



VALIDAÇÃO DE UM VASO DE PRESSÃO POR MÉTODO E CÁLCULO CONFORME A ASME SEÇÃO VIII E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E DESTRUTIVOS

Geovani Dal Molin Alves ¹

Adelor Felipe Da Costa ²

Resumo: O estudo realizado é referente a normas técnicas nacionais e internacionais relacionado a vasos de pressão. Estes dispositivos são reservatórios que em geral destinam-se para o armazenamento de fluidos líquidos ou gasosos, sendo que sua pressão interna é maior que a pressão atmosférica e que são utilizados em diversos setores da indústria em geral. A norma internacional utilizada para esse estudo foi a ASME Seção VIII, Divisão 1 onde, a mesma serve de parâmetro para a produção da grande parte desses equipamentos, utilizando-a para definição de metodologias de fabricação, cálculos de pressão máxima e espessura mínima, ensaios de validação e metodologias de inspeções. Já em âmbito nacional, a norma utilizada para regulamentar os vasos de pressão é a Norma Regulamentadora número 13. A NR-13 como é denominada determina critérios técnicos de instalação, operação, inspeção e manutenção. O equipamento avaliado nesse estudo, foi um reservatório de ar comprimido, que não possuía placa de identificação e nenhum histórico de fabricação e inspeções. Foi realizado cálculos e ensaios no equipamento para a definição da sua Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA), e após os cálculos de pressão máxima, foi definido a realização do teste hidrostático. Esse ensaio abrange as duas normas citadas acima para validação e liberação do equipamento para comercialização e utilização no ambiente fabril. Para a metodologia do teste hidrostático foi utilizada uma outra norma nacional a N-2688, uma norma da Petrobras que define os critérios para determinação das condições a serem utilizadas na execução de teste de pressão.

Palavras-chave: Segurança; Normas Técnicas; Engenharia; Manutenção

¹ Graduando em Engenharia Mecânica no semestre letivo de 2023-01. E-mail: geovani.dalmolin@hotmail.com

² Adelor Felipe da Costa. E-mail: adelor.costa@satc.edu.br



1 INTRODUÇÃO

No contexto social brasileiro da atualidade, a presença da Indústria, como um todo, tornou-se tão importante quanto perceptível para o crescimento sustentável da sociedade. Em se tratando deste cenário, diversas são as ramificações presentes no cotidiano do setor industrial, bem como a diversificação plural dos maquinários e recursos tecnológicos que o compõe. Sendo assim, compreender o funcionamento destas tecnologias que insurgem no dia a dia, juntamente com todas as características técnicas que as integram, pode assegurar um crescimento econômico dinâmico, além de garantir a segurança dos colaboradores que lidam com as mesmas diariamente.

Um dos recursos mais amplamente utilizados pela Indústria nacional em se tratando do aspecto da automação industrial e da pneumática em geral, além de largamente difundido pelo mundo, é o vaso de pressão. Este dispositivo consiste em um reservatório que apresenta dimensionamento customizado a cada utilização especificada, mas que, em geral, destina-se ao armazenamento de fluidos, sejam líquidos ou gasosos, em pressão diferente da atmosférica. No Brasil, a norma responsável por estabelecer requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural vasos de pressão, é a NR-13 que, visa a segurança dos trabalhadores, estabelece diversos aspectos necessários aos fatores de inspeção, segurança e operação. Afora o Brasil, existe o conjunto de normas que lidam com processo de fabricação dos vasos de pressão uma delas é a seção VIII da Associação Americana de Engenheiros Mecânicos, do inglês *The American Society of Mechanical Engineers* – ASME.

Neste contexto, diversos são os setores que fazem uso desta tecnologia, porém um dos problemas mais identificados nas indústrias em geral é a falta de documentação original e um histórico de inspeções dos vasos de pressão. A falta de dessas documentações nas empresas, acabam gerando problemas nas fiscalizações de órgãos públicos, certificação de normas internacionais, auditorias internas e externas. Não conformidades nessas fiscalizações ocasionam problemas financeiros para as empresas, que serão passíveis desde multas ou até mesmo interdição do equipamento. Um outro fator de não cumprir as normas de fabricação e inspeção é os riscos de acidentes que esses equipamentos podem ocasionar, levando a empresa a



ter prejuízos de cunho patrimonial, ambiental e/ou acidentes de trabalho que podem ser com afastamento ou até mesmo morte de colaborador da empresa.

O equipamento que foi utilizado nesse estudo não possuía nenhum histórico de documentação, sendo do processo de fabricação ou mesmo de inspeções periódicas. A utilização desse vaso de pressão na indústria poderia ocasionar todas as intempéries citadas. Para tornar esse vaso apto novamente para entrar em operação, requisitos mínimos de segurança foram adotados, e partir de medições feitas no equipamento, ensaios não destruíveis de medição de espessura da chapa do corpo e tampos, avaliação de ultrassom nas soldas, foram refeitos cálculos de Pressão Máxima utilizando a norma de fabricação ASME. Para validar a metodologia utilizada nos cálculos foram realizados outros dois tipos de testes destrutivos, utilizando a N-2688 da Petrobras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente, para obtenção distintiva e centralizada do questionamento base que serviu de origem para a proposta designada, estudou-se algumas propostas devidamente documentadas por estudantes do curso de graduação em engenharia mecânica, como projetos de graduação onde foi realizado uma compilação analítica sobre as diretrizes necessárias em projetos de vasos de pressão, além de discentes mestrados na mesma área anteriormente citada, como dissertações de testes hidrostáticos específico em vasos de pressão pré-determinados (FILHO, 2004; TOMAZINI, 2015).

Em sequência à análise citada, segundo Bazzo e Pereira (2006), determinou-se que seria necessário conhecer a natureza construtiva dos projetos designados para os itens analisados, portanto, sendo assim, buscou-se fontes que se propunham a trazer regularizações para tal fim. Desta forma, em se tratando deste objetivo, primeiramente determinou-se um escrutínio das normas nacionais, e encontrou-se a Norma Regulamentadora de número treze, ou NR-13, que determina os critérios técnicos de instalação, operação, inspeção e manutenção de vasos de pressão e outros itens. Esta busca inicial foi fundamental para compreender como os vasos de pressão se dispõem no conjunto da engenharia moderna do Brasil. Após esta etapa ser concluída, regulamentações internacionais foram buscadas, e a Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos, sendo inicialmente do inglês *The*



American Society of Mechanical Engineers – ASME – forneceu os parâmetros mínimos necessários para construção e de uma análise mais criteriosa dos vasos de pressão, o que foi primordial para alcançar uma compreensão mais ampla dos mesmos itens em questão.

A ASME que é uma norma internacional subdividida em 37 seções de ramos específicos, é responsável por certificar empresas desde 1916 ligadas a indústria de equipamentos pressurizados, atestando que os produtos, serviços e sistemas de qualidade atendem aos requisitos mínimos da norma. A Seção VIII desta norma, define todo procedimento e regras para construção de vasos de pressão, e a primeira divisão dessa seção é o que foi adotado para definição do memorial de cálculo de pressão máxima de trabalho admissível que um vaso de pressão pode suportar. Com essas informações, a ASME Seção VIII, Divisão 1, foi de parâmetro para grande parte das informações.

Para o cálculo de definição da pressão máxima, foi utilizado a Eq. (1) que é referente a pressão máxima do corpo e a Eq. (2) que é utilizada para definir a pressão máxima dos tampos, conforme o INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, Vasos de Pressão. Código ASME para caldeiras e vasos de pressão, Rio de Janeiro, 1983, volume [1].

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

Onde:

P = Pressão de Projeto (kgf/cm²);

S = Valor da tensão máxima admissível do material (kgf/cm²);

E = Eficiência apropriada de junta em cascos cilíndricos

t = Espessura mínima do casco (mm);

R = Raio interno do anel do casco (mm).

$$P = \frac{2 * S * E * t}{L * M + 0,2 * t} \quad (2)$$

Onde os dados diferentes a serem utilizados em relação a Eq. (1) são:

L = Raio da Coroa dos tampos (mm);

M = Coeficiente (L/r)

A ASME Seção VIII define também qual o tipo de coeficiente de solda a ser utilizados nos cálculos, esse coeficiente modifica por diferentes metodologias de ensaios aplicados ou não no processo de fabricação do equipamento. A tabela (1)

define e cita os procedimentos e os valores que se dever usar a cada caso de específico.

Tabela 1: Eficiência de solda.

Eficiências de junta máximas admissíveis para as juntas soldadas por processos de soldagem a arco e gás

| Nº: | Descrição do tipo da junta | Limitações | Grau de exame | | |
|-----|--|---|--------------------------------------|---|------------------------------------|
| | | | (a) Radiografia total (Nota 1) | (b) Radiografia por amostragem (Nota 2) | (c) Sem radiografia (Nota 3) |
| (1) | Juntas de topo conforme obtidas por soldagem dos dois lados ou por outros processos, com os quais se obtém a mesma qualidade de metal de solda depositado nas superfícies interna e externa da solda, a fim de atender aos requisitos da UW-35. Estão excluídas as soldas que utilizam cobrejuntas não removidos após a soldagem | Nenhuma | 1,00 | 0,85 | 0,70 |
| (2) | Juntas de topo soldadas de um lado com cobrejunta diferente dos incluídos acima | (a) Nenhum exceto conforme (b) abaixo (b) Solda de topo com recalçamento (contrajeito) de uma das chapas – somente para juntas circunferenciais – ver UW-13(c) e Fig. UW-13.1(k) | 0,90 | 0,80 | 0,65 |

Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, Vasos de Pressão. Código ASME para caldeiras e vasos de pressão, Rio de Janeiro, 1983, volume [1].



O Brasil atualmente, adota como padrão o código ASME, que é uma das exigências de um vaso de pressão estar de acordo com a NR-13. Essa norma brasileira determina os requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão e suas tubulações de interligação ligados à operação, inspeção, instalação e manutenção. A NR-13 proporciona para as indústrias maior segurança operacional, de manutenção, ambiental, gestão de segurança para os operadores de equipamentos e sociedade civil, se for seguida de forma correta, prezando pela segurança de todos.

A NR-13 divide em 04 áreas de atuações que são Caldeiras, Vasos de Pressão Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento, e cada uma com normas específicas e itens a serem seguidos. A norma define parâmetros mínimos para a quais equipamentos e tubulações a mesma deve ser aplicada no subitem 13.2.1. Nesse subitem em relação a vasos de pressão o que se deve ser avaliado devem ser as alíneas “b”, “c” e “d”. A alínea “a” citada é referente ao cálculo onde, vasos de pressão cujo produto $P.V$ seja superior a 8 (oito), onde P é o módulo da pressão máxima de operação em kPa e V o seu volume interno em m^3 . A alínea “c” e “d” já se refere a produtos que armazenam fluídos de classe A, que especificados na alínea “a” do subitem 13.5.1.1.1. O subitem 13.5 da NR-13 é aonde está as disposições gerais e tudo que se aplica a vasos de pressão nessa NR.

Após a definição de normas, foi necessário compreender o comportamento técnico e as características dos materiais que podem vir a ser empregados na construção de um vaso de pressão. O livro base de CALLISTER, William D RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução. 8ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012, que sistematiza em uma metodologia vasta, porém de fácil compreensão, as singularidades de diversos tipos de materiais, além de especificar diversos processos químicos, mecânicos e físicos pelos quais os mesmos são submetidos.

Por consequência da pesquisa anteriormente descrita, uma dúvida mediana para o projeto foi inquirida, e esta representava o comportamento resistivo das características físicas apresentadas pelos materiais empregados nos projetos de vasos de pressão, tais como: ductibilidade, tenacidade, dureza, e entre outras. Portanto, a literatura buscada para alcançar e entender este questionamento foram os livros de resistência e mecânica dos materiais, dos autores Hibbeler e Beer



respectivamente. Para o primeiro autor, a base do conhecimento disposto foi na facilidade de compreender o comportamento físico da divisão de tensões internas, e externas, sob as quais a parede de um vaso de pressão encontra-se submetido em seu processo habitual de trabalho. Já para o outro autor, a outra metade da evidenciação de sanar as dúvidas veio por meio da descrição detalhada de como funcionam as peculiaridades das características mecânicas dos materiais, através da demonstração do gráfico de ensaio tração/deformação.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

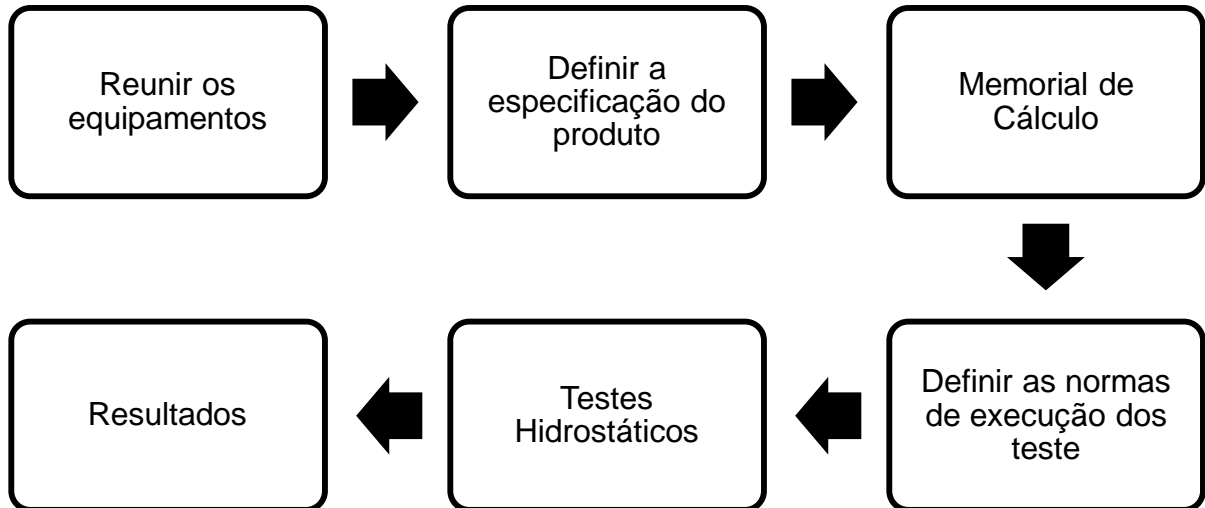
No que diz respeito ao aspecto da conceituação teórica a em relação ao procedimento de execução do teste hidrostático foi utilizado a Norma Técnica PETROBRAS N-2688 (2014), que fixa as condições mínimas exigidas para execução e os critérios para seleção e aplicação do teste hidrostático.

Uma vez que todas as informações teóricas foram reunidas, a fim de ser executado o estudo de caso de um reservatório de ar, da empresa fabricante UNIFERRO Indústria Metalúrgica LTDA, que consiste no teste destrutivo do vaso de pressão, conforme normas pré-estabelecidas, foram iniciadas as sínteses relativas ao método empregado para avaliação do item em questão.

3.1 MÉTODO

A fim de elucidar o método aplicado em conjunção com o conjunto metodológico em síntese acima descrito, foi-se elaborado o diagrama do tipo fluxograma demonstrado abaixo, na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma do método empregado.



Fonte: Autor, 2022.

3.1.1 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos necessários utilizados para execução do estudo de caso em questão foram duas bombas elétricas, a primeira responsável para induzir uma pressão superior a pressão calculada do teste hidrostático e a segunda que atingisse uma pressão de pelo menos o dobro da pressão de ruptura do material, indicadores de pressão para controle e armazenamento de dados, que foram os manômetros e transdutores de pressão, mangueiras de alta pressão para interligar os componentes do teste até o reservatório de ar, conexões de aço galvanizado de alta pressão, medidor de espessura de chapas por ultrassom e aparelho detector de falhas ultrassônico e portátil USM GO+.

Figura 2: Vaso de pressão e equipamentos utilizados para ensaios não destrutíveis e destrutíveis.



Fonte Autor, 2022.

4.1.2 NORMAS DE EXECUÇÃO DO TESTE

As normas necessárias para se realizar o teste no vaso de pressão são N-2688 da Petrobras e ASME Seção VIII Divisão 1. Utilizando da Norma ASME e dados coletados do equipamento, como dimensões e espessura da chapa do corpo e tampos do vaso, foi identificado as fórmulas necessárias para realizar o cálculo de pressão máxima do equipamento.

A norma da Petrobras N-2688, foi utilizada para metodologia dos ensaios hidrostáticos que foram realizados no equipamento, definindo parâmetros de pressão por tempo que foram aplicadas.

4.1.3 ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

O equipamento a ser utilizado no proposto trabalho é constituído de aço SAE 1006/1010, em chapa fina quente, material fornecido pelo fabricante do item em questão.

Os aços SAE 1006/1010 não possuem adição alguma de liga, e conjuntamente apresentam um baixo percentual de carbono em sua composição, e, por deterem essas características, são conhecidos também como extra doce. Essa classe de material possui menor resistência, dureza e também não aceita o processo de tempera, porém, dentre suas qualidades, é possível destacar uma boa usinabilidade, facilidade em serem soldados e possuírem alta maleabilidade. (FLEC AÇO, 2022).

4.1.4 MEMORIAL DE CÁLCULO

Para a realização dos cálculos de tensão de ruptura propostos, em consonância com a literatura, para o aço SAE 1006, foi adotado o limite de escoamento (tensão de escoamento), como de sendo de aproximadamente 285 MPa. O valor admitido para a resistência a tração foi de 330 MPa (LUZ, 2017). De semelhante modo, para o aço SAE 1010, foi assumido o limite de escoamento (tensão de escoamento) de aproximadamente 305 MPa e a resistência a tração de 365 MPa.

Observa-se que para a divisão dos aços, são aplicáveis as tabelas 1A e 1B da seção II, parte D do código, da ASME Seção VIII. Sendo que, para até uma determinada temperatura específica de cada material a tensão admissível adotado para cálculo é o menor valor entre 2/3 da tensão de escoamento ou 1/3,5 da tensão de ruptura do mesmo, na temperatura de projeto do equipamento.

Para os aços em questão foi adotada a menor tensão admissível encontrada.

Tabela 2: Tensão admissível de ruptura para os aços SAE 1006/1010.

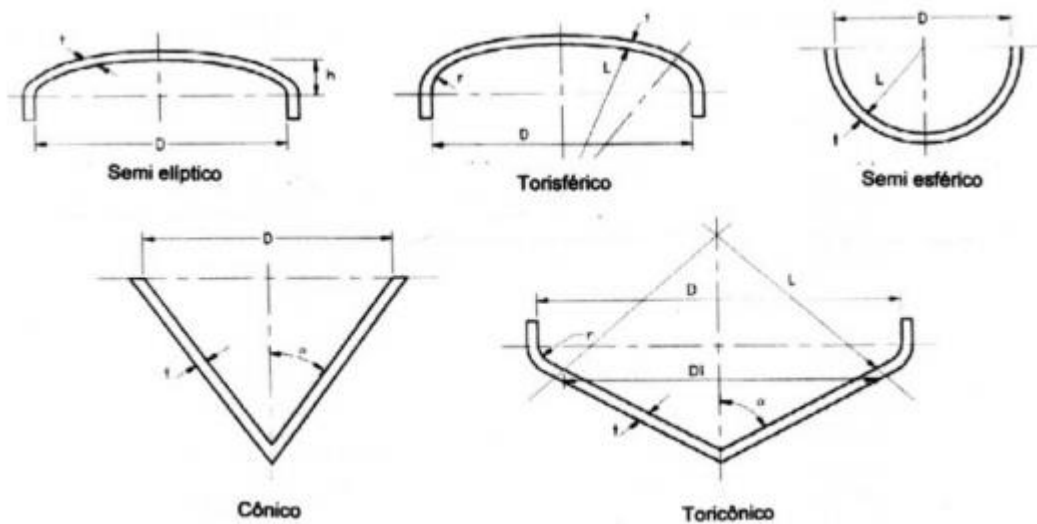
| Propriedades | | MPa | kgf/cm ² |
|--------------|----------------------------------|--------------|---------------------|
| SAE 1006 | Tensão Escoamento | 285 | 2906,19 |
| | Tensão de Ruptura | 330 | 3365,06 |
| | Tensão admissível Escoamento | 190 | 1937,46 |
| | Tensão admissível Ruptura | 94,28 | 961,44 |
| SAE 1010 | Tensão Escoamento | 305 | 3110,13 |
| | Tensão de Ruptura | 365 | 3721,96 |
| | Tensão admissível Escoamento | 203,33 | 2073,42 |
| | Tensão admissível Ruptura | 104,28 | 1063,41 |

Fonte: Autor, 2022.

Em relação a eficiência de solda adotada para o estudo de caso, foi consultada a Tab. 1 presente na literatura e em relação a solda do corpo foi utilizado o item 1, grau C, e para os tampos foi-se utilizado o item 2, grau C. Para o cálculo de definição da pressão máxima do corpo, foi utilizado a Equação (1) e dos tampos a Equação (2).

Normalmente os tampos são fabricados com o mesmo material do corpo do cilindro. Existem diferentes tipos de tampos, os principais são os Semi elíptico, Torisférico, Semi esférico, Cônico e Toricônico. A figura 3 apresenta as condições e a maneira que se deve realizar a coleta de dados para definição do tampo.

Figura 3: Geometrias adotadas para tampo.



Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, Vasos de Pressão. Código ASME para caldeiras e vasos de pressão, Rio de Janeiro, 1983, volume [1].

Onde:

D – Diâmetro interno do vaso

L – Raio da coroa

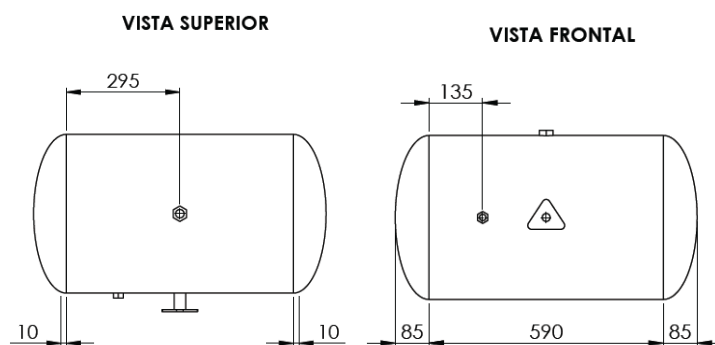
r – Raio do rebordo

h₂ – Altura da parte reta

t – Espessura do tampo

Após a coleta das medidas no reservatório de ar, definiu-se através da Tab. 3, que foi resumida para uma relação entre a altura da parte reta pelo diâmetro interno, qual o tipo de tampo que será adotado para a realização dos cálculos.

Figura 4: Desenho técnico com vistas do reservatório de ar.



Fonte: Autor, 2022.

Tabela 3: Dados do Reservatório e Tipos de Tampo.

| Dados do Reservatório de Ar | | |
|--------------------------------------|-------------|-------------|
| Diâmetro da Seção do Tampo (externo) | 413 | mm |
| h2 (comprimento total do tampo) | 85 | mm |
| Espessura Tampo | 2,20 | mm |
| D (Diâmetro Interno) | 408 | mm |
| h2/D | 0,20 | mm |
| Tipo de Tampo: | | h2/D |
| Toriférico 6% | | 0,16 |
| Toriférico 10% | | 0,19 |
| Toriférico 2:1 (Falsa Elipse) | | 0,25 |
| Elíptico 2:1 | | 0,25 |

Fonte: Autor, 2022.

O tipo de tampo Toriférico 10% foi o que mais se aproximou nos cálculos, então foi adotado esse formato de tampo para a sequência de cálculos. Após a definição do tipo de tampo, foi preenchida a Tab.4.

Tabela 4: Descrição dos parâmetros escolhidos para memorial de cálculo PMTA.

| Descrição | Símbolo | CORPO | TAMPOS | Unidade |
|--------------------------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|
| Forma Construtiva: | - | Cilíndrico | Toriférico 10% | - |
| Material (Classe): | - | SAE 1006 | SAE 1006 | - |
| Tensão Admissível do Material: | S | 961,44 | 961,44 | kgf/cm ² |
| Eficiência da Junta/Solda: | E | 0,70 | 0,65 | - |
| Raio Interno (Seção CORPO): | Rc | 204 | - | mm |
| Raio da Coroa (Seção TAMPOS): | L | - | 207 | mm |
| Coeficiente | M | - | 1,31 | mm |
| Espessura mínima inspecionada: | Ti | 2,30 | 2,20 | mm |

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 5: PMTA do corpo e tampo

| PMTA (kgf/cm²) Considerando ti (espessura inspecionada) | | | |
|---|--|-------|------------------------|
| Corpo | $P1 = (S \cdot E \cdot t) / (R + 0,6 \cdot t)$ | 7,53 | (kgf/cm ²) |
| Tampo | $P2 = (2 \cdot S \cdot E \cdot t) / (L \cdot M + 0,2 \cdot t)$ | 10,12 | (kgf/cm ²) |

Fonte: Autor, 2022.

4.1.5 TESTE HIDROSTÁTICO

A fim de seguir regulamentos pré-definidos, a pressurização do vaso de pressão deve ser realizada gradativamente, até a pressão final do teste, e ao longo



dessa elevação gradativa deve-se observar aspectos como: vazamentos, abaulamentos, trincas superficiais. Para fins de referência a pressão final do teste foi definida como 1,5 PMTA. Após atingir a pressão final do teste, o vaso deverá se manter pressurizado, por um período suficiente para que o profissional habilitado responsável pelo teste possa verificar as condições do vaso como vazamentos no corpo, trincas superficiais e abaulamentos.

Tabela 6: Pressão para o teste hidrostático.

| | | |
|----------------------------------|---------------|------------------------------|
| PRESSÃO DE TESTE HIDROSTÁTICO | PTH= 1,5*PMTA | 11,29 (kgf/cm ²) |
|----------------------------------|---------------|------------------------------|

Fonte: Autor, 2022.

4.1.6 PRESSÃO MÁXIMA SEM COEFICIENTE DE SEGURANÇA E TESTE DESTRUTIVO

Para a realização dos cálculos, foi considerada a menor tensão de ruptura, não considerando a tensão admissível com o coeficiente de segurança. Em informações obtidas do fabricante do reservatório de ar, sustente uma pressão de 40 kgf/cm².

Tabela 7: Tensão de ruptura dos aços 1006 e 1010.

| Material | Propriedade | MPa | kgf/cm ² |
|--------------|-------------------|-----|---------------------|
| Aço SAE 1006 | Tensão de Ruptura | 330 | 3365,06 |
| Aço SAE 1010 | Tensão de Ruptura | 365 | 3721,96 |

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 8: Descrição dos parâmetros escolhidos para memorial de cálculo pressão de ruptura.

| Descrição | Símbolo | CORPO | TAMPOS | Unidade |
|--------------------------------|---------|------------|----------------|---------------------|
| Forma Construtiva: | - | Cilíndrico | Toriférico 10% | - |
| Material (Classe): | - | SAE 1006 | SAE 1006 | - |
| Tensão Admissível do Material: | S | 3365,06 | 3365,06 | kgf/cm ² |
| Eficiência da Junta/Solda: | E | 0,70 | 0,65 | - |
| Raio Interno (Seção CORPO): | Rc | 204 | - | mm |
| Raio da Coroa (Seção TAMPOS): | L | - | 207 | mm |
| Coeficiente (L/r) | M | - | 1,31 | mm |
| Espessura mínima inspecionada: | Ti | 2,30 | 2,20 | mm |

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 9: PMTA do corpo e tempo para o teste de ruptura.

| PMTA (kgf/cm²) Considerando <i>t_i</i> (espessura inspecionada) | | |
|---|--|------------------------------|
| Corpo | $P1 = (S \cdot E \cdot t_i) / (R_c + 0,6 \cdot t_i)$ | 26,35 (kgf/cm ²) |
| Tampo | $P2 = (2 \cdot S \cdot E \cdot t_i) / (L \cdot M + 0,2 \cdot t_i)$ | 35,52 (kgf/cm ²) |

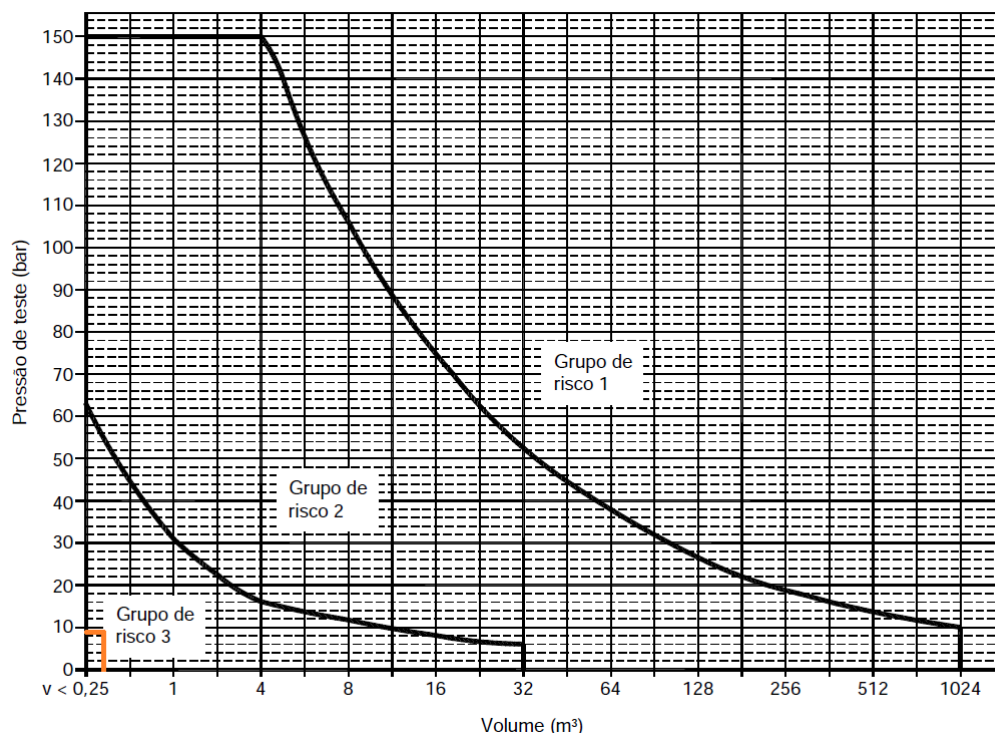
Fonte: Autor, 2022.

Os dados adotados no estudo foram os mais críticos devido à falta de informações adicionais repassadas pelo fornecedor do equipamento, para eficiência de solda, tensão de ruptura do equipamento o menor valor foi adotado para o memorial de cálculo.

4.1.7 PROCEDIMENTO PARA A REALIZAÇÃO DO TESTE HIDROSTÁTICO PRESSÃO X TEMPO, CONFORME A NORMA PETROBRAS N-2688 (2014)

A N-2688 define parâmetros mínimos exigidos para a realização de um teste hidrostático em um vaso de pressão. O primeiro parâmetro que foi estudado foi o grupo de risco que se enquadra o equipamento, como mostra na figura 5 o grupo de risco foi o de número 3.

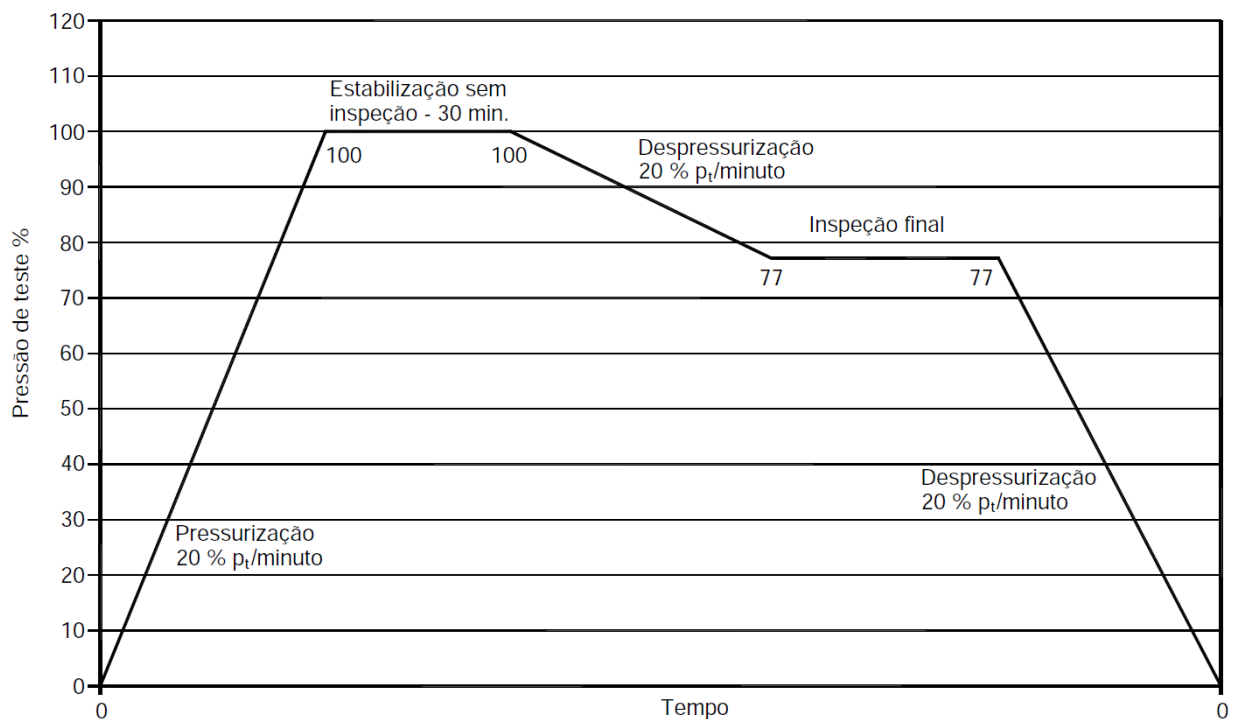
Figura 5: Grupo de risco para testes de pressão em vasos de pressão, utilizando pressão em bar e volume em m³.



Fonte: PETROBRAS, Teste de Pressão em Serviço de Vasos de Pressão e Caldeiras, N-2688, 08/2014, revisão [B].

Equipamentos que se enquadram no grupo de risco 3, não necessitam isolamento de área para a realização do teste de pressão. Após definido o grupo de risco e a não necessidade de isolamento, a figura 6 estabelece o procedimento de pressurização por tempo para a realização do teste hidrostático. A pressurização do equipamento para esse grupo de risco, se dá por uma elevação de 20% da pressão de teste hidrostático por minuto. Ao atingir a pressão de teste hidrostático ocorre a estabilização da pressão por 30 minutos, mantendo nesse momento o vaso pressurizado sem a realização de inspeção. A despressurização do equipamento é feita em duas etapas, porém tendo como padrão a taxa de 20% por minuto de variação da pressão. Houve a despressurização de 33% da pressão, e a estabilização nesse valor para que seja realizado uma inspeção na estrutura do vaso, logo após essa inspeção é realizada a despressurização total.

Figura 6: Gráfico do teste hidrostático pressão por tempo para grupo de risco 3.



Fonte: PETROBRAS, Teste de Pressão em Serviço de Vasos de Pressão e Caldeiras, N-2688, 08/2014, revisão [B].

Com a metodologia de testes prontos foram realizados os testes hidrostáticos para comprovação da pressão máxima calculada e o teste destrutivo para avaliar se os dados utilizados no estudo estavam dentro de um parâmetro mínimo de segurança.

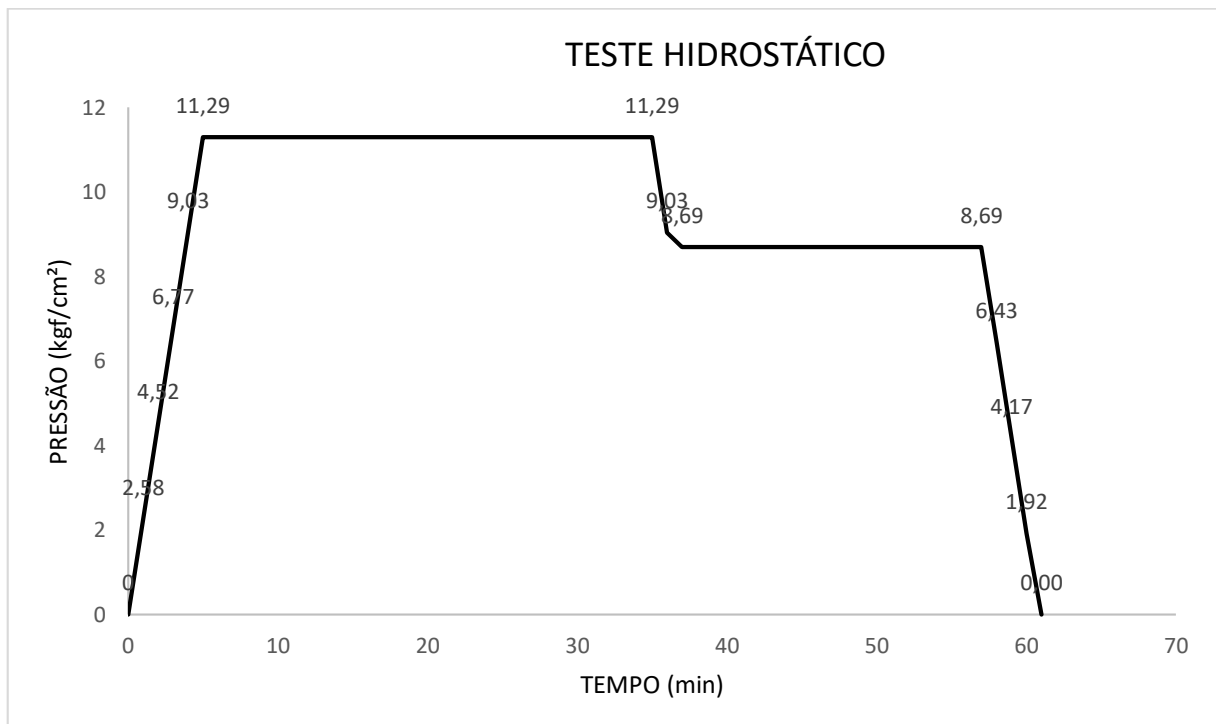
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa etapa do artigo, serão apresentados os resultados obtidos a partir das predefinições de cálculos e procedimentos de testes e com isso comparado os mesmo com os valores de ensaios práticos.

A partir de dados coletados inicialmente e definidos os valores mais críticos para a realização de cálculos referente ao vaso, ficou definido nas equações 01 e 02 qual seria a PMTA do equipamento e com isso aplicando os critérios de aceitação da ASME Seção VIII – Divisão 1 foi utilizado também o maior valor do teste hidrostático a ser realizado que foi de 1,5 vezes a PMTA, esses valores se encontram nas tabelas 5 e 6.

Os valores calculados para o teste e os valores obtidos no mesmo, foram de uma proximidade aceitável, devido a variação de pressão que a bomba elétrica ocasionou na hora de pressurizar o vaso, a faixa de pressurização da figura 8 que foi retirada do programa Log Chart II, ficou próximo dos valores calculados da figura 7.

Figura 7: Gráfico do teste hidrostático calculado de pressão por tempo para grupo de risco 3.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 8: Gráfico do teste hidrostático realizado pelo programa LogChart II.



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 10: Valores retirados do gráfico para melhor visualização.

| Horário em minutos (Eixo X) | Pressão em bar (Eixo Y) |
|-----------------------------|-------------------------|
| 16:51 | 0,0 |
| 16:53 | 5,5 |
| 16:56 | 9,8 |
| 16:57 | 11,4 |
| 17:12 | 11,3 |
| 17:13 | 7,9 |
| 17:18 | 7,9 |
| 17:20 | 0,0 |

Fonte: Autor, 2023.

Nota-se que a unidade de medida utilizada no gráfico calculado e no gráfico apresentado pelo programa LogChart II são diferentes, o transdutor utilizado para o teste sua unidade de medida era em bar e a unidade de medida nos cálculos foi kgf/cm^2 . Mas a diferença em transformação de uma unidade para outra é baixa, então para o teste foi considerado que a diferença obtida não interfere no resultado final.

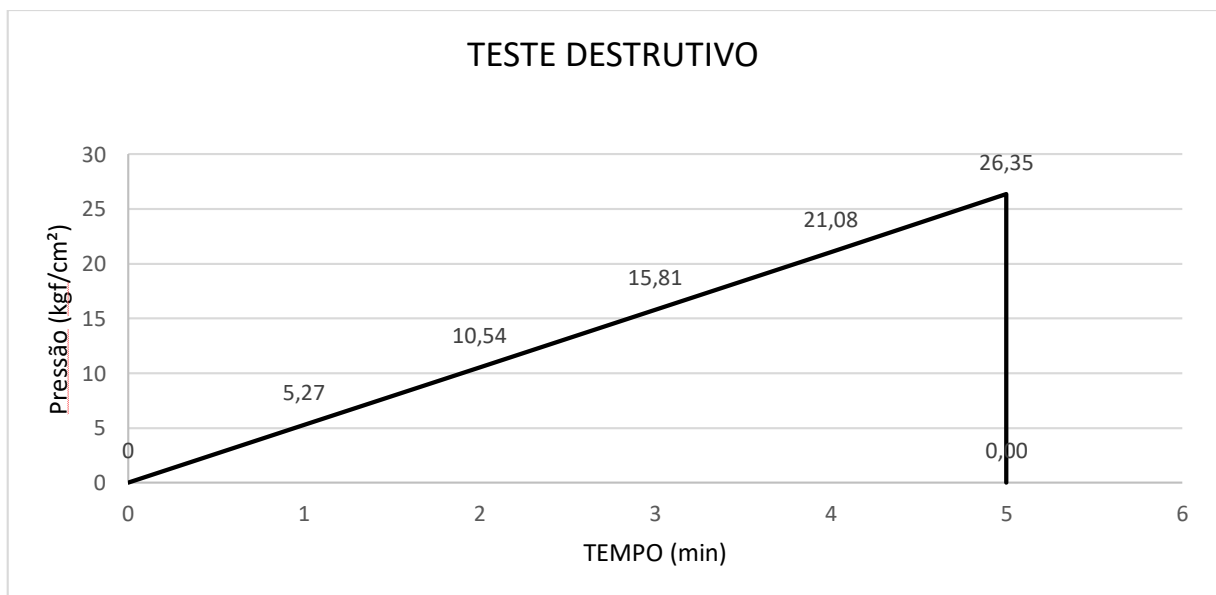
A figura 8 demonstra que o equipamento foi aprovado, manteve a estanqueidade durante o tempo desejado no teste hidrostático. Para equipamentos como desse estudo, a comprovação que o mesmo suportou sem ressalvas um teste destrutivo, demonstra que mesmo não possuindo histórico de fabricação e inspeção

o vaso está apto para poder entrar em operação não apresentando riscos para trabalhadores que estarão realizando suas atividades próxima a ele.

Na sequência dos testes realizados no equipamento, um outro teste destrutivo foi realizado, que foi o teste de ruptura do equipamento. O ensaio de ruptura foi realizado para poder comprovar que os dados que podem ser variáveis nos cálculos de pressão máxima do corpo e tampos do equipamento estão dentro dos valores aceitáveis. A tensão admissível do material é um dos valores que podem variar, pois o fabricante do equipamento indicou que o mesmo é fabricado em aço SAE 1006 e 1010, então o valor mais crítico desses matérias é o que foi adotado, e o outro valor que é variável nesse cálculo é o coeficiente de solda do corpo e tampos. Como o fabricante não encaminhou dados do processo de soldagem e dos testes realizados no processo de fabricação, foram colocados os valores de grau C da tabela 1, sendo eles os mais críticos.

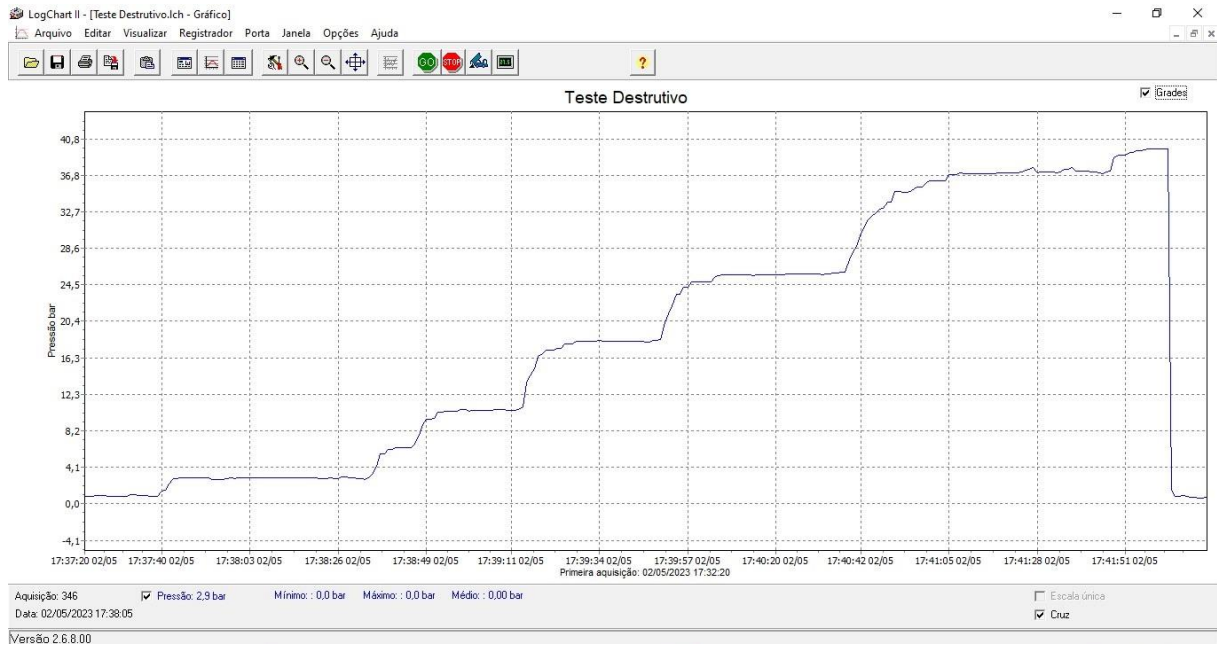
Seguindo o mesmo procedimento de pressurização que foi utilizado no teste hidrostático, na figura 9 temos o gráfico calculado. A figura 10 apresenta o gráfico real de teste de ruptura realizado.

Figura 9: Gráfico do teste de ruptura calculado.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 10: Gráfico do teste de ruptura realizado.



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 11: Valores retirados do gráfico para melhor visualização.

| Horário em minutos (Eixo X) | Pressão em bar (Eixo Y) |
|-----------------------------|-------------------------|
| 17:35 | 0,9 |
| 17:38 | 10,2 |
| 17:39 | 17,4 |
| 17:40 | 25,6 |
| 17:41 | 36,2 |
| 17:42:02 | 39,7 |
| 17:42:03 | 1,6 |
| 17:42:04 | 0,9 |

Fonte: Autor, 2023.

Os valores obtidos nos testes foram diferentes, isso se deu por causa dos valores mais críticos que foram adotados para cálculos, o valor de ruptura real onde houve o rompimento do vaso com uma pressão de 39,7 bar, foi superior ao valor calculado e com isso aprova os dados obtidos utilizados nos cálculos anteriores de pressão máxima.

Para o teste de ruptura foi realizado um ensaio de ultrassom nas soldas do vaso, com o aparelho detector de falhas ultrassônico e portátil USM GO+, para poder identificar possíveis locais com maior fragilidade de solda e onde poderia acontecer o rompimento. Na figura 11 foi identificado um possível ponto crítico de ruptura.

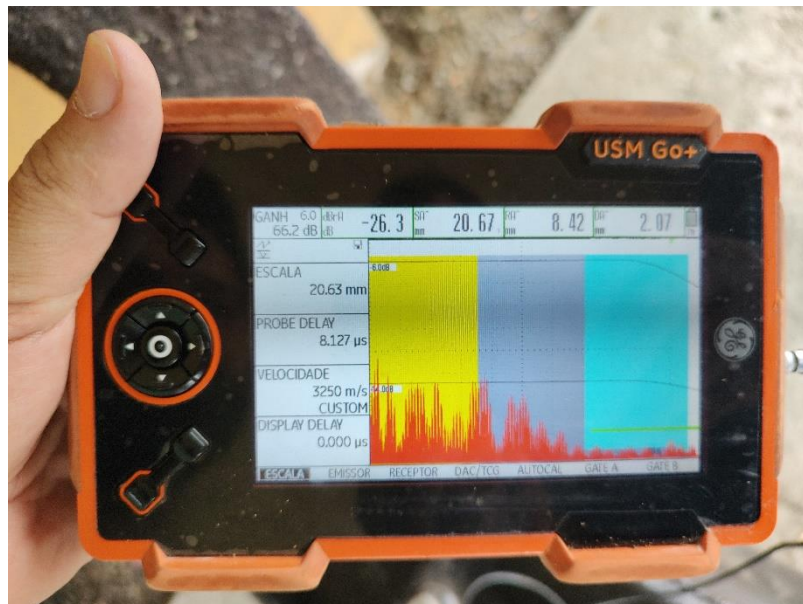
Figura 11: Local de indicação de falha de solda no vaso de pressão.



Fonte: Autor, 2023.

Nas figuras 12 e 13, temos a análise do aparelho de ultrassom, onde a primeira mostra a análise de uma solda aprovada no vaso e a segunda do local onde foi destacado na figura 11, parte essa que foi reprovada a solda.

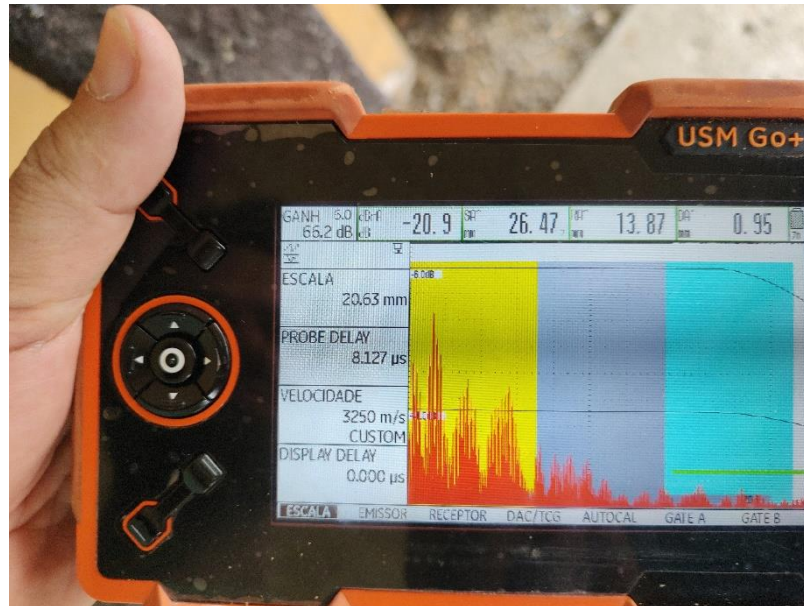
Figura 12: Análise de solda através de ultrassom.



Fonte: Autor, 2023.

Conforme foto a solda apresenta inclusão de escória, critério de aceitação ASME VIII, aprovado, transdutor de 70° 4mhz – 8 x 9 mm, curva DAC 2,5 mm.

Figura 13: Análise de solda através de ultrassom.



Fonte: Autor, 2023.

Conforme foto a solda apresenta falta de penetração, critério de aceitação ASME VIII, reprovado, transdutor de 70° 4mhz – 8 x 9 mm, curva DAC 2,5 mm.

Na figura 14, temos o local onde houve a ruptura do vaso, comprovando que a figura 11 onde indica o local dos dados mostrados na figura 13 era o ponto com maior probabilidade de ruptura.

Figura 14: Local de ruptura do vaso.



Fonte: Autor, 2023.

A análise obtida através dos testes realizados, foi possível identificar que os valores obtidos estão dentro de um parâmetro desejado de segurança para que o vaso de pressão pudesse entrar em operação. O teste de ruptura com pressão acima



da pressão calculada, mostrou que os dados críticos adotados foram aprovados, se a ruptura tivesse acontecido com pressão menor que a calculada, os dados utilizados não seriam aprovados e o valor da PMTA poderia colocar em risco a segurança de pessoas que o utilizasse.

6 CONCLUSÃO

Vasos de pressão são dispositivos extremamente importantes para os dias atuais, uma vez que estão presentes nas mais diversas aplicações industriais vitais à sociedade contemporânea.

Em vista deste fato, portanto, é fundamental conhecer as normas técnicas que regulam a parametrização conceitual dos fatores relacionados ao projeto, inspeção, operação e manutenção dos dispositivos em questão, a fim de assegurar o correto funcionamento, a segurança proveniente e o lucro esperado.

Neste contexto é tarefa atribuída ao profissional de engenharia conhecer e interpretar as informações recebidas das mais diversas fontes, a fim de garantir, por vezes de forma preditiva, o correto funcionamento do maquinário a ele confiado.

Quando não se tem um histórico de fabricação do vaso de pressão, a realização de ensaios não destrutíveis e destrutíveis, se tornam essenciais para obter informações e resultados que tornam o equipamento apto para utilização com segurança. A norma de fabricação ASME Seção VIII, é de suma importância para definição de cálculos para se definir o valor de pressão máxima de trabalho admissível do equipamento, já normas nacionais definem procedimentos para testes destrutíveis.

Através do ensaio destrutivo realizado, ficou comprovado que os cálculos realizados para definição da PMTA foram aprovados, podendo assim comprovar que o vaso de pressão, exemplificado através do reservatório de ar, é um dispositivo que requer extrema segurança e confiabilidade em toda sua cadeia processual, pois é de considerável risco sua operação, caso as normas de regulamentação não sejam seguidas.

Além desta consideração inicial, pode-se observar que o teste destrutível, é relativamente simples se contrastado com o potencial danoso de operação em



regime não amparado pela norma técnica vigente, além de representar um prejuízo significativo para a indústria que assim o emprega.

REFERÊNCIAS

BAZZO, Walter A; PEREIRA, Luiz T. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica dos materiais**. 5ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CALLISTER, William D; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 8ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ÇENGEL, Yunus A. CIMBALA, John M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: AMGH, 2012.

Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/2022/portaria-ndeg-1-846-nova-nr-13.pdf> Acesso em: 01 de novembro de 2022.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análises de circuito**. 2ed. São Paulo: Érica, 2003.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação pneumática: projetos, dimensionamento e análises de circuito**. 2ed. São Paulo: Érica, 2003.

FLEC AÇO. **Produtos**. Disponível em: <https://www.flecaco.com.br/site/produtos.php?item=78>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

FILHO, José dos Santos Pereira. **Análise de efeito de testes hidrostáticos em vasos de pressão**. Dissertação (mestrado) – Programa de pós graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, **Vasos de Pressão. Código ASME para caldeiras e vasos de pressão**, Rio de Janeiro, 1983, volume [1].

LUZ, Gelson. **Aço AISI 1006 Propriedades Mecânicas e Composição Química**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/09/aco-aisi-1006-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

LUZ, Gelson. **Aço SAE 1010 Propriedades Mecânicas e Composição Química**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/09/aco-sae-1010-propriedades-mecanicas_93.html. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos materiais**. 7ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

PETROBRAS, **Inspeção de Sistemas e Equipamentos em Operação SC-23**. Teste de pressão em serviço de vasos de pressão e caldeiras, 08/2014, N-2688, Revisão B.



TOMAZINI, Guilherme Abreu. **Diretrizes básicas para projetos de vasos de pressão segundo a ASME.** Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.