fluido pressurizado. A parede de pressão pode ser simples ou múltipla, bem como pode assumir vários formatos, dependendo principalmente das dimensões e da finalidade do equipamento (TELLES, 2007).

A NR 13 deve ser aplicada em caldeiras, vasos de pressão e recipientes móveis cujo produto (pressão máxima de trabalho admissível x volume interno) seja superior a oito, para o cálculo deve-se considerar a (PMTA) em kPa, em módulo, e o volume interno em m<sup>3</sup>. A norma também se aplica à vasos de pressão que contenham fluidos inflamáveis, fluidos combustíveis com temperatura superior ou igual a 200 °C, fluidos tóxicos com limite de tolerância igual ou inferior a vinte partes por milhão, hidrogênio, acetileno, independente das dimensões e do produto (PMTA x volume interno). (NORMA REGULAMENTADORA Nº 13, 2019).

Além dos equipamentos citados, também estão sujeitos a inspeções periódicas conforme a NR 13 as tubulações ou sistemas de tubulação ligados a caldeiras ou vasos de pressão, com fluidos de classe A ou B, descritos na Tabela 1.

Com a Portaria do Ministério do Trabalho MTb n.º 1.082, de 18 de dezembro de 2018, também são contemplados os tanques metálicos de superfície para armazenamento e estocagem de produtos ou de matérias primas, não enterrados e com fundo apoiado sobre o solo, com capacidade nominal maior do que 20 mil litros, diâmetro externo maior do que três

metros e que contenham fluidos de classe A ou B. (NORMA REGULAMENTADORA Nº 13, 2019).

De acordo com a NR 13, os fluidos são classificados em quatro classes:

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

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

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

Classe D: Outro fluido não enquadrado nas demais classes.

Para fins de classificação, no caso de mistura, deve ser considerado o fluido que apresente maior risco aos trabalhadores, considerado a toxicidade, inflamabilidade e concentração.

Os vasos de pressão são classificados em categorias de risco, sendo que a categoria “I” apresenta o maior potencial de risco enquanto a categoria “V” o menor, de acordo com a classe do fluido e com o produto entre (pressão máxima de operação x volume interno), sendo que a pressão deve ser considerada em MPa e o volume em m<sup>3</sup>, conforme demonstrado na Tabela 1. (NORMA REGULAMENTADORA Nº 13, 2019).

Tabela 1 - Categoria de risco dos vasos de pressão

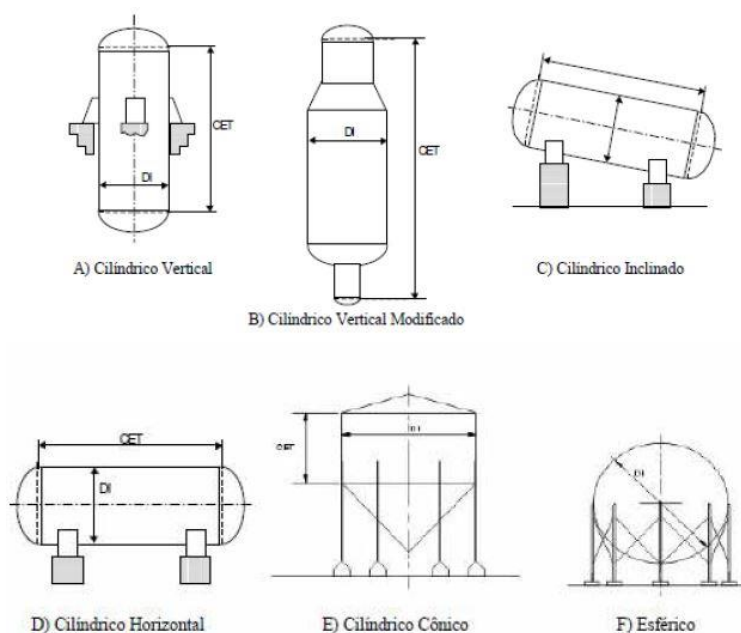
Classe de Fluido	Grupo de Potencial de Risco				
	1 P.V ≥ 100	2 P.V < 100 P.V ≥ 30	3 P.V < 30 P.V ≥ 2,5	4 P.V < 2,5 P.V ≥ 1	5 P.V < 1
	Categorias				
<b>A</b> - Fluidos inflamáveis, e fluidos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200 °C - Tóxico com limite de tolerância ≤ 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno	I	I	II	III	III
<b>B</b> - Fluidos combustíveis com temperatura menor que 200 °C - Fluidos tóxicos com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
<b>C</b> - Vapor de água - Gases asfixiantes simples - Ar comprimido	I	II	III	IV	V
<b>D</b> - Outro fluido	II	III	IV	V	V

Fonte: Norma regulamentadora 13 (2019).

## 2.2 TIPOS DE VASO DE PRESSÃO

A parede de pressão de um vaso compõe-se basicamente do casco (ou cascos) do vaso e dos tampos de fechamento. Quase todos os vasos com raras exceções, têm o casco com uma das três formas básicas: cilíndrica, cônica e esférica, ou combinações dessas formas, conforme os exemplos apresentados na Figura 1 (TELLES, 2007).

Figura 1- Principais formatos de vasos de pressão



Fonte: Telles (2007).

A fabricação de qualquer vaso de pressão deve seguir um código de projeto, elaborado por associações técnicas ou sociedades de normalização públicas ou privadas de diversos países, que estabelecem padrões, regras e rotinas obrigatórias além de recomendações construtivas, para garantir que o equipamento opere em regime contínuo, apresentando confiabilidade e segurança.

Segundo Telles (2007), no Brasil o código mais utilizado é o ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), que determina regras para dimensionamentos dos componentes principais (casco, tampos, reduções, flanges, bocais e reforços), submetidos à pressão interna ou externa e os requisitos mínimos de qualidade do material de construção, teste, soldagem, montagem, inspeção, tolerâncias admitidas e reparos de fabricação.

O código ASME, Seção VIII, define os parâmetros construtivos de acordo com a aplicação e pressão que o equipamento é submetido, composto por três divisões.

A divisão 1 é limitada para equipamentos com pressão interna entre 103 kPa e 20685 kPa, ou pressão externa máxima de 103 kPa.

A divisão 2 do código ASME, foi criada em 1969 como alternativa à divisão 1, adotando critérios e detalhes de projeto, fabricação, exames e testes mais rigorosos e tensões admissíveis superiores, além de não limitar a pressão do projeto (FALCÃO, 2008).

Essa norma admite tensões maiores do que as da divisão 1, resultando em menores espessuras e menor peso para o vaso. Em contrapartida, para garantir um grau de segurança equivalente, ou mesmo maior, é feita uma série de exigências adicionais de projeto, cálculos, materiais, fabricação e inspeção, que resultam evidentemente em maior custo, de forma que nem sempre compensa a economia feita em materiais e em solda (TELLES, 2007).

A divisão 2 é obrigatória para os vasos em serviços cíclicos (sujeito à análise de fadiga), vasos de construção especial e vasos para serviços muito severos (fluidos altamente tóxicos, por exemplo) (TELLES, 2007).

A divisão 3 é a mais recente do código ASME Seção VIII e é destinada para equipamentos que operam em alta pressão, em geral acima de 68965 kPa, porém pode ser usada para construção de equipamentos com pressão interna inferior a esse valor.

Embora seja parecida com a divisão 2 nos critérios de projeto, adotando também a teoria da máxima tensão de cisalhamento, a classificação e análise de tensões para avaliação de fadiga é mais rigorosa na divisão 3. (FALCÃO, 2008).

### 2.3 ESPESSURA DE PAREDE DE CASCOS E TAMPOS

Para os vasos de casco cilíndrico com tampos toriesféricos, é usual a fabricação do corpo e dos tampos com chapas da mesma espessura, facilitando a construção e evitando a transição de espessura, embora o casco fique superdimensionado devido a distribuição de tensões e maior solicitação nos tampos, necessitando de uma maior espessura em relação ao restante do vaso.

De acordo com a divisão 1 do código ASME, Seção VIII, as espessuras mínimas para as partes sujeitas a pressão:

- Vasos de aço de alta resistência: 6,4 mm
- Vasos para água, vapor ou ar comprimido (qualquer material): 2,4 mm
- Vasos em geral, não incluídos nos casos acima: 1,6 mm.

De acordo com a divisão 2 do código ASME, Seção VIII, as espessuras mínimas para as partes sujeitas a pressão:

- Pares em aço-carbono ou aços de baixa liga; 6,4 mm.
- Partes em aço inoxidável ou em metais não-ferrosos: 3,2 mm

Os equipamentos, em geral, são projetados para determinada vida útil, dependendo da sua classificação, que considera o custo, tipo de equipamento e sua importância para a instalação em que opera, além da corrosão, devido à perda de espessura, e que no projeto mecânico é compensada com a sobre-espessura para corrosão. (FALCÃO, 2008).

Segundo Telles (2007), o acréscimo de espessura devido a corrosão deve ser calculado de acordo com a taxa anual de corrosão (mm/ano) multiplicada pelo tempo de vida útil estimado. Quando não for possível estabelecer valores confiáveis para taxa anual de corrosão em vasos de aço-carbono ou aços de baixa liga é comum adotar os seguintes valores para acréscimo na espessura mínima:

- Meios pouco corrosivos: 1,5 mm.
- Meios medianamente corrosivos (normais): 3,0 mm.
- Meios muito corrosivos: 4,0 mm a 6,0 mm.

## 2.4 TENSÕES EM VASOS DE PRESSÃO CILÍNDRICOS E ESFÉRICOS

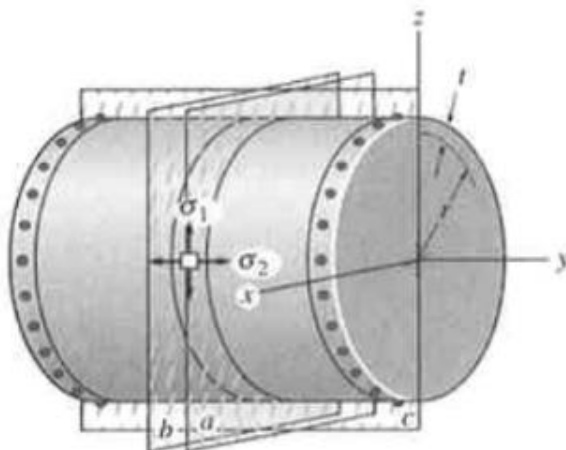
Devido à pressão interna, o material utilizado na fabricação recebe cargas em todas as direções, entretanto pode-se analisar as tensões de maneira simplificada, caso o vaso de pressão tenha paredes finas, em geral para que a Teoria de Paredes Finas possa ser aplicada é necessário que a relação entre o raio interno e espessura da parede do vaso seja maior ou igual a 10. Caso a parede do vaso se enquadre nesse critério é possível considerar constante ou uniforme a distribuição da tensão ao longo do equipamento (HIBBELER, 2006).

## 2.5 TENSÕES EM VASOS CILÍNDRICOS

Considerando a espessura da parede igual a  $t$ , o raio interno  $r$ , desprezando o peso do fluido armazenado e considerando a pressão manométrica exercida no interior do vaso como  $p$ . Devido à uniformidade do carregamento, pode-se remover um elemento das extremidades

do vaso e orientá-lo conforme a Figura 2, atribuindo a  $\sigma_1$  no sentido tangencial e  $\sigma_2$  no sentido longitudinal, ambas exercendo tração sob o material.

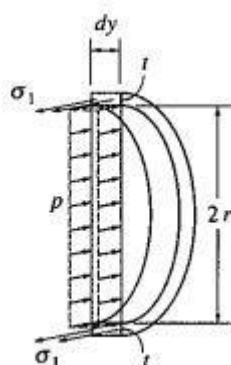
Figura 2 - Seção do vaso de pressão cilíndrico



Fonte: Hibbeler (2006).

Para determinar a intensidade em termos da geometria e da pressão interna, aplica-se o método das seções e as equações de equilíbrio de forças, seccionando o elemento do vaso pelos planos a, b e c. O diagrama de corpo livre para seção posterior do vaso é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Seção posterior do vaso de pressão com cargas na direção x



Fonte: Hibbeler (2006).

As cargas mostradas são exercidas pela tensão uniforme  $\sigma_1$  e pela pressão exercida pelo fluido no interior do dispositivo, de acordo com a dedução feita por Hibbeler (2006), para que ocorra o equilíbrio do corpo a somatória de forças na direção x deve ser nula, considerando

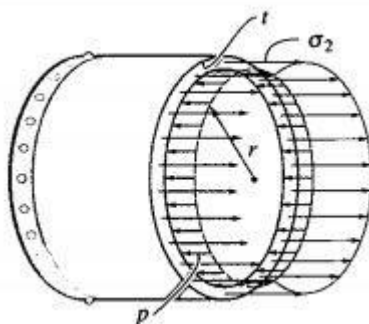
que a largura do elemento é dada por  $dy$  é possível definir a tensão tangencial  $\sigma_1$  pela Equação (2):

$$2 [\sigma_1 (t dy)] - p(2r dy) = 0 \quad (1)$$

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} \quad (2)$$

Para definir a tensão longitudinal  $\sigma_2$ , considera-se a parte esquerda ao plano b, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Seção do vaso de pressão a esquerda do plano b



Fonte: Hibbeler (2006).

Aproximando o valor do raio médio ao raio interno do vaso e a pressão atuando uniformemente em toda seção do fluido o equilíbrio de forças com relação ao eixo  $y$  se dá pela Equação (4):

$$\sigma_2(2\pi r t) - p(\pi r^2) = 0 \quad (3)$$

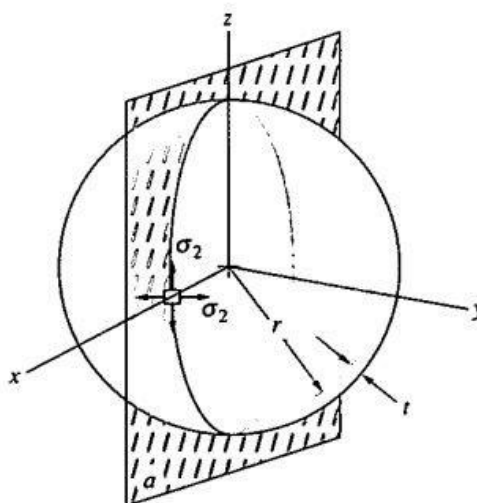
$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} \quad (4)$$

Comparando as equações 2 e 4, nota-se que para vasos cilíndricos a tensão tangencial é sempre duas vezes maior que a longitudinal, portanto, na fabricação dos vasos com chapas laminadas, as juntas longitudinais devem ser projetadas para suportar o dobro da tensão das juntas tangenciais (HIBBELER, 2006).

## 2.6 TENSÕES EM VASOS ESFÉRICOS

De maneira análoga, pode-se analisar o vaso de pressão esférico, definindo a espessura de parede como  $t$ , raio interno como  $r$  e a pressão a manométrica exercida no interior do vaso como  $p$ . Secionando o vaso pela metade com o plano  $a$ , apresentado na Figura 5.

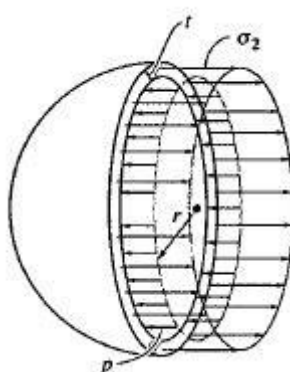
Figura 5 - Seção do vaso dividida pelo plano “a”



Fonte: Hibbeler (2006).

Para o equilíbrio de forças na direção  $y$ , deve-se analisar o diagrama de corpo livre apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Diagrama de corpo livre para o vaso esférico



Fonte: Hibbeler (2006).

De forma semelhante ao vaso cilíndrico, as tensões tangenciais e longitudinais são definidas conforme a Equação 6, que devido a simetria do vaso, a intensidade da tensão será a mesma independente da orientação.

$$\sigma_2(2\pi r t) - p(\pi r^2) = 0 \quad (5)$$

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} \quad (6)$$

## 2.7 INSPEÇÃO EM VASOS DE PRESSÃO

A NBR 15417:2007, estabelece os requisitos mínimos para inspeção de segurança de vasos de pressão em serviço, são divididas em inspeção externa, inspeção interna, inspeção inicial e inspeções extraordinárias, que devem ser feitas quando for detectado algum problema ou alteração operacional, reconstituição de prontuário, alteração ou reparo, também deve-se inspecionar vasos que ficaram fora de operação e voltarão a ser utilizados.

A inspeção externa deve ser executada visualmente, sendo necessário observar a integridade dos seguintes pontos: vias de acesso ao vaso, quando acessível as fundações assim como os chumbadores, dispositivos de aterramento, revestimento externo do vaso (isolamento térmico ou pintura), bocais, cliques e olhais ligados ao vaso, flanges, estojos e porcas.

Os tipos de anomalias observadas durante a inspeção são: perda de espessura, que deve ser verificada periodicamente na inspeção interna ou externa, também deve ser observada a presença de deformações ou falhas no revestimento e pintura, assim como o estado de corrosão da chaparia.

Os vasos com suspeita de descontinuidade interna tais como trinca devem ser submetidos a ensaio radiográfico, medição de espessura por ultrassom ou outro exame não destrutivo mais indicado para avaliação de descontinuidade que se espera encontrar ou se queira avaliar (NBR 15417:2007).

Sempre que ocorrer alguma anomalia operacional como: sobrepressão, vazamentos, superaquecimento acima da temperatura de projeto, queda no rendimento devido a incrustações ou deterioração, mal funcionamento da válvula de segurança ou não abertura na pressão estipulada, deve-se realizar uma inspeção extraordinária.

Quando algum dos parâmetros operacionais forem alterados como, pressão máxima de trabalho, temperatura de projeto, modificação no fluido pressurizado e adaptação dos

instrumentos de segurança para as novas condições de trabalho, deve ser feita uma inspeção extraordinária operacional.

A inspeção em vasos fora de operação por um período superior a seis meses deve ser feita quando o equipamento retornar à operação, mantendo seu prontuário e registro de segurança atualizados, vasos que apresentarem deterioração no estado paralisado, deve sofrer inspeção antes de voltar ao funcionamento.

Deve ser elaborado um projeto de alteração e reparo sempre quando houver reparos em juntas soldadas ou metal-base de partes ou peças que falharam em serviço, instalação de chapas soldadas sobrepostas, camisas soldadas em partes pressurizadas, substituição de bocais e conexões com dimensões e características iguais aos originais.

Sendo necessário elaboração do projeto de reparo por um profissional habilitado, antes da execução e após a alteração e reparo o vaso deve ser submetido ao teste hidrostático de acordo com o código de construção, seguindo os moldes da NR 13, sempre que houver algum processo de soldagem das partes pressurizadas ou das partes soldadas às pressurizadas.

Os prazos máximos para inspeção periódica, são apresentadas na tabela 2:

Tabela 2 – Prazos máximos para inspeção periódica

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno
I	1 ano	3 anos
II	2 anos	4 anos
III	3 anos	6 anos
IV	4 anos	8 anos
V	5 anos	10 anos

Fonte: Norma regulamentadora 13 (2019)

Para empresas que possuem serviço próprio de inspeção de equipamentos, cumprindo os requisitos mencionados no anexo II da NR 13 e certificadas pelo INMETRO, podem ter os prazos máximos estendidos conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Prazos máximos para estabelecimentos que possuem SPIE

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno
I	3 anos	6 anos
II	4 anos	8 anos
III	5 anos	10 anos
IV	6 anos	12 anos
V	7 anos	a critério

Fonte: Norma regulamentadora 13 (2019)

Para vasos de pressão construídos sem código de projeto, instalados antes de 18 de dezembro de 2018, data da publicação da portaria mais recente da NR 13, para os quais não seja possível a reconstituição da memória de cálculo, o prazo máximo para inspeção periódica externa é de um ano e para inspeção periódica interna, o prazo máximo é de três anos.

## 2.8 REQUISITOS MÍNIMOS

De acordo com a NR 13 (2019), todos os vasos de pressão devem ter válvula de segurança ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à Pressão Máxima de Trabalho Admissível PMTA, instalado diretamente no vaso ou no sistema que o inclui, considerando os requisitos do código de projeto relativos a aberturas escalonadas e tolerâncias de calibração, sistema de segurança que defina formalmente os meios para evitar o bloqueio inadvertido de dispositivos de segurança (Dispositivo Contra Bloqueio Inadvertido DCBI), sendo que, na inexistência de tal sistema formalmente definido, deve ser utilizado no mínimo um dispositivo físico associado à sinalização de advertência, também é necessário a presença de instrumento que indique a pressão de operação, instalado diretamente no vaso ou no sistema que o contenha.

Os vasos de pressão devem possuir placa de identificação informando o fabricante, número de identificação, ano de fabricação, pressão máxima de trabalho admissível, pressão de teste hidrostático de fabricação, código de projeto e ano de edição.

Além da placa de identificação, deve constar, em local visível, a categoria do vaso e seu número ou código de identificação. (NORMA REGULAMENTADORA N° 13, 2019).

## 2.9 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

O profissional habilitado tem autonomia para definir as partes a serem preparadas e inspecionadas, assim como o ensaio que será realizado, de forma que represente as deteriorações que ocorrem no equipamento como um todo.

### 2.9.1 Medição de espessura por ultrassom

A norma brasileira que define os procedimentos para a medição de espessura por ultrassom é a ABNT NBR 15824:2020.

Para realizar a medição de espessura, primeiramente deve-se preparar a superfície removendo o revestimento ou pintura, para permitir o acoplamento do eletrodo, as superfícies de ensaio podem ser lixadas, raspadas, esmeriladas, ou preparadas de uma outra forma, que garanta o acoplamento, é necessário a aplicação de um fluido acoplante, podendo ser líquido ou pastoso, o mais comum é a vaselina, após aplicado deve-se pressionar o eletrodo na região analisada conforme Figura 7. (ABNT NBR 15824, 2020).

Figura 7 - Posicionamento do eletrodo



Fonte – Autor (2019)

Os aparelhos de medição de espessura possuem um símbolo ou indicador em seu visor que apresenta se o eletrodo está acoplado à superfície, após a verificação pode-se fazer a leitura conforme a Figura 8.

Figura 8 - Leitura da espessura



Fonte: Autor (2019)

É necessário selecionar a velocidade de propagação correta para cada material, também é necessário realizar o ajuste no sistema de medição em todo início de inspeção,

existe um bloco padrão no aparelho e deve ser considerado regulado para medir espessuras em uma faixa de  $\pm 25\%$  da espessura do bloco padrão, além do ajuste é necessário que o instrumento seja calibrado anualmente por uma empresa especializada e emitido o certificado de calibração que compõe a parte documental do laudo técnico de inspeção.

A medição de espessura deve seguir uma periodicidade que pode coincidir com a inspeção externa ou interna do vaso. Essa periodicidade deve ser definida pelo profissional habilitado e não deve ser maior que o menor valor entre a metade da vida remanescente do vaso ou o prazo estabelecido para a próxima inspeção interna do vaso.

Todo vaso deve ser medido nos pontos de controle do registro de medições e seu mapeamento. Se uma perda excessiva de espessura for detectada (taxa de corrosão elevada ou vaso com espessura próxima da espessura mínima), novos pontos devem ser acrescentados à pesquisa, a medição das conexões e tubulações de instrumentação fica a critério do profissional habilitado, recomenda-se medir internamente a espessura, para verificação da existência de corrosão uniforme em áreas localizadas (NBR 1547:2007).

### **2.9.2 Partículas magnéticas**

O ensaio somente pode ser realizado em materiais ferromagnéticos para detecção de trincas superficiais, sendo que deve ser realizada a remoção total da pintura ou qualquer outro revestimento e é necessária a limpeza apurada da superfície objeto da inspeção.

Recomenda-se efetuar o ensaio por partículas magnéticas, por amostragem nas juntas soldadas do casco e conexões nos vasos sujeitos a danos pelo hidrogênio, que operam com  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HS}_2$  úmido ou meios que geram corrosão sob tensão.

Caso sejam encontradas indicações relevantes, a critério do profissional habilitado, deve-se realizar ensaio por ultrassom. (NBR 1547:2007).

### **2.9.3 Medição de campo por corrente alternada (acfm)**

Esse ensaio pode ser realizado em substituição ao ensaio por partículas magnéticas, seguindo os mesmos critérios de amostragem, realizado em materiais condutores (ferromagnéticos e não ferromagnéticos) para detecção e dimensionamento (comprimento e profundidade) de trincas superficiais. Pode ser realizado sobre revestimentos não condutores de até 5 mm de espessura e não necessita de limpeza apurada da superfície, caso sejam encontradas indicações relevantes, realizar o ensaio por ultrassom.

Durante a operação de reparo das discontinuidades, deve ser utilizado o ensaio por partículas magnéticas ou líquidos penetrantes, de modo a facilitar a visualização das extremidades das discontinuidades. (NBR 1547:2007).

#### **2.9.4 Ensaio por líquidos penetrantes**

A norma técnica em vigor que define os procedimentos para realização do ensaio não destrutivo por líquidos penetrantes é a ABNT NBR NM 334:2012.

No caso de detecção visual de trincas, recomenda-se utilizar este ensaio para melhor detecção da discontinuidade, os parâmetros de processo como limpeza inicial, tempo de penetração e técnica de remoção do excesso, são definidos pelo material penetrante e pelo tipo de discontinuidade a ser detectada, assim como a condição superficial e composição da liga.

É apresentado na Figura 9 a detecção de riscos superficiais em um cilindro secador de papel, através do ensaio de líquido penetrante. (NBR 1547:2007).

Figura 9 - Ensaio de líquido penetrante



Fonte: Autor (2019)

#### **2.9.5 Teste hidrostático**

Deve ser realizado o teste hidrostático em todos os vasos na fase de fabricação, com a comprovação através de laudo assinado por um profissional habilitado, fixando a pressão de teste na placa de identificação.

Para os vasos que não tem comprovação documental que foi realizado o teste hidrostático na fase de fabricação, deve-se realizar durante a inspeção de segurança inicial, no caso de vasos fabricados ou importados após 28 de abril de 2014, para vasos de pressão em operação antes dessa data, fica a critério do profissional habilitado a realização do teste.

A pressão para teste é definida conforme o código do projeto, para vasos de aço carbono, normalmente utiliza-se uma vez e meia a pressão máxima de trabalho admissível.

Para maior segurança, recomenda-se que seja utilizado uma bomba manual e que a pressão seja elevada de forma gradativa. (NBR 1547:2007).

### 3 METODOLOGIA

Com o objetivo de demonstrar a aplicação da N° 13 em vasos de pressão de diversos segmentos industriais, foram selecionados seis equipamentos que tiveram inspeções realizadas entre os anos de 2019 e 2020, todo material coletado foi resultado da participação e elaboração dos relatórios de inspeção dos equipamentos.

As inspeções periódicas foram feitas seguindo os padrões da norma brasileira ABNT NBR 15417:2007 - Vasos de pressão - Inspeção de segurança em serviço, código de projeto e normas específicas para cada tipo de ensaio não destrutivo.

Foi emitida a anotação de responsabilidade técnica (ART), para todas as inspeções realizadas, anexada aos relatórios de inspeção, assim como os certificados de calibração do medidor de espessura e manômetro padrão.

A etiqueta de inspeção periódica foi colada em todos os equipamentos, indicando a data da próxima inspeção e contendo um Código QR que permite o acesso aos relatórios de forma digital.

#### 3.1 FÁBRICA DE PAPEL E CELULOSE

No processo de fabricação de papel, utiliza-se como etapa final a máquina de papel, composta por 19 cilindros secadores, cada cilindro é pressurizado e considerado um vaso de pressão se enquadra nos requisitos mencionados na NR 13, sendo necessário a inspeção em cada cilindro individualmente.

Primeiramente foi realizado a inspeção visual externa, identificando os grupos de cilindros e as linhas de pressão, a posição da válvula de segurança e do manômetro. É importante que o manômetro esteja em um local que permita a visualização da escala para leitura da pressão e que a válvula de segurança seja instalada em uma posição que proteja todos os grupos de cilindros.

Após identificação dos componentes de segurança, foi observado o corpo e a tampa de cada cilindro, inspecionando possíveis trincas.

Foi realizado a medição de espessura por ultrassom nos cilindros, nos pontos indicadas na Figura 10, antes da medição de espessura, foram anotadas as informações do volume, pressão máxima de trabalho admissível, pressão de teste hidrostático, código de projeto, espessura nominal da chapa e as demais informações apresentadas na placa de identificação.

O equipamento trabalha em alta temperatura, sendo necessário a parada da máquina dois dias antes da inspeção para resfriamento natural até a temperatura ambiente, possibilitando a medição de espessura e abertura das bocas de visita.

Figura 10 - Cilindro secador da máquina de papel



Fonte: Autor (2019)

Foi comparado o valor de espessura de projeto com o a espessura medida, em um dos cilindros, foi identificada uma perda significativa de espessura, portanto foi necessário a realização do teste hidrostático, para verificar a integridade do vaso pressão, garantindo que ele suporte a pressão de trabalho com segurança.

Na inspeção visual, foi constatado uma possível trinca, para verificação da falha foi utilizado o ensaio de líquidos penetrantes.

### 3.2 INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

Foi realizada a inspeção periódica no aquecedor utilizado no processo de embalagem de uma indústria alimentícia localizada na cidade de Americana - SP.

Inicialmente na inspeção visual, foram verificados os componentes de segurança e o isolamento térmico, assim como a integridade da base e das tubulações adjacentes ao aquecedor.

Também foi testada a eficiência da válvula de segurança, acionando-a manualmente, observando se a abertura está comprometida.

Para medição de espessura da lateral do casco, foi necessário remover a camada isolante e acoplar o eletrodo do medidor de espessura diretamente na chapa de aço pressurizada.

Devido à altura do equipamento, utilizou-se uma escada para possibilitar a inspeção da calota superior e acionamento da válvula de segurança, a calota inferior também foi

inspecionada com o auxílio de uma lanterna para inspeção visual e realização da medição de espessura por ultrassom, a Figura 11 mostra o equipamento e local onde está instalado.

Figura 11 - Aquecedor



Fonte: Autor (2019)

### 3.3 FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

O resfriador inspecionado, faz parte do processo industrial de uma fábrica de peças plásticas para o setor automotivo, localizada na cidade de Indaiatuba – SP.

O equipamento fica em uma área externa, sujeito a umidade e conseqüentemente ao aumento da taxa de corrosão em regiões sem pintura, portanto foi inspecionado minuciosamente todas as partes do equipamento, observando se havia oxidação em alguma região.

Após a inspeção visual, foi retirada uma parte do isolamento térmico para medição de espessura em diversos pontos do equipamento.

Também foi feito o teste de abertura da válvula de segurança e a integridade do manômetro, suportes, fixações e tubulações interligadas ao vaso de pressão.

O equipamento é composto por aletas, posicionadas na parte superior da estrutura, o vaso de pressão está instalado na parte inferior, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Resfriador



Fonte: Autor (2019)

### 3.4 FÁBRICA DE PRODUTOS HOSPITALARES

O compressor horizontal apresentado foi reformado, sendo necessário a realização da inspeção de acordo com a NR 13 para validar a segurança do equipamento após as modificações.

A inspeção foi realizada em uma empresa especializada em reformas e instalações de compressores industriais, localizada na cidade de Campinas – SP.

Além da medição de espessura, foi realizado o teste hidrostático para garantir que as partes soldadas, suportem a pressão de trabalho admissível com um fator de segurança.

Para o teste hidrostático, foi utilizada uma bomba manual, para elevação gradativa da pressão e foi mantida a pressão de 180 psi (uma vez e meia a pressão de trabalho admissível), durante 30 minutos, conforme mencionado no código de projeto.

Vale lembrar que para realização do teste hidrostático, é necessário a medição de pressão por um manômetro calibrado, com certificado de calibração que deve ser anexado ao laudo de inspeção.

A Figura 13 mostra o compressor pressurizado, durante o teste hidrostático.

Figura 13 - Compressor horizontal



Fonte: Autor (2019)

### 3.5 CONSTRUÇÃO CIVIL

O reservatório em questão, compõe o processo de uma empresa multinacional, pioneira na construção de estruturas de contenção em gabiões, com filial na cidade de Jundiaí – SP.

Para suprir a demanda de ar comprimido, é necessário o uso do reservatório vertical de ar, mais conhecido como pulmão de ar comprimido com volume de 2 m<sup>3</sup>.

Devido à altura do equipamento, foi necessário a utilização de escada para acesso a calota superior e medição de espessura dessa região e de toda parte superior.

A umidade do ar comprimido industrial condensa e se acumula na parte interna da calota inferior, sendo necessário realizar a drenagem periódica, para evitar a aceleração da corrosão interna e consequentemente a perda de espessura.

As tubulações também foram inspecionadas visualmente, assim como a integridade do manômetro e a eficiência da válvula de segurança, acionando-a manualmente, o reservatório está instalado em local coberto com ventilação adequada, a Figura 14 mostra o local de instalação e a dimensão do reservatório.

Figura 14 - Pulmão de ar comprimido



Fonte: Autor (2019)

### 3.6 CONFECÇÃO DE ROUPAS

O compressor horizontal instalado em uma confecção de roupas, estava em operação há menos de um ano, havia sido realizada apenas a inspeção inicial feita pelo fabricante, portanto foi necessário a abertura e fornecimento do livro de segurança para o equipamento, para registro das demais inspeções periódicas e qualquer alteração capaz de influenciar nas condições de segurança do equipamento.

Foi verificado o pressostato, anotando a pressão de acionamento e desligamento.

Também foi testada a eficiência da válvula de segurança manualmente, foi verificada a escala e condição do manômetro, integridade dos suportes de fixação e as condições do local onde o equipamento estava em operação.

A drenagem de condensado é feita semanalmente, para que não ocorra acúmulo de água na parte inferior, fato que interfere tanto na segurança como na eficiência do equipamento.

Foi realizada a medição de espessura em pontos do corpo e das calotas, o compressor está apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Compressor de ar comprimido



Fonte: Autor (2019)

### 3.7 RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS

Para uma melhor compreensão dos ensaios não-destrutivos que foram realizados em cada segmento industrial, a Tabela 4 apresenta quais ensaios foram realizados nos equipamentos inspecionados.

Tabela 4 – Ensaio realizados

<b>SEGMENTO INDUSTRIAL</b>	<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Inspeção visual externa</b>	<b>Medição de espessura por ultrassom</b>	<b>Ensaio LP</b>	<b>Teste hidrostático</b>
Fábrica de papel e celulose	Cilindro da máquina de papel	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Indústria alimentícia	Aquecedor	<b>X</b>	<b>X</b>		
Fábrica de peças automotivas	Resfriador de líquidos	<b>X</b>	<b>X</b>		
Fábrica de produtos hospitalares	Compressor horizontal	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
Construção civil	Reservatório vertical	<b>X</b>	<b>X</b>		
Confecção de roupas	Compressor horizontal	<b>X</b>	<b>X</b>		

Fonte: Autor (2020)

## 4 RESULTADOS

Os resultados das inspeções realizadas serão apresentados para cada equipamento, que faz parte de processos distintos, de diferentes segmentos industriais, demonstrando a abrangência da Norma Regulamentara N° 13.

### 4.1 FÁBRICA DE PAPEL E CELULOSE

Os cilindros que compõe a máquina de papel, foram fabricados pela empresa IPPEL em 2010, seguindo o código de projeto ASME SEC. VIII DIVISÃO I – EDIÇÃO 1983, para operar com a pressão máximo de trabalho admissível de 12 kgf/cm<sup>2</sup>.

Cada cilindro foi analisado individualmente, por meio do exame visual externo, medição por ultrassom e mapeamento das espessuras medidas.

Ao analisar o cilindro n° 2, foi observado um risco longitudinal de aproximadamente 50 cm de comprimento, portanto optou-se pela realização do ensaio de líquido penetrante para verificação, após o procedimento, concluiu-se que a marca no corpo do cilindro era superficial, não oferecendo risco para integridade do equipamento.

Em um dos cilindros a espessura medida por ultrassom, se aproximou da espessura mínima admissível, para garantir que o cilindro pudesse operar com segurança, de forma intermitente, foi feito o teste hidrostático, sendo necessário a preparação de uma nova junta para tampa da boca de visita, tamponamento da válvula de segurança e preenchimento do interior do cilindro com água, após a preparação, elevou-se a pressão de forma gradativa até 18 kgf/cm<sup>2</sup>, mantendo por aproximadamente 30 minutos, verificando se o cilindro apresentava algum tipo vazamento ou deformação, conclui-se que o equipamento estava seguro para operação e que fosse feito um acompanhamento das espessuras medidas nas próximas inspeções, principalmente na região que apresentou perda de espessura significativa.

Ao inspecionar os dispositivos de segurança, constatou que a posição que a válvula de segurança estava instalada, não protegia todos os cilindros da máquina, devido às ramificações e possibilidade de bloqueio de um dos ramais da linha de vapor, portanto a aprovação e liberação para funcionamento da máquina, foi condicionada a instalação da válvula de segurança no local indicado, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Local para instalação da válvula de segurança



Fonte: Autor (2019)

## 4.2 INDUSTRIA ALIMENTÍCIA

O aquecedor foi fabricado em 2013 pela empresa ETNA Caldeiras e Aquecedores, com volume de 6000 l, pressão máxima de trabalho admissível de 4 kgf/cm<sup>2</sup> e pressão de teste hidrostático de 6 kgf/cm<sup>2</sup>, se enquadrando na categoria de risco “V”, foi fabricado conforme o código de projeto ASME SEC. VIII DIVISÃO I, os dados foram obtidos da placa de identificação fornecida pelo fabricante, conforme Figura 17, a etiqueta de inspeção periódica foi colada acima da placa de identificação.

Figura 17 - Placa de identificação do aquecedor



Fonte: Autor (2019)

Após exame visual externo no equipamento, no revestimento e nas tubulações adjacentes, foi feita a medição de espessura, sendo que a mínima espessura medida foi de 6,5 mm, acima do valor mínimo exigido.

A eficiência da válvula de segurança foi testada manualmente, garantindo a abertura e alívio da pressão, não foi constatado risco grave e eminente.

#### 4.3 FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

O resfriador de líquidos foi fabricado pela empresa HITACHI no ano de 2013, como volume interno de 420 l e pressão máxima de trabalho admissível de 10,5 kg/cm<sup>2</sup>, pertencendo a categoria de risco V.

O equipamento fica em uma área externa da fábrica, sendo exposto às intempéries, acelerando o processo de oxidação das partes metálicas, entretanto o revestimento térmico, além de melhorar a eficiência térmica do equipamento, protege a superfície externa do vaso de pressão.

Não foi observado nenhum ponto de oxidação no exterior do equipamento, as válvulas de seguranças foram acionadas e tiveram sua abertura na pressão de calibração, abaixo da pressão máxima de trabalho admissível, o manômetro instalado na linha estava em boas condições e apresentou bom funcionamento.

Figura 18 - Placa de identificação do resfriador



Fonte: Autor (2019)

#### 4.4 FÁBRICA DE PRODUTOS HOSPITALARES

O compressor estava em operação há muito tempo e precisou ser reformado para continuar operando na pressão desejada.

Devido o reparo com solda, o equipamento foi preparado com tampões na entrada e nas saídas, para realização do teste hidrostático com bomba manual, aplicando e mantendo o vaso pressurizado durante 30 minutos a 180 psi (uma vez e meia a pressão de trabalho admissível), não houve nenhum tipo de vazamento.

Após verificação da estanqueidade, foi instalada uma nova válvula de segurança calibrada e manômetro com visor de 63 mm de diâmetro, também foi medida e registrada a espessura em diversos pontos da parede de pressão do equipamento, principalmente na região que sofreu o reparo.

O equipamento atendeu todos os requisitos de segurança e deve ser instalado conforme o item 13.5.2 da Norma Regulamentadora N° 13.

Figura 19 - Placa de identificação do compressor



Fonte: Autor (2019)

#### 4.5 CONSTRUÇÃO CIVIL

O reservatório vertical de ar comprimido tem a capacidade de armazenar 2 m<sup>3</sup> de ar com pressão de até 10,5 bar, sendo enquadrado na categoria 4 de risco, o equipamento foi fabricado pela empresa Atlas Copco em 2007, a placa de identificação fornecida pelo fabricante está apresentada na Figura 20.

Figura 20 - Placa de identificação do pulmão de ar



Fonte: Autor (2019)

Desde que foi instalado na empresa, foram realizadas inspeções periódicas, além de acompanhamento e drenagem correta pela equipe de manutenção, proporcionando boas condições de operação e conservação.

O reservatório está instalado em local coberto e apresentou boa conservação na pintura e valores constantes de espessura da parede de pressão, que foi fabricada com chapas de 9,5 mm e o valor mínimo medido durante a inspeção foi de 9,0 mm, a válvula de segurança também foi calibrada periodicamente, obedecendo os prazos estipulados pelo profissional habilitado.

#### 4.6 CONFECÇÃO DE ROUPAS

O compressor inspecionado, havia sido instalado há pouco tempo na empresa, sendo fabricado em 2017, conforme o código ASME SEC. VIII DIVISÃO I Edição 2015, com

volume de 200 l e com a finalidade de produção de ar comprimido, as informações foram obtidas pela placa de identificação fornecida pelo fabricante, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Placa de identificação do compressor



Fonte: Autor (2019)

Para drenagem de condensado, o compressor conta com sistema automático, otimizando a eficiência do equipamento e garantindo que não haja acúmulo de água na parte inferior, fato que pode acelerar a corrosão interna e diminuir a vida útil do equipamento.

O local de instalação é coberto, com ventilação adequada e controle de acesso e está apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Local de instalação



Fonte: Autor (2019)

Foi fornecido o livro de segurança, para registro das demais inspeções periódicas, extraordinária e qualquer alteração capaz de influenciar nas condições de segurança do equipamento.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho de graduação teve como objetivo demonstrar a aplicação prática da Norma Regulamentadora Nº 13 em vasos de pressão de diversos segmentos industriais, sendo eles: papel e celulose, indústria alimentícia, fábrica de peças automotivas, fábrica de produtos hospitalares, indústria química e confecção de roupas.

Por meio de um estudo de caso, foi evidenciada a abrangência e a importância das normas regulamentadoras, que são obrigatórias para todas as empresas privadas e públicas que possuam empregados registrados pela Consolidação das Leis do Trabalho - CLT.

A Norma Regulamentadora Nº 13 define aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção de vasos de pressão, foram apresentados seis equipamentos com finalidades distintas, que se enquadram nos requisitos da norma, reforçando a ampla aplicação das normas regulamentadoras atribuídas aos engenheiros mecânicos em seus trabalhos práticos.

## REFERÊNCIAS

- TOMAZINI, G. A. **Diretrizes básicas para projetos de vasos de pressão segundo a ASME**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/124243/000822633.pdf>. Acesso em: 27 maio 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15417**: vasos de pressão: inspeção de segurança em serviço. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15824**: ensaios não destrutivos: ultrassom: procedimento para medição de espessura. Rio de Janeiro: ABNT, 2020
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 334**: ensaios não destrutivos: líquidos penetrantes: detecção de descontinuidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 339**: ensaios não destrutivos: ensaio de emissão acústica (EA) em vaso de pressão metálico durante o ensaio de pressão: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 670 p.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **NR n°1**: disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais. Brasília, 2020.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **NR n° 13**: caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento. Brasília, 2019.
- TELLES, P. C. S. **Vasos de pressão**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC: Livros Técnicos e Científicos, 2007.
- 40 ANOS de prevenção: 8 milhões de acidentes evitados depois das NRs. **Revista CIPA**, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://revistacipa.com.br/40-anos-de-prevencao-8-milhoes-de-acidentes-evitados-depois-das-nrs/> . Acesso em: 27 maio 2020.