UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica

Relatório de Estágio Profissional

Análise e Melhoria do Procedimento de Teste Hidrostático em Vasos de Pressão: Estudo de Caso em um Trocador de Calor - Sasol Gás

Autor:

MACÁRIO, Anatólio Esténio Alberto

Supervisor da faculdade:

Engº. Roberto David

Supervisor da Engprojects:

Engº. Rendes Esténio Alberto Macário

Maputo, Novembro de 2024

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica

Relatório de Estágio Profissional

Análise e Melhoria do Procedimento de Teste Hidrostático em Vasos de Pressão: Estudo de Caso em um Trocador de Calor - Sasol Gás

Autor:

MACÁRIO, Anatólio Esténio Alberto

Supervisor da faculdade:

Engº. Roberto David

Supervisor da Engprojects:

Engº. Rendes Esténio Alberto Macário

Maputo, Novembro de 2024

“Até que o limite me tire a certeza de vida”

Autor

UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

Análise e Melhoria do Procedimento de Teste Hidrostático em Vasos de Pressão: Estudo de Caso em um Trocador de Calor - Sasol Gás

Anatólio Esténio Alberto Macário

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROSSIONAL

Declaro que o estudante, com código 20192217, entregou no dia ___/___/2024 as três copias do relatório de estágio, com a referência _____, intitulado: **Análise e Melhoria do Procedimento de Teste Hidrostático em Vasos de Pressão: Estudo de Caso em um Trocador de Calor - Sasol Gás**

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Anatólio Esténio Alberto Macário, declaro por minha honra que o presente trabalho foi realizado inteiramente por mim, no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, no âmbito da conclusão do curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica.

Maputo, _____ de _____ 20____

_____

(Anatólio Esténio Alberto Macário)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus Todo-Poderoso, o arquitecto perfeito e criador da perfeição do universo.

Agradeço também ao meu pai, Martinho Alberto Macário, e ao meu irmão, Rendes Esténio Alberto Macário, que foram os provedores, desde o início, sempre me deram o necessário para que pudesse trilhar este caminho.

Ao meu supervisor, Roberto David, que sempre foi uma pessoa compreensiva e me apoiou desde o primeiro dia até ao último deste trabalho. E ao meu supervisor e mentor, Rendes Esténio Alberto Macário, que sempre foi o meu herói tangível, a pessoa que sempre me inspirou e incentivou a buscar a mestria e a excelência em tudo o que faço.

Agradeço à minha filha, Kidralda Alberto Macário, que me aceitou e permitiu que juntos trilhassemos este caminho, sendo ela quem deu sentido à minha luta e a todas as noites perdidas.

Aos meus amigos e colegas Jordão Celso Jordão e Celso Tambo, que, ao longo desta caminhada, me ajudaram a superar os desafios mais difíceis que a vida me impôs. Eles choraram as minhas lágrimas e partilharam de cada dor minha, tanto na vida pessoal quanto académica. Seriam necessários muitos parágrafos para expressar a minha gratidão.

Agradeço também aos meus colegas: Jorge Durão, Ladino Zunguze, Alfredo Massingue, Youndy Magaia e todos os outros que fizeram parte desta caminhada estudantil.

Por fim, agradeço aos meus amigos que representam o início da construção deste sonho: ao meu amigo que se tornou um anjo, Fridjon Muevo, e à minha amiga Estela Laquimane, que, sobre o monte Namuli, traçámos o caminho para um dia estarmos na UEM

DEDICATÓRIA

Á minha Mãe,

Florinda Esténio Murorotxe, o meu anjo da guarda particular que na sua ida, pediu que crescesse, atravessasse fronteiras e que conquistasse o mundo.

Á minha Filha,

Kidralda Alberto Macário, o anjinho que me escolheu e todos os dias me motivou a lutar para ser sempre o melhor de mim.

Índice

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROSSIONAL i

DECLARAÇÃO DE HONRA ii

AGRADECIMENTOS iii

DEDICATÓRIA iv

ÍNDICE DE TABELAS ix

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE GRÁFICOS xii

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS xiv

RESUMO xv

ABSTRACT xvi

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO 1

1.1. Introdução 1

1.2. Problemática 2

1.3. Problema 2

1.4. Objectivo geral 3

1.5. Objectivos específicos 3

1.6. Proposições 3

1.7. Perguntas da investigação 4

1.8. Justificativa 4

1.9. Metodologia 5

1.10. Estrutura do trabalho 6

CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA 7

2.1. Vasos de pressão 7

2.2. Teste hidrostático 7
2.2.1. Diferença entre testes hidrostáticos e testes pneumáticos 8
2.3. Histórico dos testes hidrostáticos aplicados a vasos de pressão 9
2.3.1. Origem dos testes hidrostáticos: século XIX 10
2.3.2. Desenvolvimento das normas de segurança 11
2.3.3. Evolução tecnológica dos testes hidrostáticos 12
2.3.4. Aplicações contemporâneas e importância dos testes hidrostáticos 13
2.3.5. Vantagens e desvantagens de testes hidrostáticos 13
2.4. Princípios de mecânica dos fluídos 14
2.4.1. Princípio de Pascal 14
2.4.2. Carga de pressão 16
2.4.3. Escalas de Pressão 16
2.5. Incompreensibilidade da água e o teste hidrostático 17
2.6. Impacto do posicionamento do manómetro no ponto mais baixo 18
2.7. Impacto do ar residual no teste hidrostático 19
2.8. Normas e regulamentação 20
CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO 22
3.1. Apresentação da empresa Engprojects 22
3.1.1. Introdução 22
3.1.2. Missão 22
3.1.3. Visão 22
3.1.4. Valores 23
3.1.5. Localização 23
3.2. Portfólio de Serviços 24

3.2.1. Fabricação e montagem de estruturas metálicas 24
3.2.2. Manutenção industrial mecânica 24
3.2.3. Proteção contra desgaste e corrosão 24
3.2.4. Fabricação, instalação de tubulações de pressão e testes hidrostático 25
3.3. Apresentação do objecto de investigação 26
3.3.1. Constituição do filtro e do trocador de calor 27
3.3.2. Classificação do trocador de calor 29
CAPÍTULO 4. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA 30
4.1. Condições para o teste em vasos de pressão 30
4.2. Manutenção e requisitos da norma ASME 30
4.3. Procedimento do teste hidrostatico realizado 31
4.4. Aspectos de saúde e segurança seguidos durante o teste hidrostático 32
4.5. *Method statement* 33
4.6. Instrumentos e Procedimentos de Recolha de Dados 34
4.6.1. Integração e conexões do sistema de teste hidrostático: bombeamento, *manifold* e vaso de pressão 39
CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 42
5.1. Sequência exata de pressurização. 42
5.1.1. Filtro 42
5.1.2. Trocador de calor (*Tubeside*) 43
5.1.3. Trocador de calor (*Shellside*) 44
5.2. Análise do impacto do posicionamento do manómetro no ponto mais baixo do vaso de pressão 45
5.2.1. Filtro 46
5.2.2. Trocador de calor (*shellside*) 48

5.2.3. Trocador de calor (*tubeside*) 50
5.3. Propostas de solução 52
5.3.1. Filtro 52
5.3.2. Trocador de calor (*tubeside)* 53
5.3.1. Trocador de calor (*shellside)* 54
5.4. Escolha dos manómetros e válvulas de ventilação 55
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E RECOMENSAÇÕES 57
6.1. Conclusões 57
6.2. Recomendações 57
6.3. Limitações da pesquisa 58
6.4. Sugestões para trabalhos futuros 58
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 60
ANEXOS 61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Diferença entre Teste Hidrostática e Pneumático - Fonte: Autor 8

Tabela 2: Designação e os parâmetros para o teste hidrostático - Fonte: (SASOL GÁS SOW, 2024) 26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sultana em Helena, Arkansas, em 26 de abril de 1865, um dia antes de sua destruição. Uma multidão de prisioneiros em liberdade condicional cobre seu convés 10

Figura 2: Corte do Jornal de Boston 1905 - Vitimas da explosão – Fonte: https://www.vasodepressao.com.br/post/a-historia-dos-vasos-de-pressao 11

Figura 3: Ilustração do princípio de Pascal – Fonte: (BRUNETTI, 2008) 15

Figura 4: Ilustração da Carga de Pressão - Fonte: (BRUNETTI, 2008) 16

Figura 5: Esquema da pressão efectiva e absoluta - Fonte: (BRUNETTI, 2008) 17

Figura 6: Ilustração da Engprojects - Fonte: Google Earth 23

Figura 7: Apresentação do Trocador de Calor (A) e da Central Termoeléctrica de Chokwé (B) - Fonte: Google Earth 25

Figura 8: Constituição do trocador de calor - Fonte: (SASOL GÁS SOW, 2024) 27

Figura 9: Constituição do filtro - Fonte: (SASOL GÁS SOW, 2024) 28

Figura 10: Mangueiras de alta pressão - Fonte: Autor 34

Figura 11: Alavanca da Bomba de Teste Manual - Fonte: Autor 35

Figura 12: bom de água electrica - Fonte: www.directindustry.com 36

Figura 13: Constituição do Manifold para teste hidrostático - Fonte:https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=2KOEAZlnito 36

Figura 14: Chave de Boca - Fonte: www.cofermeta.com.br 37

Figura 15: Alicate universal - Fonte: www.lojadomecanico.com.br 37

Figura 16: Chave de Fenda - Fonte: www.lojarinapar.com.br 37

Figura 17: Chave Francesa - Fonte: www.virax.com 38

Figura 18: Tablet ATEX - Fonte: https://belsatex.com/wp-content/uploads/2021/07/isafe-IS930-1.webp 39

Figura 19: Conexão entre a bomba de teste e o reservatório - Fonte: Autor 39

Figura 20: Conexão da bomba ao Manifold - Fonte: Autor..... 40

Figura 21: Conexões até o vaso de pressão - Fonte: Autor..... 41

Figura 22: Válvula de ventilação e manómetro de teste - Fonte: Autor 56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Aumento da pressão em função do tempos nas etapas de pressurização - Fonte: Autor 42

Gráfico 2: Aumento da pressão em função do tempos nas etapas de pressurização - Fonte: Autor 43

Gráfico 3: Aumento da pressão em função do tempos nas etapas de pressurização - Fonte: Autor 44

Gráfico 4: Tempo total do teste hidrostático para todas partes dos vasos - Fonte: Autor 45

Gráfico 5: Pressão Hidrostática com Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor 46

Gráfico 6: Comparação da Pressão Média (Ideal) com Pressões Reais no Vaso - Fonte: Autor . 47

Gráfico 7: Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor 47

Gráfico 8: Pressão ao longo do vaso (trocador de calor - Fonte: Autor 48

Gráfico 9: Comparação da Pressão Média (Ideal) com Pressões Reais no Vaso - Fonte: Autor . 49

Gráfico 10: Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor 49

Gráfico 11: Pressão Hidrostática com Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor 50

Gráfico 12: Comparação da Pressão Média (Ideal) com Pressões Reais no Vaso - Fonte: Autor 51

Gráfico 13: Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor 51

Gráfico 14: Relação entre a pressão no ponto mais alto e pressão ao longo do vaso depois da proposta de solução no filtro – Fonte: Autor 53

Gráfico 15:Relação entre a pressão no ponto mais alto e pressão ao longo do vaso depois da proposta de solução no trocador de calor (*tubeside*) – Fonte: Autor 53

Gráfico 16: Relação entre a pressão no ponto mais alto e pressão ao longo do vaso depois da proposta de solução no trocador de calor (*shellside)* – Fonte: Autor 54

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A – Área de contacto [m^2]

AIA – Authorized Inspector

API – American Petroleum Institute

ASME – American Society of Mechanical Engineers

ASME BPVC – American Society of Mechanical Engineers – Boiler and Pressure Vessels Code

EDM – Eletricidade de Moçambique

E – Erro relativo [%]

F – Força [N]

h – Altura [m]

ISO – International Standardization Organization

P – Pressão [kPa]

P_{abs} – Pressão absoluta [kPa]

$P_{ajustada}$– Pressão ajustada [kPa]

P_{atm}– Pressão Atmosférica[kPa]

P_{eft} – Pressão efectiva [kPa]

P_{sar} – Pressão sem ar residual [kPa]

P_t – Pressão de teste[kPa]

SOW – Scope Of Work (Escopo do Trabalho)

TH – Teste Hidrostático

TC – Trocador de Calor

γ – Peso específico

RESUMO

Este trabalho aborda a análise crítica e a melhoria dos procedimentos de teste hidrostático aplicados aos trocadores de calor na subestação termoeléctrica de Chókwè, operada pela Electricidade de Moçambique. Inicialmente, foi realizado um diagnóstico das falhas no procedimento de teste, destacando a utilização inadequada de um único manómetro no ponto mais baixo do vaso de pressão e a falta de válvulas de ventilação para remoção do ar residual. Com base nas observações, foi proposta uma revisão do método de teste, incluindo o reposicionamento dos manómetros e a instalação de válvulas de ventilação em pontos estratégicos para melhorar a precisão das leituras. O trabalho incluiu simulações detalhadas para validar as modificações sugeridas, confirmando que essas mudanças reduziram significativamente os erros de medição e melhoraram a conformidade com as normas internacionais. Por fim, as conclusões ressaltam a importância de procedimentos rigorosos e adaptados às características específicas dos sistemas testados, com recomendações práticas para futuras aplicações na indústria. Este estudo contribui para o aprimoramento das práticas de controle de qualidade e segurança na avaliação de equipamentos pressurizados.

Palavras-chave: Teste hidrostático, trocadores de calor, manómetros, válvulas de ventilação, conformidade com normas, qualidade e segurança.

ABSTRACT

This study focuses on the critical analysis and enhancement of hydrostatic testing procedures applied to heat exchangers at the Chókwè thermal substation, operated by Electricidade de Moçambique. The initial phase involved diagnosing flaws in the testing process, notably the inadequate use of a single pressure gauge positioned at the lowest point of the pressure vessel and the absence of vent valves for effective air removal. Based on these findings, a revision of the testing method was proposed, including the repositioning of pressure gauges and the strategic installation of vent valves to improve measurement accuracy. The study incorporated detailed simulations to validate the proposed adjustments, confirming that these changes significantly reduced measurement errors and improved compliance with international standards. The conclusions highlight the importance of rigorous procedures tailored to the specific characteristics of the tested systems, with practical recommendations for future applications in the industry. This research contributes to the advancement of quality control and safety practices in the evaluation of pressurized equipment.

Keywords: Hydrostatic test, heat exchangers, pressure gauges, vent valves, standards compliance, quality and safety

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A indústria tem avançado continuamente no desenvolvimento de técnicas de monitorização e controlo de qualidade, visando garantir o funcionamento correcto e seguro de máquinas e estruturas, tanto industriais quanto não industriais. Nesse contexto, os testes hidrostáticos desempenham um papel crucial na validação da integridade estrutural e operacional de vasos de pressão e tubulações, assegurando que esses sistemas possam operar de forma adequada e segura sob as condições especificadas.

Vasos de pressão são definidos como recipientes que operam com uma pressão interna ou externa superior a 103,42 kPa (15 psi), conforme estabelecido pela norma ASME (2017). Sempre que essa pressão é excedida, torna-se necessário realizar um teste hidrostático com o objectivo de verificar a resistência do sistema e prevenir falhas que possam comprometer a segurança durante a operação. O procedimento envolve o preenchimento do vaso de pressão ou da tubulação com um líquido, geralmente água, seguido da pressurização do sistema até a pressão de teste, utilizando-se uma bomba de pressão. A monitorização da pressão é realizada por meio de manómetros, que devem ser estrategicamente posicionados para garantir leituras precisas. A posição inadequada dos manómetros e a presença de ar no sistema são factores críticos que podem resultar em leituras imprecisas, aumentando o risco de falhas operacionais e colocando em perigo a segurança dos operadores e da comunidade.

Este trabalho tem como objectivo geral analisar os procedimentos e técnicas utilizados durante o teste hidrostático, comparando-os com as normas vigentes, e propor melhorias que possam garantir maior precisão e fiabilidade nos resultados obtidos. A pesquisa aqui apresentada é fruto de um estágio profissional realizado na empresa Engprojects, especializada em serviços de manutenção industrial, e constitui uma das modalidades de trabalho de conclusão do curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane. O estudo foi conduzido na Sasol-Chókwè High-Pressure Customer Metering Station (HPCMS), em Moçambique.

1.2. Problemática

Os testes hidrostáticos são uma das técnicas mais amplamente utilizadas para verificar a integridade de vasos de pressão e outros equipamentos industriais que operam sob alta pressão. Em indústrias como a petroquímica, energia, e processamento químico, esses testes são cruciais para garantir que o equipamento seja seguro para operar, prevenindo falhas que podem causar acidentes graves e prejuízos financeiros.

Apesar da importância desses testes, erros nos procedimentos — como o posicionamento inadequado dos manómetros ou a presença de ar residual no sistema — podem comprometer a precisão das leituras de pressão. Isso pode resultar numa avaliação incorrecta da integridade estrutural do vaso de pressão. A presença de ar no sistema pode levar a leituras subestimadas de pressão, enquanto a falta de manómetros adicionais em pontos críticos pode fornecer informações incompletas sobre a distribuição da pressão interna no equipamento. Tais falhas tornam o teste menos fiável e, em última análise, podem permitir que equipamentos defeituosos sejam aprovados, aumentando o risco de falhas catastróficas.

Essa problemática destaca a necessidade de uma análise crítica e melhoria nos procedimentos de teste hidrostático, para garantir que a técnica utilizada forneça resultados precisos e fiáveis, alinhados com os padrões internacionais de segurança e desempenho, como o ASME BPVC Section VIII.

1.3. Problema

O problema central deste estudo é a imprecisão nos resultados dos testes hidrostáticos, especialmente em trocadores de calor, devido ao posicionamento inadequado dos manómetros e à presença de ar no sistema. Essas falhas comprometem a leitura correcta da pressão e, por consequência, a avaliação da integridade do vaso de pressão.

A compressibilidade do ar pode levar a uma subestimação da pressão real dentro do vaso, enquanto o uso de apenas um manómetro, mal posicionado, pode fornecer uma leitura incompleta da

distribuição de pressão no interior do equipamento. Essas condições podem induzir à operação de um equipamento que, na realidade, não está seguro, expondo o sistema a riscos desnecessários.

1.4. Objectivo geral

Analisar o procedimento utilizado no teste hidrostático de um trocador de calor Sasol-Chókwè High-Pressure Customer Metering Station (HPCMS), identificando falhas que afectam os resultados de pressão.

1.5. Objectivos específicos

- Analisar o procedimento de teste hidrostático;
- Identificar as falhas no procedimento actual de teste hidrostático;
- Avaliar o impacto das falhas identificadas nas leituras de pressão e na eficiência geral do procedimento.
- Propor ajustes no procedimento de teste;
- Validar as melhorias propostas por meio de simulações e análises comparativas dos resultados.

1.6. Proposições

- O uso de um único manómetro posicionado na parte inferior do vaso de pressão durante o teste hidrostático não afecta de maneira significativa a precisão das leituras de pressão.
- A presença de ar no sistema durante o teste hidrostático não interfere de forma relevante nos resultados obtidos.
- A precisão das leituras de pressão pode ser aprimorada ao utilizar múltiplos manómetros posicionados em diferentes pontos do vaso.
- A remoção completa do ar do sistema, por meio de uma válvula de ventilação, contribui para uma avaliação mais precisa da integridade do vaso.

- O uso de múltiplos pontos de medição reflete melhor a pressão interna real e ajuda a evitar riscos operacionais.

1.7. Perguntas da investigação

- Como o posicionamento dos manómetros afecta a precisão e a fiabilidade das leituras de pressão durante o teste hidrostático em trocadores de calor?
- Quais são os efeitos específicos da presença de ar no sistema sobre a precisão dos resultados dos testes hidrostáticos, e como eles influenciam a interpretação da integridade estrutural do vaso de pressão?
- Quais melhorias podem ser implementadas nos procedimentos de teste hidrostático para garantir que as leituras de pressão reflitam com precisão a condição real do vaso, e como essas melhorias podem aumentar a segurança e a fiabilidade operacional?

1.8. Justificativa

A precisão dos testes hidrostáticos é fundamental não apenas para a segurança imediata dos vasos de pressão, mas também para a longevidade e fiabilidade dos sistemas pressurizados utilizados na indústria. A execução inadequada desses testes pode levar à operação de equipamentos que estão comprometidos, aumentando o risco de falhas catastróficas que podem resultar em graves acidentes, perda de vidas, danos ao meio ambiente e significativas perdas financeiras. Este estudo é justificado pela necessidade de abordar essas deficiências, identificando e implementando melhorias nos procedimentos de teste hidrostático. Ao garantir que os testes sejam realizados de forma precisa e conforme os padrões estabelecidos, a pesquisa contribuirá para a elevação dos padrões de segurança industrial, minimizando riscos e aumentando a eficiência operacional. Além disso, a conformidade com normas internacionais, como a ASME, é crucial para a competitividade da empresa no mercado global, assegurando que seus produtos e serviços atendam aos mais altos critérios de segurança e qualidade.

1.9. Metodologia

A metodologia adoptada na elaboração do projecto é composta por uma abordagem integrada que combina a recolha de informações técnico-científicas, consultas a especialistas, e pesquisas individuais. O objectivo é garantir uma compreensão aprofundada e uma aplicação rigorosa das melhores práticas no contexto do teste hidrostático de vasos de pressão.

- **Recolha de Informações e Conhecimentos Técnico-Científicos:**

Esta etapa envolveu a aquisição de dados e informações técnicas relevantes por meio de um intercâmbio constante entre o estudante e os colaboradores da empresa Engprojects e da Sasol. Esse intercâmbio foi fundamental para obter insights práticos e técnicos que foram directamente aplicáveis ao contexto industrial. A troca de conhecimentos incluiu discussões sobre experiências anteriores, partilha de melhores práticas e análise de casos passados relacionados a testes hidrostáticos, especialmente em trocadores de calor.

- **Consultas com Supervisores e Especialistas:**

O processo metodológico também inclui sessões regulares de consulta com o Supervisor Académico da faculdade, o Supervisor do Estágio na empresa, e especialistas do processo, como engenheiros e técnicos com vasta experiência na área de manutenção industrial. Essas consultas foram essenciais para alinhar os objectivos do projecto com as expectativas académicas e os requisitos industriais. Além disso, reuniões com superintendentes e colaboradores da empresa permitem que o projecto beneficie de uma visão holística do processo, incluindo aspectos de segurança, eficiência e conformidade com normas técnicas.

- **Pesquisas Individuais:**

Além das interacções com profissionais, o desenvolvimento do projecto envolveu pesquisas individuais em fontes de alta credibilidade. Isso incluiu a consulta a manuais técnicos e operacionais da empresa, que forneceram directrizes específicas sobre os procedimentos de teste hidrostático. A consulta a páginas e bancos de dados confiáveis na internet complementa essa pesquisa, permitindo o acesso a normas internacionais, artigos científicos, e estudos de caso que enriquecem o entendimento teórico e prático. Essas pesquisas visam assegurar que as soluções

propostas estejam embasadas em evidências robustas e alinhadas com as melhores práticas do sector.

1.10. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos, o primeiro, é o capítulo da introdução onde é feita a abordagem geral do tema, dando uma visão do problema e dos objectivos que se pretendem atingir com a pesquisa.

O segundo capítulo é dedicado à revisão bibliográfica onde são feitos conceitos ligados à ciência por trás dos testes hidrostáticos, as normas que regem os testes hidrostáticos e o historial por trás da introdução dos testes hidrostáticos na indústria.

O terceiro capítulo é dedicado à apresentação da Engprojects e uma breve apresentação da Sasol e à contextualização da investigação.

O quarto capítulo é dedicado a apresentar a metodologia para os problemas abordados no primeiro capítulo.

O quinto capítulo é dedicado a apresentar, analisar e discutir os resultados obtidos de acordo com a metodologia de resolução de problemas.

O sexto e último capítulo é dedicado a apresentar as conclusões e recomendações relacionadas ao trabalho.

CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Vasos de pressão

Vasos de pressão são recipientes projetados para conter fluidos sob pressão, seja ela interna ou externa. A pressão pode ser gerada por uma fonte externa ou por processos como o aquecimento de um líquido, o que pode resultar na formação de vapor ou gases. A norma (ASME, 2023) define os requisitos rigorosos para o projecto, selecção de materiais, fabrico, inspecção, testes e marcação de vasos de pressão. Esses requisitos garantem que os recipientes possam operar de maneira segura sob as condições de pressão para as quais foram projectados, assegurando a integridade estrutural e a segurança operacional.

De acordo com a norma ASME, esta regulamentação aplica-se a vasos que operam com uma pressão interna que excede 15 psi (103,4 kPa). No caso específico do vaso em estudo, que é um trocador de calor no *tubeside*, a pressão de trabalho é de 1250 kPa. Este valor é significativamente superior ao limite mínimo estabelecido pela norma para que o recipiente seja classificado como vaso de pressão. Dessa forma, o trocador de calor se enquadra nas normas aplicáveis aos vasos de pressão, o que exige o cumprimento das diretrizes da ASME para garantir sua operação segura e eficiente.

2.2. Teste hidrostático

Segundo (ASME, 2023), o teste hidrostático é definido como um procedimento de ensaio utilizado para verificar a integridade de vasos de pressão, tubulações e outros componentes pressurizados. O teste envolve o preenchimento do componente com um fluido incompressível, geralmente água, e a aplicação de uma pressão interna superior à pressão máxima de operação do equipamento, normalmente 1,5 vezes essa pressão. O objectivo é identificar possíveis vazamentos, deformações ou falhas que possam comprometer a segurança durante a operação normal. Esse teste é uma exigência fundamental para assegurar que o equipamento atenda aos requisitos de segurança e desempenho especificados pela norma.

O teste hidrostático é um método essencial de ensaio não destrutivo utilizado para avaliar a integridade estrutural e a segurança de equipamentos pressurizados, como vasos de pressão, tubulações, caldeiras e tanques de armazenamento.

O teste hidrostático é amplamente utilizado em diversos sectores, como o petroquímico, a indústria de óleo e gás, geração de energia, e na fabricação de caldeiras e vasos de pressão. Ele é um passo crítico no processo de fabricação e manutenção de equipamentos pressurizados, assegurando que eles possam operar de forma segura e eficaz, minimizando o risco de falhas catastróficas que poderiam resultar em graves acidentes, danos materiais e ambientais.
Este teste também é exigido por diversas normas técnicas e regulamentações, incluindo a ASME (American Society of Mechanical Engineers), que estabelece os critérios específicos para a realização de testes hidrostáticos, garantindo a conformidade dos equipamentos com os padrões de segurança internacionalmente reconhecidos.

Os testes de pressão subdividem-se em dois grupos: os testes hidrostáticos e os testes pneumáticos, separados em função do tipo de fluido de trabalho usado.

2.2.1. Diferença entre testes hidrostáticos e testes pneumáticos

Tabela 1: Diferença entre Teste Hidrostática e Pneumático - Fonte: Autor

Aspecto	**Teste Hidróstatico**	**Teste Pneumático**
Meio de Pressurização	Utiliza líquidos, geralmente água ou outro fluido incompressível.	Utiliza gases, geralmente ar comprimido ou nitrogênio.
Princípio de Operação	A pressão á aplicada por meio de um fluido incompreensível, que distribui a pressão de maneira uniforme e detecta. vazamentos ou falhas estruturais	A pressão é aplicada através de um gás comprimido, que permite detecção de pequena fugas devido a sensibilidade do gás.

Segurança	Mais seguro, pois líquidos são incompressíveis e liberam menos energia em caso de falha.	Mais arriscado, pois gases comprimidos são altamente energéticos e podem resultar em explosões perigosas.
Detectabilidade de Falhas	Boa para detectar falhas estruturais grandes ou medianas e deformações, mas pode não ser sensível a pequenas fugas.	Melhor para detectar pequenas fugas, mas não proporciona a mesma segurança contra falhas estruturais grandes.
Pressão Aplicada	Normalmente aplica pressão a 1,3 a 1,5 vezes a pressão operacional.	Geralmente usa pressões mais baixas para reduzir o risco, mas ainda assim inferior ao teste hidrostático.
Impacto Ambiental	Pode causar algum impacto se o fluido vazar, especialmente se forem usados adictivos.	Impacto ambiental geralmente menor, desde que o gás usado seja inócuo e liberado em segurança.

2.3. Histórico dos testes hidrostáticos aplicados a vasos de pressão

Os testes hidrostáticos têm uma longa história como uma técnica eficaz de verificação da integridade estrutural de vasos de pressão, sendo usados amplamente em indústrias como a petroquímica, química, e de geração de energia. Esses testes são baseados no princípio da incompressibilidade da água, e sua prática remonta ao século XIX, quando os testes de segurança começaram a ser exigidos devido ao crescente uso de caldeiras a vapor na Revolução Industrial. Com o tempo, os testes hidrostáticos evoluíram para serem uma técnica padronizada e regulamentada por normas internacionais, como o ASME BPVC (ASME, 1914).

2.3.1. Origem dos testes hidrostáticos: século XIX

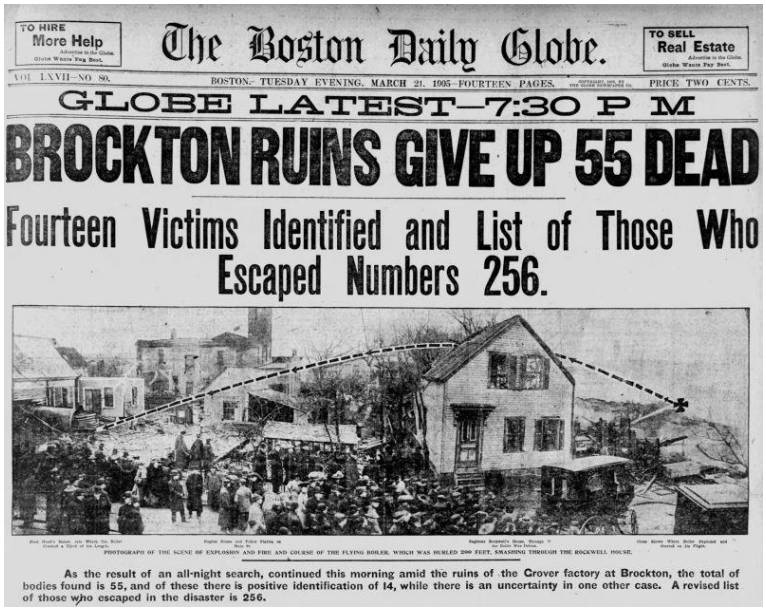
A primeira aplicação formal de testes hidrostáticos surgiu durante a Revolução Industrial no final do século XVIII e início do século XIX, quando as caldeiras a vapor e outros equipamentos que operavam sob alta pressão começaram a ser usados em larga escala em fábricas, transporte ferroviário e marítimo. O aumento do uso desses sistemas pressurizados levou a diversos acidentes catastróficos, principalmente explosões de caldeiras, causando sérias perdas humanas e financeiras.

A explosão de caldeiras era um problema frequente durante a Revolução Industrial. Nos Estados Unidos, um dos incidentes mais trágicos foi a explosão do barco a vapor Sultana, em 1865, no Rio Mississippi. Essa explosão resultou na morte de mais de 1.800 pessoas, sendo considerada uma das maiores catástrofes marítimas da história americana. A causa foi o superaquecimento das caldeiras, que, devido à construção inadequada, não suportaram a pressão acumulada. O acidente evidenciou a necessidade de regulamentações e padrões de segurança mais rigorosos para caldeiras e vasos de pressão (Fry, 2015).

Figura 1: Sultana em Helena, Arkansas, em 26 de abril de 1865, um dia antes de sua destruição. Uma multidão de prisioneiros em liberdade condicional cobre seu convés

Fonte: https://www.vasodepressao.com.br/post/a-historia-dos-vasos-de-pressao

Um caso significativo foi a explosão da fábrica de sapatos Grover em Brockton, Massachusetts, em 10 de março de 1905. Esse acidente resultou na morte de 55 pessoas e deixou 117 feridas. A causa foi atribuída à falha estrutural da caldeira, que não suportou a pressão interna. A magnitude da tragédia foi um chamado de atenção para a sociedade, acelerando a discussão sobre a necessidade de normas regulamentares de segurança (Anderson, 1984).



TO HIRE More Help

The Boston Daily Globe.

TO SELL Real Estate

VOL LXVII—NO 80. BOSTON: TUESDAY EVENING, MARCH 21, 1905—FOURTEEN PAGES. PRICE TWO CENTS.

GLOBE LATEST—7:30 P M

BROCKTON RUINS GIVE UP 55 DEAD

Fourteen Victims Identified and List of Those Who Escaped Numbers 256.

PHOTOGRAPH OF THE SCENE OF EXPLOSION AND FIRE AND COURSE OF THE FLYING BOILER, WHICH WAS HURLED 200 FEET, SMASHING THROUGH THE ROCKWELL HOUSE.

As the result of an all-night search, continued this morning amid the ruins of the Grover factory at Brockton, the total of bodies found is 55, and of these there is positive identification of 14, while there is an uncertainty in one other case. A revised list of those who escaped in the disaster is 256.

Figura 2: Corte do Jornal de Boston 1905 - Vitimas da explosão – Fonte: https://www.vasodepressao.com.br/post/a-historia-dos-vasos-de-pressao

2.3.2. Desenvolvimento das normas de segurança

Com o aumento do uso de vasos de pressão e caldeiras, cresceu a necessidade de regulamentação e padronização dos métodos de teste. Foi no início do século XX que surgiram as primeiras normas de segurança para testes hidrostáticos.

A ASME foi fundada em 1880 com o objectivo de promover o desenvolvimento da engenharia mecânica e estabelecer padrões de segurança para reduzir o risco de explosões de caldeiras e vasos de pressão. Em 1911, a ASME formou o Comité de Código de Caldeiras, que começou a trabalhar na criação do primeiro conjunto de normas para a construção de caldeiras e vasos de pressão.

Em 1915, o comité lançou a primeira edição do ASME BPVC, que representou um marco importante na engenharia de segurança. Essa edição inicial oferecia directrizes sobre projecto, fabricação e inspecção de caldeiras a vapor utilizadas em indústrias e em outras aplicações de grande porte. O código estabelecia requisitos mínimos para materiais, técnicas de construção e métodos de teste, o que trouxe uma nova era de padronização e segurança na indústria (McGuire, 2011).

Na década de 1920, com o crescimento da indústria de petróleo e gás, o API desenvolveu o código API 510, que inclui directrizes específicas para a inspecção e manutenção de vasos de pressão, incluindo a exigência de testes hidrostáticos. O API 510 complementa o ASME BPVC, com um foco particular em inspecções regulares em refinarias e plantas de processamento químico (API, 1920).

2.3.3. Evolução tecnológica dos testes hidrostáticos

Com o tempo, os testes hidrostáticos se tornaram mais sofisticados, principalmente devido ao avanço da tecnologia de medição e monitoramento de pressão. Durante a segunda metade do século XX, surgiram novos instrumentos, como manómetros digitais, que aumentaram a precisão dos testes:

- Manómetros Digitais e Sensores Avançados: A introdução de manómetros digitais nos testes hidrostáticos trouxe maior precisão às medições de pressão, permitindo uma leitura mais confiável e detalhada dos dados. Sensores avançados de pressão e sistemas de monitoramento automatizados agora acompanham as pressões em tempo real, registando mudanças e identificando falhas com maior rapidez. Esses avanços garantiram que os testes hidrostáticos sejam não apenas mais seguros, mas também mais eficientes em termos de tempo e custo.
- Simulações Computacionais e Métodos Não Destrutivos: embora os testes hidrostáticos continuem sendo amplamente utilizados, técnicas modernas de simulação computacional e métodos de inspeção não destrutivos, como a análise de elementos finitos (FEM) e a ultrassonografia, complementam os testes hidrostáticos. Essas tecnologias permitem a previsão e a análise de áreas de alta tensão no vaso, antecipando possíveis pontos de falha antes do teste físico.

2.3.4. Aplicações contemporâneas e importância dos testes hidrostáticos

Segundo (Roberto, 2021), hoje, os vasos de pressão são amplamente empregados em uma série de indústrias e para diversas finalidades. Cada aplicação apresenta desafios únicos, e os avanços em materiais e processos de fabricação continuam a ser essenciais para atender às crescentes demandas industriais:

- Indústria de Petróleo e Gás: usados em separadores de óleo e gás e em reactores de hidrocraqueamento, que operam sob altas pressões para processar hidrocarbonetos pesados e transformá-los em fracções mais leves e valiosas.
- Indústria Química: emprega reactores e permutadores de calor, nos quais reações químicas ocorrem em ambientes pressurizados para aumentar a eficiência e a segurança do processo.
- Geração de Energia: em plantas de energia, caldeiras de geração de vapor movem turbinas para produzir electricidade, enquanto vasos de contenção em usinas nucleares protegem o ambiente e a população em caso de falhas.
- Setor Aeroespacial: tanques de propelente e sistemas de controlo térmico em aeronaves e satélites usam vasos de pressão para armazenar combustíveis e regular temperaturas em missões espaciais.

A história dos vasos de pressão é marcada por uma série de incidentes trágicos que catalisaram a criação de normas de segurança. O desenvolvimento do Código ASME e suas revisões contínuas ao longo dos anos demonstram a importância de estabelecer padrões internacionais que promovam a segurança e eficiência. Graças ao BPVC e à constante evolução tecnológica, a construção e operação de vasos de pressão tornaram-se significativamente mais seguras, salvando vidas e melhorando a produtividade industrial em escala global (Roberto, 2021).

2.3.5. Vantagens e desvantagens de testes hidrostáticos

Com base na referência (Pereira, 2024) e na experiência profissional obtida, a priori podem ser citadas as seguintes Vantagens e Desvantagens:

a) Vantagens

- Ferramenta importante para confirmar a ausência de vazamentos.
- Permite a verificação da integridade estrutural e da capacidade do equipamento de suportar condições operacionais normais no momento do teste.
- Ajuda a aliviar tensões residuais de soldagem, permitindo que a estrutura testada opere de forma mais estável e "relaxada".

b) Desvantagens

- Possibilidade de crescimento crítico de descontinuidades, podendo levar à falha catastrófica do equipamento, tanto durante a fabricação quanto após sua entrada em serviço.
- Risco de crescimento subcrítico de descontinuidades, especialmente em regiões danificadas, devido à aplicação de solicitações mecânicas muito superiores às condições operacionais normais, o que pode reduzir as margens de segurança do equipamento sem que isso seja detectado.
- Alta relação custo/benefício, pois o teste hidrostático (TH) apenas indica a presença de vazamentos, sem fornecer informações detalhadas sobre o estado interno ou outras características estruturais do equipamento, limitando sua função como ferramenta de inspecção.

2.4. Princípios de mecânica dos fluídos

Neste subcapítulo abordar-se-ão princípios de Mecânica dos fluídos que fundamentam os TH´s.

2.4.1. Princípio de Pascal

´´*A pressão aplicada num ponto de um fluido em repouso transmite-se integralmente a todos os pontos do fluido*´´ (BRUNETTI, 2008)

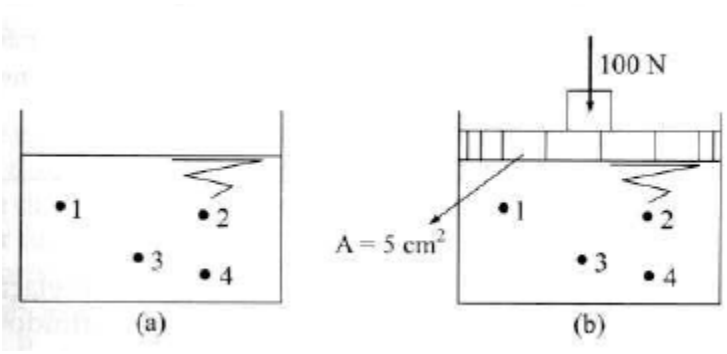


Figura 3: Ilustração do princípio de Pascal – Fonte: (BRUNETTI, 2008)

Em (a) e (b), mostram-se o mesmo recipiente cilíndrico em que foram escolhidos alguns pontos.

Em (a) o fluido apresenta uma superfície livre à atmosfera e supõe-se que as nos pontos indicados sejam:

$P_1 = 2\,N/cm^2\,;\; P_2 = 4\,N/cm^2\,;\; P_3 = 6\,N/cm^2\,;\; P_1 = 8\,N/cm^2$

Ao aplicar-se força de 100N, por meio do embolo na Figura 1b, tem-se um acréscimo de pressão de:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{100}{5}$$

$$P = 20\,N/cm^2$$

Logo, as pressões nos pontos indicados deverão ter os seguintes valores:

$$P_1 = 22\,N/cm^2\,;\; P_2 = 24\,N/cm^2\,;\; P_3 = 26\,N/cm^2\,;\; P_1 = 28\,N/cm^2$$

Torna-se evidente, então, o significado da Lei de Pascal.

Essa lei apresenta a sua maior importância em problemas de dispositivos que transmitem e ampliam uma força através da pressão aplicada num fluido, o que se enquadra no teste hidrostático, já que é usada uma bomba de pressão exatamente com a função de ampliar a força através da pressão.

2.4.2. Carga de pressão

Pelo Teorema de Stevin, a altura e pressão mantêm uma relação constante para um mesmo fluido. É possível expressar, então, a pressão num certo fluido em unidade de cumprimento, lembrando que (Fox, 2023):

$$\frac{P}{\gamma} = h$$

Essa altura h, que, multiplicada pelo peso especifico do fluido, reproduz a pressão num certo ponto dele, será chamada de ´carga de pressão´.

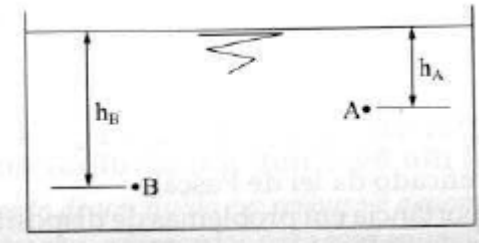


Figura 4: Ilustração da Carga de Pressão - Fonte: (BRUNETTI, 2008)

A pressão no ponto A será $P_A = \gamma \cdot h_A$, enquanto a carga de pressão será h_A; da mesma forma, no ponto B, $P_B = \gamma \cdot h_B$ e a carga de pressão será h_B.

2.4.3. Escalas de Pressão

Se a pressão é medida em relação ao vácuo ou zero absoluto é chamada ´pressão absoluta´; quando é medida adotando-se a pressão atmosférica como referência, é chamada ´pressão efectiva´. A escala de pressões efectivas é importante, pois praticamente todos os aparelhos de medida de pressão (manómetros) registram zero quando abertos à atmosfera, medindo, portanto, a diferença entre a pressão do fluido e a do meio em que se encontram. (BRUNETTI, 2008)

Se a pressão é menor que a atmosférica, costuma ser chamada impropriamente de vácuo e mais propriamente chamada de depressão; é claro que a depressão na escala efectiva terá um valor negativo. Todos os valores de pressão na escala absoluta são positivos. (BRUNETTI, 2008)

A Figura 5 mostra em forma de esquema a medida de pressão nas duas escalas, na escala efectiva assim como na escala absoluta.

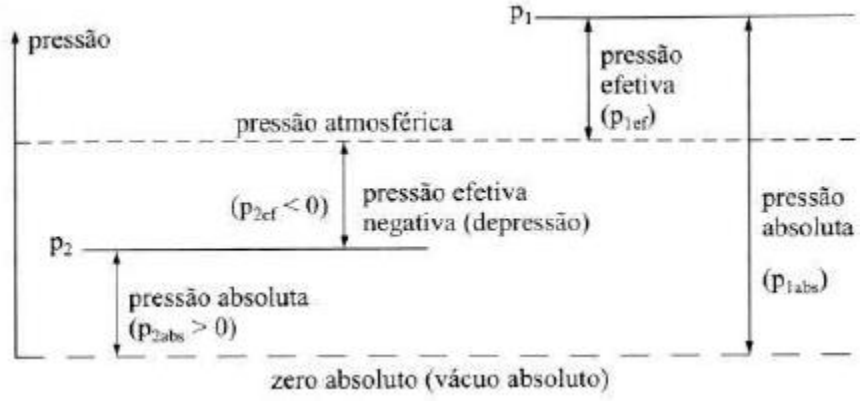


Figura 5: Esquema da pressão efectiva e absoluta - Fonte: (BRUNETTI, 2008)

Do esquema verifica-se válida a seguinte relação entre escalas:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{ef}$$

Onde P_{ef} pode ser positiva ou negativa.

A pressão atmosférica é também chamada de pressão barométrica e varia com a altitude. Mesmo num certo local, ela varia com o tempo, dependendo das condições meteorológicas.

2.5. Incompreensibilidade da água e o teste hidrostático

A incompressibilidade da água é uma característica fundamental que torna o teste hidrostático uma técnica fiável para verificar a integridade estrutural de vasos de pressão. A incompressibilidade de um fluido significa que ele mantém o seu volume mesmo quando submetido a altas pressões. Em outras palavras, a água, quando pressurizada, não sofre variações significativas no seu volume, transmitindo a pressão aplicada uniformemente por todo o recipiente. Esse fenómeno é essencial para detectar vazamentos e deformações estruturais de maneira eficaz.

No teste hidrostático, o vaso de pressão é completamente preenchido com água e pressurizado acima da sua pressão operacional máxima. Essa pressão uniforme permite que o teste simule as

condições de operação do equipamento, identificando possíveis falhas que possam comprometer a sua segurança e eficiência. A ausência de compressão na água permite detectar pequenas falhas nas paredes do vaso, como fissuras ou pontos de solda defeituosos, pois qualquer deformação ou expansão irregular da estrutura sob pressão causará uma perda de pressão mensurável, revelando imediatamente a existência de falhas.

Essa propriedade é particularmente vantajosa em comparação com testes pneumáticos, que utilizam ar comprimido. Como os gases são compressíveis, a aplicação de pressão em sistemas pneumáticos apresenta maiores riscos em caso de falhas, podendo resultar em explosões devido à libertação de energia armazenada. No caso do teste hidrostático, a energia libertada é muito menor, tornando-o mais seguro e, ao mesmo tempo, eficaz na detecção de falhas estruturais e vazamentos.

2.6. Impacto do posicionamento do manómetro no ponto mais baixo

Para realizar a simulação envolvendo o uso de um único manómetro posicionado no ponto mais baixo do sistema e calcular o impacto dessa configuração em comparação com o cenário ideal, a analise será feita em duas partes:

1. **Impacto do Posicionamento do Manómetro no Ponto Mais Baixo**.
2. **Comparação com o Cenário Ideal (Uso de Manómetros em Múltiplos Pontos)**.

Em seguida, apresentam-se gráficos comparando as diferenças de pressão para os dois casos, mostrando o impacto de ter um único manómetro versus a configuração recomendada.

Cálculo da pressão ao longo do vaso

$$P_{ao\ longo\ do\ vaso} = P_t - \rho \cdot g \cdot h$$

Erro Relativo

$$E = \frac{\left|P_{ao\ longo\ do\ vaso} - P_t\right|}{P_t} \cdot 100\%$$

2.7. Impacto do ar residual no teste hidrostático

Neste subcapítulo, são apresentados os aspectos teóricos e conceptuais relacionados ao impacto do ar residual no teste hidrostático, com base na análise do procedimento adoptado. Embora não tenha sido realizada uma análise quantitativa, devido à ausência de dados sobre o volume de ar residual, a avaliação fundamenta-se no facto de o sistema não possuir válvulas de ventilação adequadas, problema que é abordado na proposta de solução apresentada no ponto 5.3.

A presença de ar no sistema torna a análise mais complexa, pois a compressibilidade do ar pode afectar significativamente a precisão das medições durante o teste hidrostático.

A presença de ar no sistema afecta a precisão das medições de pressão devido à compressibilidade do ar. Diferentemente da água, que é praticamente incompressível, o ar se comprimi com o aumento da pressão, absorvendo parte da energia aplicada. Isso leva a resultados menos precisos, uma vez que parte da pressão é "perdida" na compressão do ar.

❖ **Cálculo do Efeito da Compressão do Ar na Pressão Medida**

A Lei de Boyle estabelece que a relação entre pressão e volume para um gás é constante quando a temperatura é constante:

$$P_1 \cdot V_1 = P_t \cdot V_2$$

Portanto, para calcular o volume do ar comprimido V_2 quando o sistema atinge a pressão de teste P_2.

$$V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{P_t}$$

Pressão ajustada por conta da influência da presença de ar no sistema determina-se a partir da seguinte fórmula:

$$P_{ajustada} = P_t - \frac{P_1 \cdot (V_1 - V_2)}{V_{total}}$$

❖ **Erro Relativo**

$$E = \frac{\left|P_{sarr} - P_{ajustada}\right|}{P_{sarr}} \cdot 100\%$$

2.8. Normas e regulamentação

A realização de testes hidrostáticos é regulamentada por diversas normas técnicas que garantem a segurança e a conformidade desses testes em diferentes sectores industriais. Entre as regulamentações mais relevantes estão as emitidas pela American Society of Mechanical Engineers (ASME), pela International Organization for Standardization (ISO) e pelo European Committee for Standardization (CEN). Essas normas descrevem requisitos específicos para o teste hidrostático em vasos de pressão, incluindo a pressão mínima, procedimentos de teste e critérios de aceitação.

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) - Section VIII: A norma ASME BPVC é uma das mais amplamente utilizadas em indústrias que operam com vasos de pressão. A Secção VIII do código estabelece que todos os vasos de pressão devem ser testados hidraulicamente a uma pressão de, pelo menos, 1,3 vezes a pressão máxima de operação permitida, ajustada conforme o material do vaso. Além disso, a norma define os requisitos para o preenchimento e ventilação do vaso, para garantir que o ar seja completamente removido antes do teste, assegurando assim leituras precisas e resultados fiáveis.
- API 510 - Pressure Vessel Inspection Code: publicado pelo American Petroleum Institute, o API 510 é amplamente utilizado na indústria petroquímica. Ele especifica procedimentos de inspecção e manutenção de vasos de pressão, incluindo exigências para testes hidrostáticos periódicos como uma medida de segurança e controlo de qualidade.
- ISO 4126 - Safety Devices for Protection Against Excessive Pressure: essa norma define os dispositivos de segurança a serem utilizados em sistemas pressurizados e inclui requisitos específicos para o teste hidrostático. A ISO 4126 estabelece que o teste hidrostático seja realizado em vasos de pressão e sistemas que possam operar em condições extremas, garantindo que esses equipamentos estejam aptos a suportar a pressão sem risco de falhas.
- EN 13445 - Unfired Pressure Vessels: Na Europa, a norma EN 13445 fornece directrizes para o projecto, fabricação e teste de vasos de pressão que não são expostos directamente à combustão. Esse código complementa as directrizes do ASME, oferecendo uma regulamentação robusta para vasos de pressão no mercado europeu.

Essas normas são fundamentais para garantir que os testes hidrostáticos sejam realizados de maneira segura e eficaz, proporcionando a fiabilidade e a segurança necessárias nas operações industriais. De forma geral e por conta do especificado no SOW do projecto do caso, a norma a ser usada para o projecto é a ASME BPVC Section VIII

CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1. Apresentação da empresa Engprojects

3.1.1. Introdução

A Engprojects é uma empresa especializada na gestão de projectos de engenharia, com foco na excelência na fabricação e montagem de estruturas metálicas e sistemas de tubulação de alta pressão. Operando de forma independente, a Engprojects possui instalações próprias para fabricação e montagem, o que garante controle total sobre o processo e a entrega de soluções que atendem rigorosamente às exigências do mercado industrial, especialmente nos setores de mineração, óleo e gás.

3.1.2. Missão

A missão da Engprojects é oferecer soluções de engenharia de alta qualidade, priorizando segurança, eficiência e inovação. A empresa busca ser uma parceira de confiança, contribuindo para o desenvolvimento sustentável dos setores em que atua, atendendo às necessidades específicas dos clientes com precisão e responsabilidade.

3.1.3. Visão

A Engprojects almeja ser uma referência no mercado moçambicano na fabricação e instalação de estruturas de aço e sistemas de tubulação de alta pressão. Além disso, pretende expandir sua atuação para outros mercados, destacando-se pela competência técnica, pelo cumprimento rigoroso de prazos e pelo respeito às normas internacionais de qualidade e segurança.

3.1.4. Valores

- Excelência operacional: compromisso com a entrega de serviços de alta qualidade, que atendam ou superem as expectativas dos clientes.
- Segurança: priorizar a segurança em todas as etapas dos processos, garantindo um ambiente de trabalho seguro para colaboradores e parceiros.
- Sustentabilidade: promover práticas ambientalmente responsáveis, minimizando o impacto ambiental e usando recursos de maneira eficiente.
- Integridade: manter uma postura ética e transparente em todas as interações, respeitando normas e padrões de conduta profissional.
- Inovação: investir em tecnologias avançadas e práticas inovadoras de engenharia, promovendo melhorias contínuas nos processos e serviços.

3.1.5. Localização

A Engprojects está localizada no distrito de Boane, bairro de Beluluane, na Rua da Amizade, parcela 7300. Abaixo, encontra-se uma imagem do Google Earth com a ilustração da empresa.

Figura 6: Ilustração da Engprojects - Fonte: Google Earth

3.2. Portfólio de Serviços

3.2.1. Fabricação e montagem de estruturas metálicas

A Engprojects gerencia projectos de engenharia e realiza internamente todo o processo de fabricação, sem recorrer a terceirização.

Processos de Fabricação:

- Corte, dobragem e rolamento de chapas de aço, além de corte de secções e perfuração.
- Soldagem de diversos materiais, incluindo aço carbono, aço inoxidável e alumínio.
- Equipamentos de alta capacidade para corte, dobragem e rolamento de materiais.

Processos de Soldagem: São realizados processos de soldagem com eléctrodo revestido (*stick welding*), soldagem MIG/MAG e soldagem TIG, utilizando materiais de aço carbono, aço inoxidável e alumínio.

Montagem de Estruturas Metálicas: A equipe de montagem da Engprojects possui vasta experiência, tendo concluído diversos projetos com sucesso. Desde pequenas plataformas e sistemas de guarda-corpo até complexas substituições de componentes de estruturas de aço, a empresa é reconhecida pela entrega antes do prazo e pela segurança dos projetos.

3.2.2. Manutenção industrial mecânica

A Engprojects oferece serviços de manutenção industrial, incluindo recondicionamento de peças, limpeza e pintura de componentes corroídos, além de recuperação de estruturas metálicas danificadas.

3.2.3. Proteção contra desgaste e corrosão

Os serviços de jateamento e pintura da Engprojects são realizados conforme as especificações dos clientes, utilizando revestimentos de alta qualidade para garantir durabilidade e resistência. A empresa é especializada em aplicações na indústria de mineração e utiliza produtos de fabricantes renomados.

3.2.4. Fabricação, instalação de tubulações de pressão e testes hidrostático

A Engprojects atende à demanda por fabricação e instalação de tubulações pressurizadas, seguindo rigorosamente os padrões do sector de petróleo e gás. A equipa possui certificações ASME IX e realiza testes hidrostáticos durante a fase de comissionamento, assegurando a conformidade e a segurança das instalações.

A Engprojects presta serviços para diversas multinacionais, incluindo a Sasol. O objecto de estudo deste projecto é um trocador de calor da Sasol utilizado numa termoeléctrica pertencente à EDM e gerenciada pela Kuvaninga Energia. A Engprojects foi contratada para executar os testes hidrostáticos nas duas linhas deste trocador de calor, garantindo que o equipamento cumprisse os requisitos de segurança e eficiência estabelecidos pela Sasol.

Figura 7: Apresentação do Trocador de Calor (A) e da Central Termoeléctrica de Chokwé (B) - Fonte: Google Earth

<u>Escopo das actividades realizadas:</u>

- Transferência de água desmineralizada para os vasos de pressão;
- Execução dos testes hidrostáticos conforme as pressões especificadas nos desenhos de arranjo geral;
- Drenagem da água após os testes;

- Emissão do certificado de teste de pressão, co-assinado pelo AIA.

A tabela abaixo resume as especificações dos testes hidrostáticos realizados.

Tabela 2: Designação e os parâmetros para o teste hidrostático - Fonte: (SASOL GÁS SOW, 2024)

Descrição	**Pressão de Teste kPa**	**Classe da flanges de Teste**	**Volume do vaso m^3**
Filter separator A	15750	2 inch 1500 pounds	0.646
Filter separator B	15750	2 inch 1500 pounds	0.646
Gas heat exchange A	15750 – Tubeside	2 inch 1500 pounds	0.304
	780 – Shellside	1 inch 1500 pounds	0.303
Gas heat exchange B	15750 – Tubeside	2 inch 1500 pounds	0.304
	780 – Shellside	2 inch 150 pounds	0.303

3.3. Apresentação do objecto de investigação

O objecto de investigação deste projecto é o trocador de calor utilizado na subestação termoeléctrica de Chókwè, cuja função principal é pré-aquecer o gás natural antes de sua entrada no processo de geração de energia. Este equipamento é composto por duas partes principais: um filtro e o trocador de calor propriamente dito, do tipo casco e tubo.

Os detalhes técnicos do trocador de calor são considerados segredos comerciais. Por esta razão, o trabalho apresenta apenas desenhos ilustrativos, sem especificações técnicas detalhadas. Esta abordagem não compromete a pesquisa, uma vez que os dados necessários para a análise, como as alturas do vaso de pressão, estão disponíveis.

- Altura total do filtro: 5 m
- Altura do trocador de calor: 2 m

3.3.1. Constituição do filtro e do trocador de calor

O trocador de calor em estudo é do tipo casco e tubo, com fluxo paralelo e contacto indireto entre os fluídos. A estrutura é composta por diferentes componentes, conforme ilustrado abaixo:

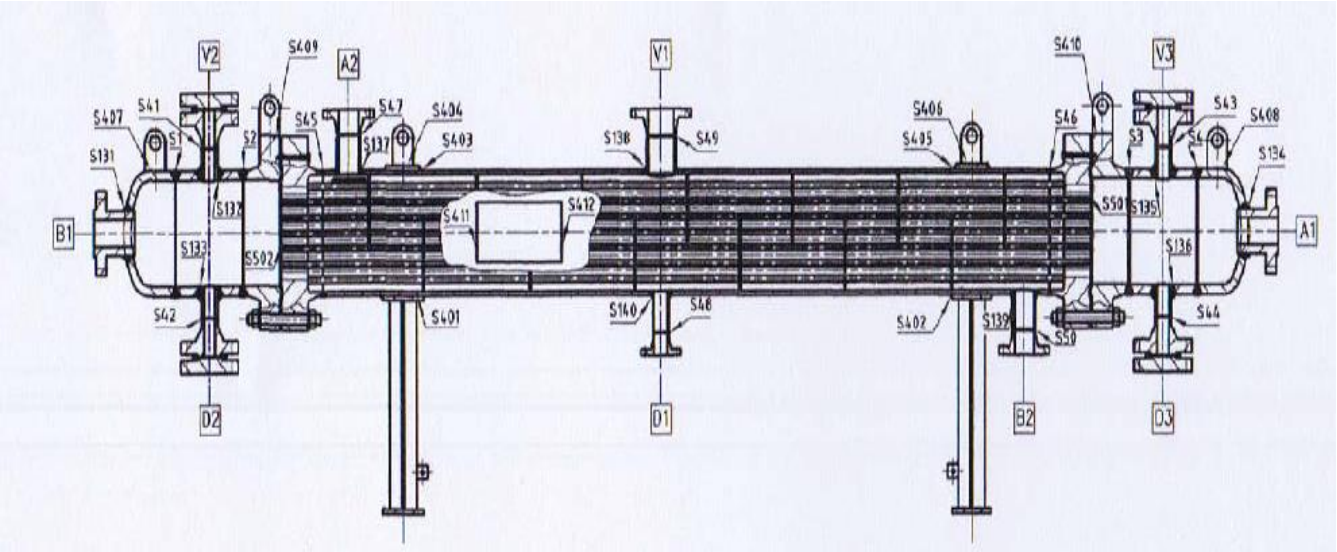


Figura 8: Constituição do trocador de calor - Fonte: (SASOL GÁS SOW, 2024)

- A1 – Entrada do fluido nos tubos
- B1 – Saída do fluido dos tubos
- B2 – Entrada do fluido no lado do casco
- A2 – Saída do fluido no lado do casco

Além dessas partes, há pontos de inspeção, como o V2, utilizado para drenar a água durante a manutenção, e o D1, para a troca do fluido refrigerante.

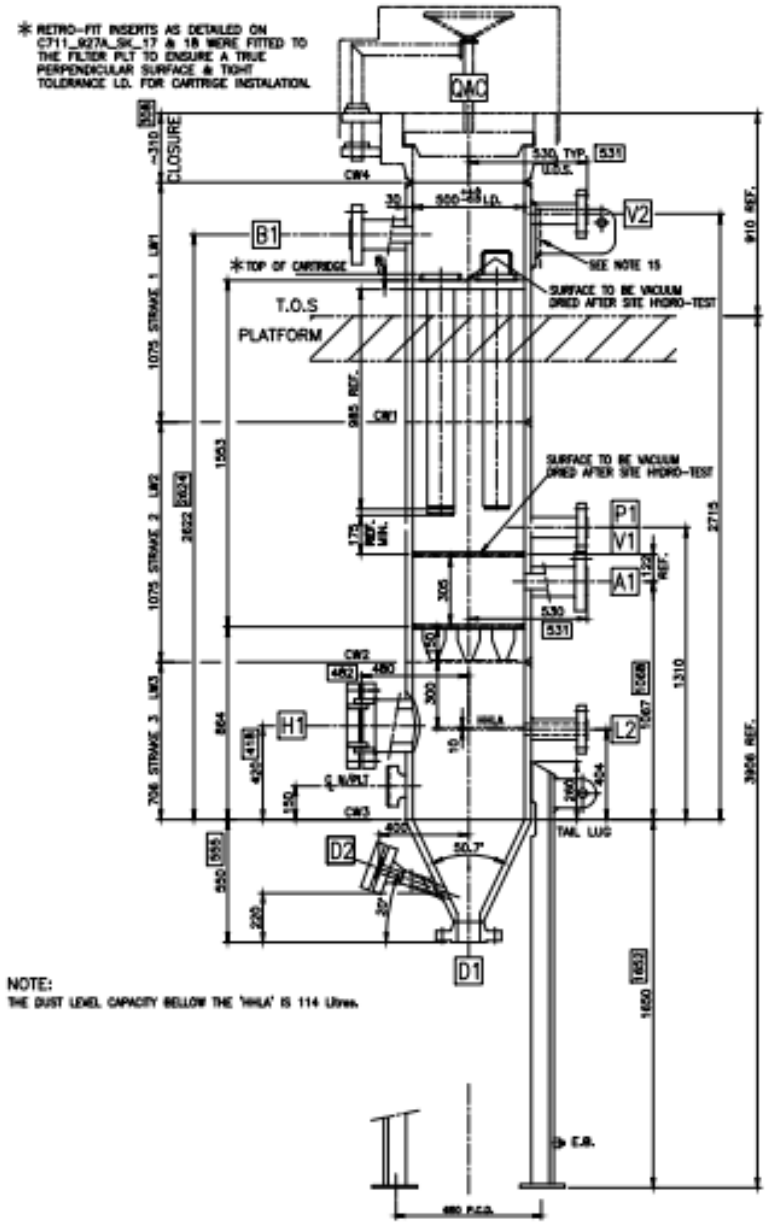


Figura 9: Constituição do filtro - Fonte: (SASOL GÁS SOW, 2024)

O filtro tem uma constituição mais complexa, porém os pontos mais importantes para aquele que é o nosso estudo são:

- A1 – O ponto de entrada do gás natural
- B1 – O ponto de saída do gás natural

Outros pontos importantes do filtro é o D1 usado para drenar o fluido de teste, ou qualquer tipo de impurezas formadas durante o funcionamento do filtro.

3.3.2. Classificação do trocador de calor

- Tipo de Construção: trocador de calor tubular do tipo casco e tubo.
- Tipo de Escoamento: fluxo paralelo.
- Tipo de Contacto entre fluídos: trocador de calor de contacto indirecto. Neste tipo de trocador de calor há um fluxo contínuo de calor do fluído quente ao fio, nesse caso especifico, da água que circula no casco para o gás que circula nos tubos.

CAPÍTULO 4. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

4.1. Condições para o teste em vasos de pressão

Conforme estabelecido pela norma (ASME, 2023), o teste hidrostático é uma etapa essencial para garantir a integridade estrutural dos vasos de pressão. Esse teste verifica a resistência e a vedação do equipamento, assegurando que ele pode suportar as pressões de operação projectadas sem risco de falhas. As condições para a realização desse teste incluem:

- **Conclusão da fabricação**

O teste deve ocorrer após a finalização de toda a fabricação do vaso de pressão. No entanto, algumas operações, como a preparação para solda e o polimento estético do material base, podem ser executadas posteriormente, desde que essas operações não comprometam a espessura final do material abaixo do especificado no projecto.

- **Inspecções concluídas**

Todas as inspecções obrigatórias devem ser realizadas antes do teste, com excepção das verificações específicas exigidas após o teste. Esses requisitos visam garantir que o vaso esteja apto para suportar o teste sem apresentar vazamentos, deformações excessivas ou outras falhas estruturais.

4.2. Manutenção e requisitos da norma ASME

Além dos requisitos de construção e inspecção, a norma ASME vigente na Sasol especifica a necessidade de manutenção regular dos vasos de pressão para garantir a segurança e a eficiência operacional ao longo de sua vida útil. Dentre os procedimentos obrigatórios estão:

- **Limpeza dos Filtros e Substituição das Juntas**

A norma estabelece que a limpeza dos filtros e a substituição das juntas (*gaskets*) devem ser realizadas a cada cinco anos. A manutenção das juntas é crucial para a vedação adequada dos componentes, evitando vazamentos e garantindo que o vaso suporte as condições de operação sem comprometer sua integridade.

❖ **Intervenção no Trocador de Calor**

Como a instalação da linha foi concluída em 2019, foi necessário realizar uma intervenção no trocador de calor durante o ciclo de manutenção de cinco anos, em conformidade com os requisitos da ASME. Essa intervenção inclui a verificação de desgastes, corrosão e outros factores que possam impactar o desempenho e a segurança do equipamento.

4.3. Procedimento do teste hidrostatico realizado

❖ **Preparação dos equipamentos**

- Verificação Inicial: todos os componentes do sistema foram verificados para assegurar que estavam instalados correctamente e em boas condições de operação.
- Inspecção Visual: foi realizada uma inspecção visual detalhada das conexões e partes críticas do sistema para garantir que não havia resíduos ou obstruções que pudessem interferir no teste.

❖ **Enchimento do Sistema**

- Preenchimento com Água Desmineralizada: O sistema foi preenchido com água desmineralizada para evitar qualquer risco de corrosão interna durante o procedimento.
- Libertação de Ar Residual: Todas as válvulas de ventilação foram abertas durante o preenchimento para garantir a remoção de qualquer ar residual, assegurando que o sistema estivesse completamente preenchido com água.

❖ **Aplicação de Pressão**

- Uso da Bomba de Teste Hidrostático: A pressão foi aplicada ao sistema de forma gradual, utilizando uma bomba de teste específica para este fim.
- Monitorização da Pressão: A equipa monitorou continuamente o manómetro posicionado no ponto mais baixo do sistema, garantindo que a pressão aumentasse de maneira controlada até atingir o valor especificado no projecto.

- Manutenção da Pressão: A pressão foi mantida por um período determinado para assegurar a estabilidade do sistema e verificar a existência de possíveis fugas.

❖ **Inspeção Visual Durante o Teste**

- Verificação de Vazamentos: uma inspeção visual minuciosa foi realizada durante o período de pressão estabilizada, focando em possíveis vazamentos ou deformações nos componentes do sistema.
- Registro de Resultados: não foram identificados vazamentos visíveis, indicando que o sistema manteve a integridade sob as condições de teste aplicadas

❖ **Despressurização e Drenagem**

- Despressurização Controlada: a redução da pressão foi feita de forma gradual, para evitar qualquer impacto mecânico brusco no sistema.
- Drenagem Completa do Sistema: após a despressurização, a água foi completamente drenada, assegurando que não houvesse água residual em áreas críticas do equipamento.

❖ **Emissão do Certificado**

- Certificado de Conformidade: Com o sucesso do teste, um certificado foi emitido, confirmando que o equipamento cumpria com os requisitos de segurança e integridade. Como se pode observar do anexo 1 á 3.

4.4. Aspectos de saúde e segurança seguidos durante o teste hidrostático

❖ **Uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI)**

- EPI Obrigatório: durante todo o procedimento, a equipe utilizou capacetes, luvas, óculos de segurança e protetores auriculares, além de calçados de segurança para protecção contra possíveis acidentes.

❖ **Isolamento da Área de Teste**

- Sinalização e Isolamento: a área de teste foi isolada e sinalizada para impedir o acesso de pessoas não autorizadas. Barreiras foram colocados ao redor da zona de alta pressão.

- Acesso Restrito: apenas a equipe autorizada pôde acessar a área durante a realização do teste hidrostático.

❖ **Monitoramento contínuo da pressão**

- Manómetros calibrados: O monitoramento da pressão foi feito com manómetros calibrados, para garantir a precisão das medições durante o teste. Como se pode observar no anexo 4.
- Supervisão constante: A equipe supervisionou todas as etapas do procedimento para assegurar que a pressão não excedesse os limites especificados no plano de teste.

❖ **Plano de emergência**

- Procedimentos de emergência: um plano de emergência foi estabelecido, detalhando as ações a serem tomadas em caso de falhas durante o teste.
- Equipamentos de Segurança: extintores de incêndio e kits de primeiros socorros foram mantidos disponíveis no local, garantindo uma resposta rápida em situações de risco.

❖ **Treinamento e Comunicação da Equipe**

- Reuniões de Segurança: Antes do início do teste, a equipe participou de uma reunião de segurança para revisar os procedimentos e os riscos envolvidos.
- Orientação Técnica: cada membro foi instruído sobre o uso adequado dos equipamentos e sobre a importância da comunicação durante todas as fases do teste hidrostático.

4.5. *Method statement*

O *Method statement* fornece uma visão detalhada das etapas e dos métodos de intervenção adotados para garantir a segurança e a conformidade com as normas vigentes. Inclui informações sobre a inspeção das condições de acesso, os procedimentos de segurança no local, e a descrição das tarefas a serem realizadas.

O *method statement* possui informações privilegiadas. Anexado em 7, apresenta-se a capa e a lista de conteúdos abordados.

4.6. Instrumentos e Procedimentos de Recolha de Dados

❖ **Bomba de Teste**

O processo de pressurização em uma bomba manual de teste hidrostático ocorre por meio de um mecanismo de pistão e válvulas, que permite aumentar a pressão do fluido de forma gradual e controlada no interior do vaso a ser testado. A seguir, descreve-se o funcionamento interno e o processo de pressurização em etapas:

a. Estrutura Básica da Bomba Manual de Teste Hidrostático

- Cilindro e Pistão: A bomba manual possui um cilindro onde o pistão se move para cima e para baixo. Ao pressionar o pistão, a água no interior da bomba é empurrada para fora, elevando a pressão do sistema.
- Válvulas Unidirecionais: A bomba possui válvulas de entrada e saída que garantem o fluxo unidirecional da água. Quando a alavanca é acionada, a válvula de entrada impede que a água retorne ao reservatório, enquanto a válvula de saída permite que o fluido pressurizado vá para o vaso de teste.
- Mangueira de Alta Pressão: A mangueira conecta a bomba ao vaso de pressão.

Figura 10: Mangueiras de alta pressão - Fonte: Autor

- A leitura da pressão é obtida directamente do manómetro, que permite o controle em tempo real.

b. Etapas do Processo de Pressurização

i. Ação da Alavanca e Compressão da Água

- O operador aciona a alavanca da bomba manual para iniciar a compressão. Cada movimento da alavanca empurra o pistão para baixo, forçando a água através da válvula de saída e para dentro do vaso.

Figura 11: Alavanca da Bomba de Teste Manual - Fonte: Autor

- Como a água é incompressível, cada "bombeada" aumenta diretamente a pressão dentro do vaso de teste, o que é registrado pelo manómetro.

ii. Controle Gradual da Pressão

- O processo é feito manualmente, o que permite ao operador aumentar a pressão de forma lenta e controlada. Isso é essencial para evitar choques de pressão ou aumentos bruscos que poderiam comprometer a estrutura do vaso.
- O manómetro fornece feedback em tempo real, permitindo ao operador ajustar a intensidade das bombeadas para alcançar a pressão exata especificada no teste.

a. Válvulas de Controle e Estabilidade da Pressão

- Uma vez que a pressão desejada é alcançada, as válvulas unidirecionais mantêm a pressão dentro do vaso, evitando que o fluido retorne ao cilindro da bomba.
- Essa retenção de pressão é crucial para o teste hidrostático, pois permite monitorar a estabilidade da pressão no vaso e verificar se há vazamentos ou queda de pressão ao longo do tempo.

❖ **Bomba de água electrica**

Como já mencionado no *Method Statement*, o enchimento dos vasos de pressão foi realizado utilizando uma bomba elétrica manual, pois, se o processo fosse feito com a bomba manual de teste, o procedimento seria muito lento e inviável.

Para o enchimento, foi empregada uma bomba centrífuga de pequeno porte. Considerando a finalidade específica do processo, as suas referências técnicas não foram questionadas.

Figura 12: bom de água electrica - Fonte: www.directindustry.com

❖ ***Manifold***

O *Manifold* é um dispositivo de segurança que é essencialmente composto por conexões e válvulas. Ele permite que, após o *holding time* (tempo final de espera), seja possível desconectar a bomba de teste, ao mesmo tempo em que permite o monitoramento contínuo da pressão no sistema.

O *Manifold* utilizado para o projeto tinha a seguinte constituição:

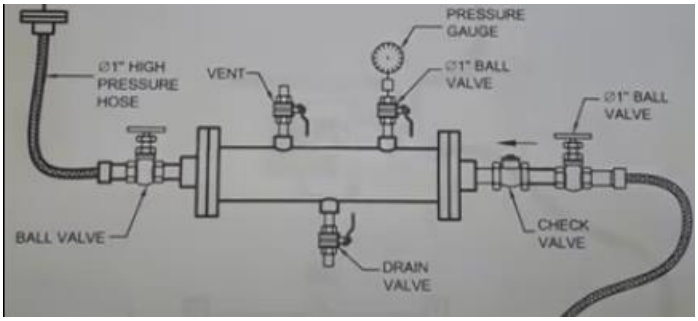


Figura 13: Constituição do Manifold para teste hidrostático -
Fonte:https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=2KOEAZlnito

❖ **Ferramentas**

De modo a garantir que todas as conexões das mangueiras de pressão com a bomba de teste, assim como as conexões com a bomba elétrica, fossem seguras e assegurassem a estanqueidade do *Manifold*, foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Chaves de boca 12, 17, e 27;

Figura 14: Chave de Boca - Fonte: www.cofermeta.com.br

- Alicate;

Figura 15: Alicate universal - Fonte: www.lojadomecanico.com.br

- Chave estrela e chave de fenda;

Figura 16: Chave de Fenda - Fonte: www.lojarinapar.com.br

- Chave Francesa.

Figura 17: Chave Francesa - Fonte: www.virax.com

As conexões nas mangueiras usadas na bomba eléctrica usavam abraçadeiras e as conexões ligadas a bomba de teste foram roscadas.

❖ Tablet ATEX

Os telemóveis e smartphones ATEX são dispositivos projectados para ambientes explosivos, visto que a actividade estava sendo feita numa planta viva de gás natural era necessário que o tablet tivesse a certificação ATEX.

Basicamente os dispositivos ATEX, que deriva do francês ATmosphères EXplosibles oferecem menores riscos de incêndio.

O Tablet ATEX foi usado para tirar fotos e para cronometrar os tempos de espera durante o teste hidrostático.

Figura 18: Tablet ATEX - Fonte: https://belsatex.com/wp-content/uploads/2021/07/isafe-IS930-1.webp

4.6.1. Integração e conexões do sistema de teste hidrostático: bombeamento, *manifold* e vaso de pressão

i. Conexão da bomba ao reservatório de água

O primeiro passo na configuração do sistema de teste hidrostático é a conexão da bomba ao reservatório de água. Neste contexto a bomba usada para o teste (B) vem conectada ao reservatório (A), não sendo por conta disso necessário uma mangueira. A parte (C) serve de suporte para o operador durante a pressurização.

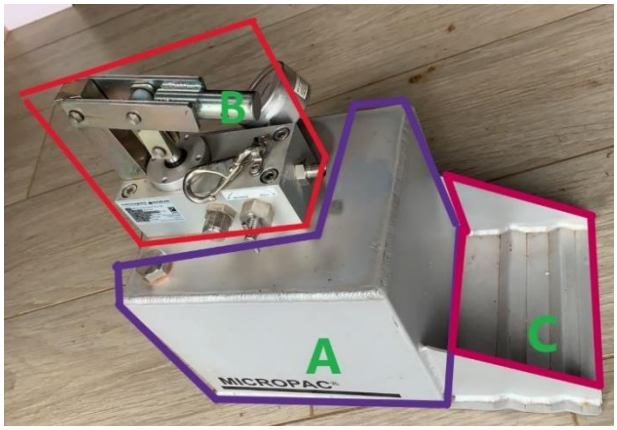


Figura 19: Conexão entre a bomba de teste e o reservatório - Fonte: Autor

ii. Ligação da bomba ao *manifold*

Após a água ser pressurizada pela bomba, ela é conduzida até o manifold por meio de uma mangueira de alta pressão que fica conectada no *out let* da bomba de teste.

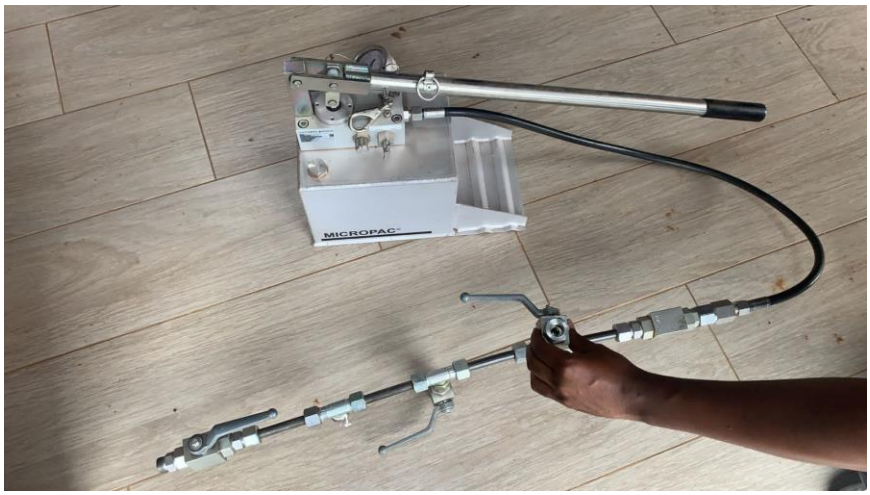


Figura 20: Conexão da bomba ao Manifold - Fonte: Autor

iii. Conexão das mangueiras de alta pressão

As mangueiras de alta pressão são usadas na conexão da bomba ao *manifold* e do *manifold* a flange que depois é conectada ao vaso de pressão como pode se observar na Figura 20.

iv. Ligação das mangueiras ao vaso de teste

Finalmente, a mangueira de alta pressão foi conectada aos vasos que estavam sendo testadas a partir de uma flange com um furo roscado no centro, como se pode verificar n figura 21.

Figura 21: Conexões até o vaso de pressão - Fonte: Autor

A sequência de interligações entre a bomba, o reservatório, o *manifold*, as mangueiras de alta pressão e o vaso de teste é crucial para garantir a eficácia e a segurança do teste hidrostático. Cada componente do sistema desempenha um papel fundamental na manutenção da pressão necessária e na prevenção de falhas, como vazamentos ou falhas nas conexões. Uma execução cuidadosa e bem planejada dessas interligações é essencial para garantir a precisão dos resultados e a integridade dos componentes testados.

CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Sequência exata de pressurização.

No capítulo anterior foi abordado, no procedimento de teste hidrostático, a melhor técnica de pressurização dos vasos de pressão, e, foi colocada em ênfase os tempos de espera para a inspecção, e a importância de se fazer a pressurização de forma mais lenta e controlada.

O teste de pressão apresenta as seguintes fases:

- *Fill up*: enchimento do vaso de pressão;
- Aumento da pressão em 50%;
- *First holding time* de 15 minutos;
- *Final holding time* de 60 minutos
- *Despressurização*

5.1.1. Filtro

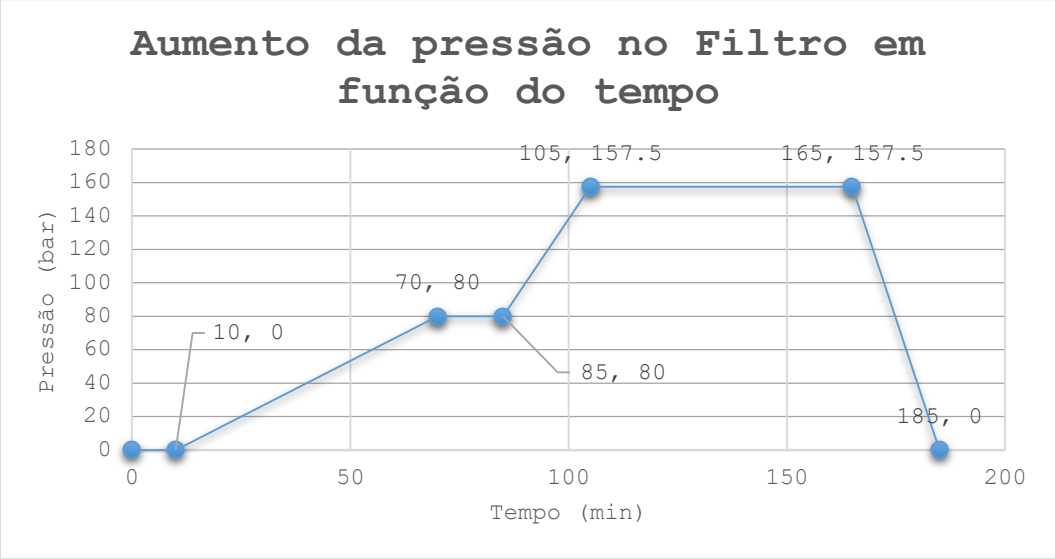


Gráfico 1: Aumento da pressão em função do tempos nas etapas de pressurização - Fonte: Autor

O gráfico do filtro apresenta um aumento progressivo da pressão, atingindo o pico de 157.5 bar e mantendo-o durante o período de teste. A pressão foi aumentada de forma gradual, refletindo uma abordagem de pressurização lenta e controlada para minimizar possíveis choques hidráulicos.

5.1.2. Trocador de calor (*Tubeside*)

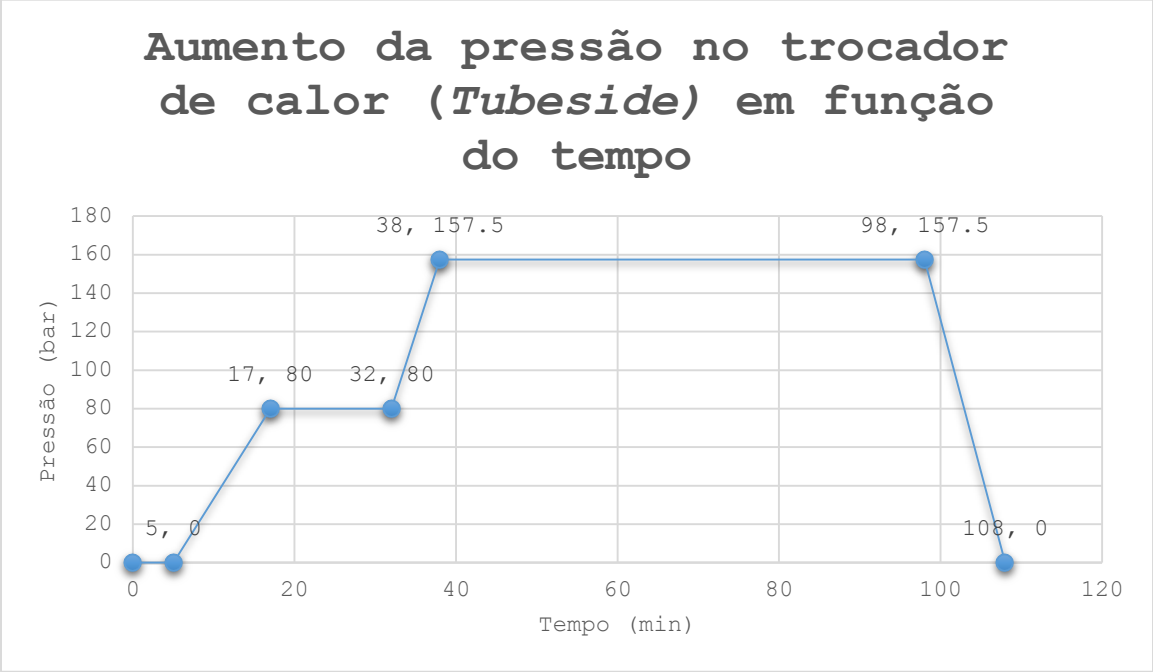


Gráfico 2: Aumento da pressão em função do tempos nas etapas de pressurização - Fonte: Autor

A curva de pressão do trocador de calor no lado dos tubos segue um padrão similar ao filtro, atingindo também 157.5 bar, mas em um período de tempo ligeiramente diferente. A variação temporal reflete as diferenças de volume e a estratégia de pressurização adotada.

5.1.3. Trocador de calor (*Shellside*)

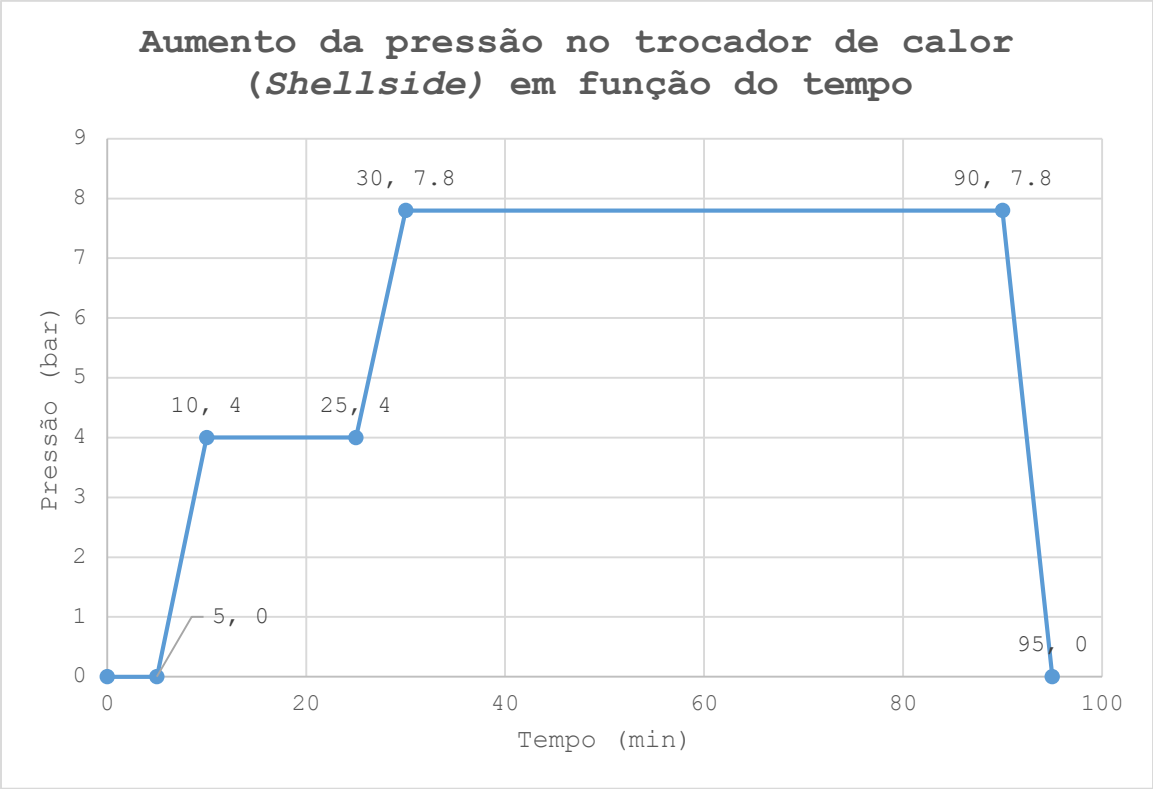


Gráfico 3: Aumento da pressão em função do tempos nas etapas de pressurização - Fonte: Autor

A pressão no lado do casco do trocador de calor é significativamente menor, atingindo apenas 7.8 bar, o que está em conformidade com as especificações técnicas que exigem uma pressão de teste inferior devido às características estruturais desta parte do sistema.

Gráfico 4: Tempo total do teste hidrostático para todas partes dos vasos - Fonte: Autor

- A diferença no tempo total de pressurização entre os componentes é claramente observada. O filtro, que possui um volume maior de água, levou mais tempo para ser pressurizado e despressurizado em comparação com as seções do trocador de calor.
- A menor pressão exigida no *Shellside* do trocador de calor contribuiu para uma pressurização mais rápida, indicando que a pressão de teste influencia diretamente o tempo necessário para completar o procedimento..

5.2. Análise do impacto do posicionamento do manómetro no ponto mais baixo do vaso de pressão

O teste foi realizado com um único manómetro posicionado no ponto mais baixo do vaso de pressão. De acordo com as normas, todos os pontos do vaso devem alcançar pelo menos a pressão de teste especificada, que foi de 15750 kPa. O impacto do posicionamento foi avaliado considerando a pressão hidrostática adicional devido à altura da coluna de água.

5.2.1. Filtro

O sistema de teste apresenta as seguintes condições:

Pressão aplicada: 15750 kPa

Altura do vaso: 4.81 m

Densidade da água: 1000 kg/m^3

Gravidade: $9.81 m/s^2$

❖ **Cálculo da pressão hidrostática**

$$P_h = 4.81\ m \cdot 1000 kg/m^3 \cdot 9.81 m/s^2\ = 47186.1\ Pa = 47.1861\ kPa$$

Portanto a pressão medida no ponto mais baixo será de:

$$P_{total} = 15750\ kPa + 47.1861\ kPa = 15797.1861\ kPa$$

❖ **Comparação com o cenário ideal**

No cenário ideal, com manómetros posicionados tanto no ponto mais baixo quanto no ponto mais alto do sistema, a influência da coluna de água é anulada ao calcular a média das leituras dos dois manómetros. Assim, a pressão aplicada ao sistema é medida com precisão.

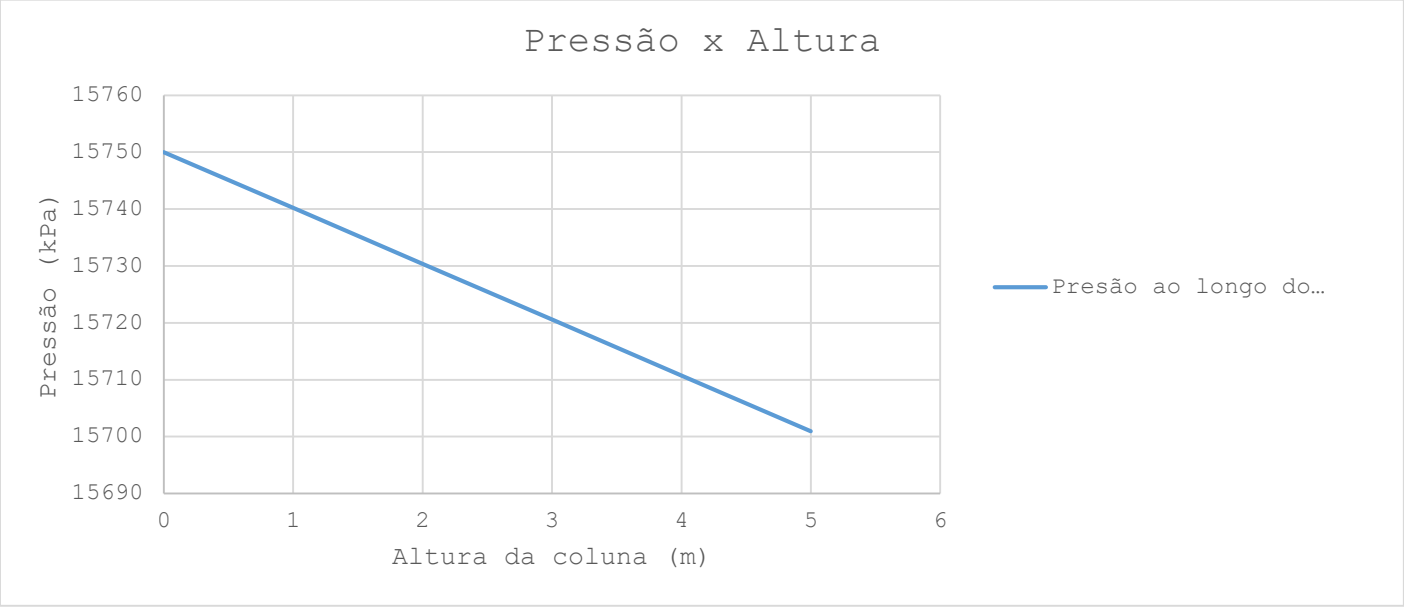


Gráfico 5: Pressão Hidrostática com Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor

A linha de pressão ao longo do vaso deve permanecer acima ou igual à linha da pressão de teste em todos os pontos para estar em conformidade com a norma.

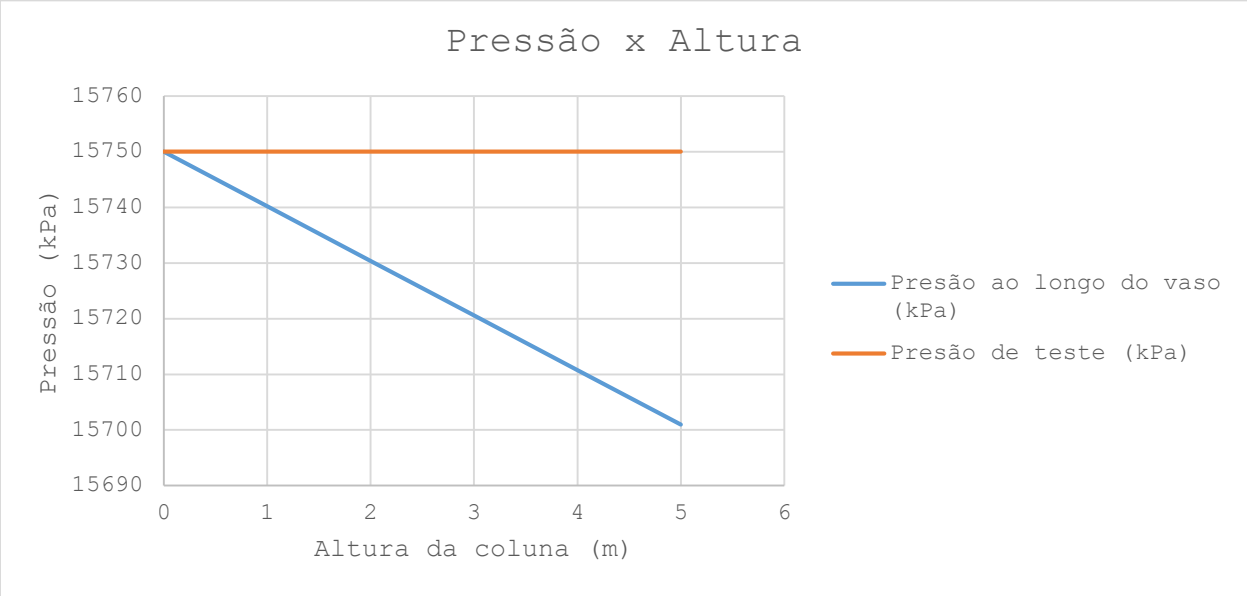


Gráfico 6: Comparação da Pressão Média (Ideal) com Pressões Reais no Vaso - Fonte: Autor

❖ **<u>Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo</u>**

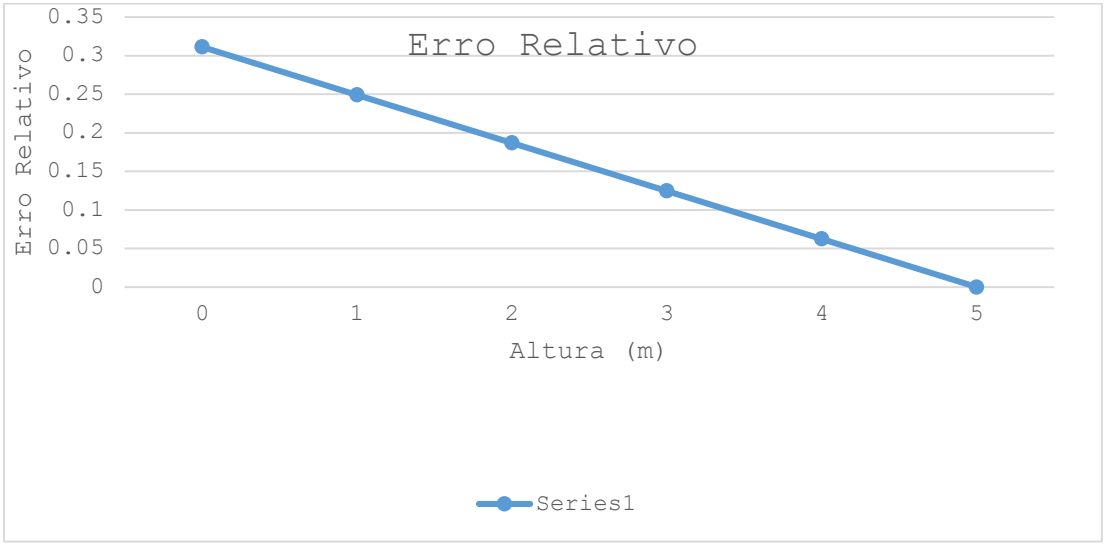


Gráfico 7: Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor

O gráfico 5 mostra que a pressão ao longo do vaso varia conforme a altura, com a pressão sendo maior no ponto mais baixo devido ao peso da coluna de água. A linha de pressão deve se manter igual ou acima da pressão de teste para garantir a conformidade.

A análise do erro relativo indica que, ao utilizar um único manómetro no ponto mais baixo, existe um desvio na leitura de pressão, que é influenciado pela altura do vaso.

5.2.2. Trocador de calor (*shellside*)

❖ **Comparação com o cenário ideal**

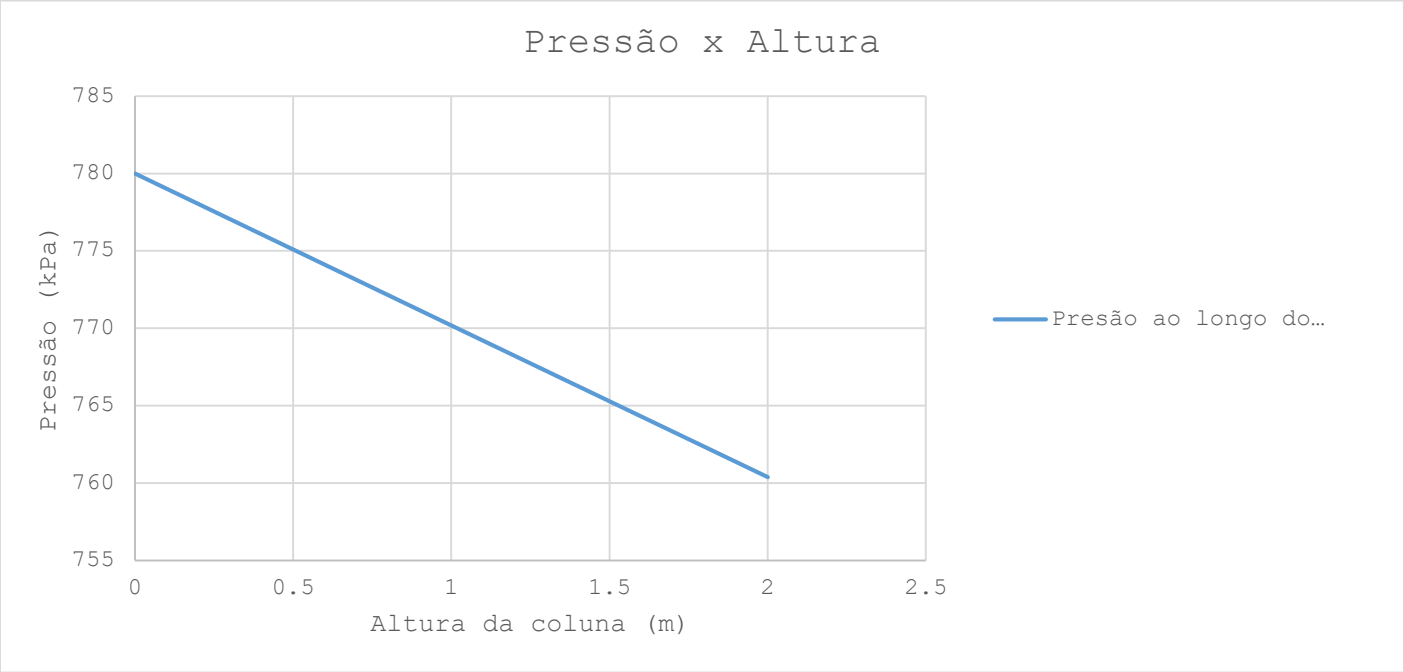


Gráfico 8: Pressão ao longo do vaso (trocador de calor - Fonte: Autor

A linha de pressão ao longo do vaso deve permanecer acima ou igual à linha da pressão de teste em todos os pontos para estar em conformidade com a norma

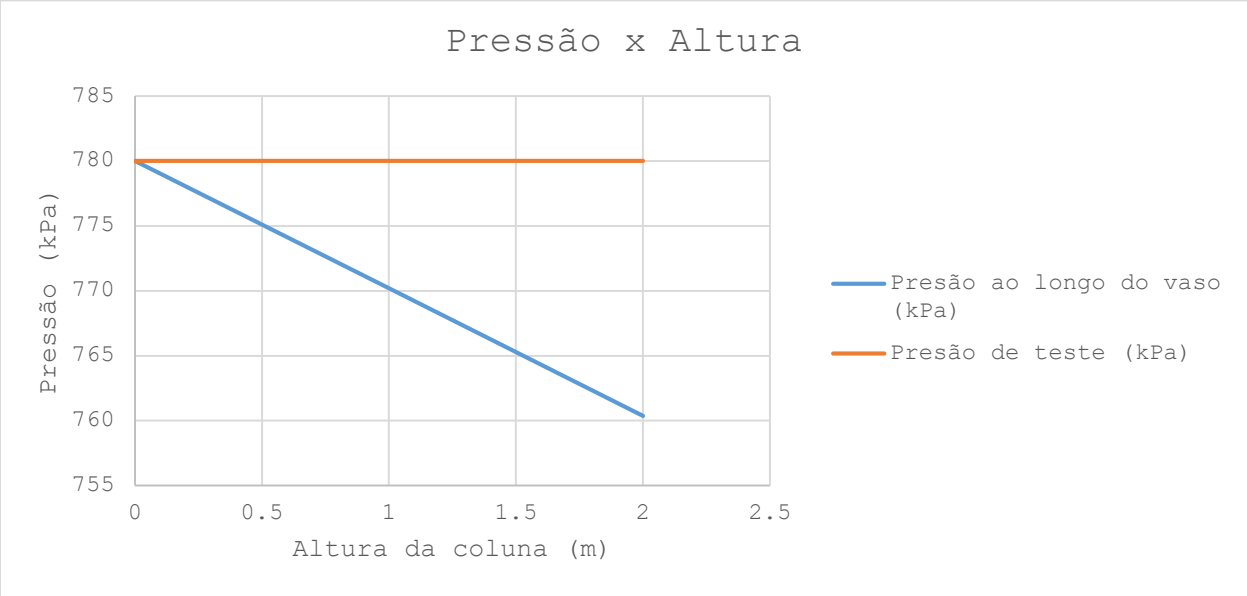


Gráfico 9: Comparação da Pressão Média (Ideal) com Pressões Reais no Vaso - Fonte: Autor

❖ **<u>Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo</u>**

Gráfico 10: Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor

A variação de pressão ao longo da altura dos trocadores de calor foi registrada, confirmando que o posicionamento do manómetro no ponto mais baixo adiciona um componente de pressão hidrostática que pode mascarar a pressão real aplicada no sistema.

No caso do trocador de calor (*shellside*), a pressão foi mantida abaixo do nível do *tubeside* devido às especificações técnicas. A comparação dos gráficos confirma que o uso de um único manómetro não captura a variação completa da pressão em todo o sistema.

5.2.3. Trocador de calor (*tubeside*)

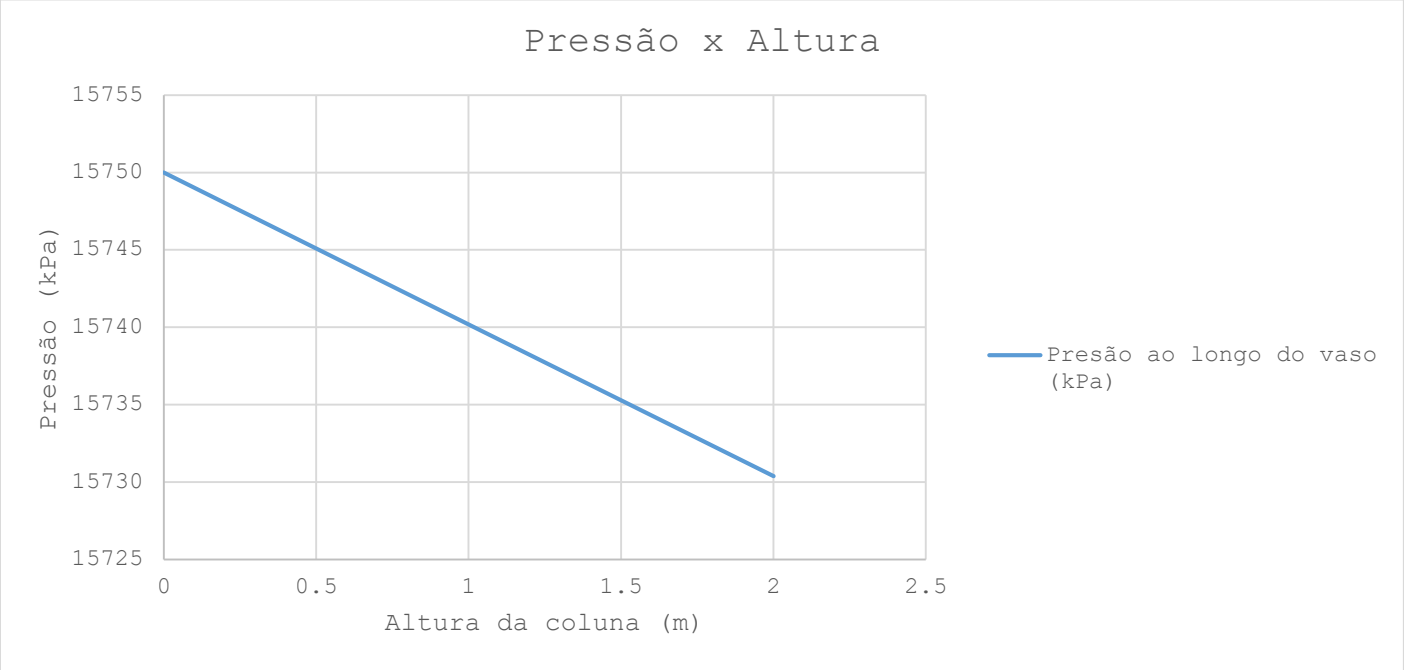


Gráfico 11: Pressão Hidrostática com Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor

A linha de pressão ao longo do vaso deve permanecer acima ou igual à linha da pressão de teste em todos os pontos para estar em conformidade com a norma.

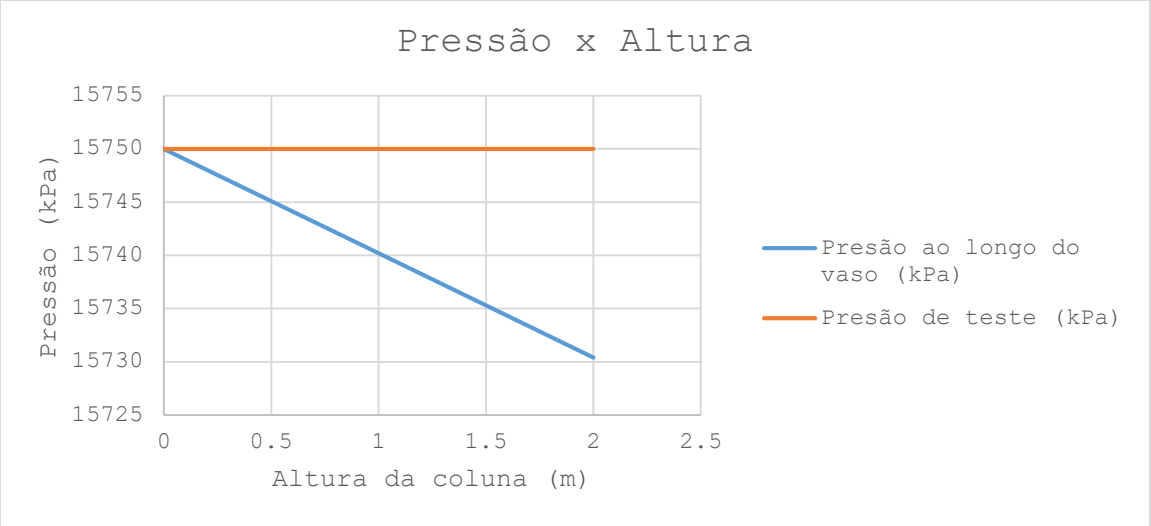


Gráfico 12: Comparação da Pressão Média (Ideal) com Pressões Reais no Vaso - Fonte: Autor

❖ **<u>Erro relativo devido ao uso de um único manómetro no ponto mais baixo</u>**

Gráfico 13: Erro Relativo Devido ao Uso de Um Único Manómetro no Ponto Mais Baixo - Fonte: Autor

O gráfico confirma que a pressão de teste foi alcançada apenas nos pontos mais baixos dos trocadores de calor.

A presença de um único manómetro resultou num erro relativo maior nos pontos mais altos, onde a leitura de pressão foi insuficiente para atingir a pressão de teste mínima exigida pelas normas.

5.3. Propostas de solução

5.3.1. Filtro

A proposta para o filtro envolve a instalação de uma válvula de ventilação no ponto mais elevado do sistema, identificado como ponto V1. Esta medida tem como objectivo facilitar a eliminação completa do ar residual antes do início do teste hidrostático, evitando a formação de bolsas de ar que possam comprometer a precisão dos resultados.

Além disso, recomenda-se a instalação de manómetros de leitura nos pontos P1 e B1. A colocação dos manómetros nestes pontos permitirá monitorizar a pressão em diferentes alturas do vaso, garantindo que a leitura esteja em conformidade com a norma, que exige a utilização de múltiplos pontos de medição para assegurar a precisão da pressão aplicada.

E como se pode observar no gráfico a baixo todos os valores de pressão ao longo do vaso estão a cima do valor da pressão de teste, para ilustrar que a solução faz com que haja conformidade com a norma (ASME, 2023).

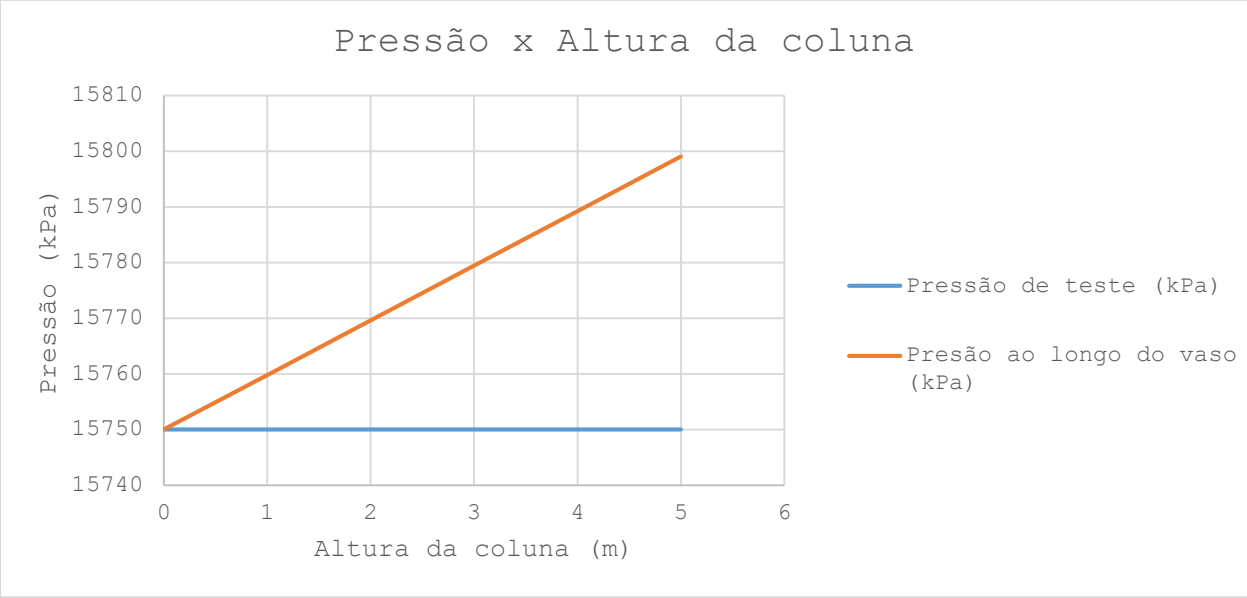


Gráfico 14: Relação entre a pressão no ponto mais alto e pressão ao longo do vaso depois da proposta de solução no filtro – Fonte: Autor

5.3.2. Trocador de calor (*tubeside)*

Para o lado dos tubos do trocador de calor, propõe-se o uso das saídas V2 e V3, destinadas especificamente para os testes hidrostáticos, como pontos de instalação de válvulas de ventilação e manómetros de teste. Esta solução elimina a necessidade de usar apenas um manómetro no ponto mais baixo, que pode resultar em leituras imprecisas devido à pressão hidrostática.

A instalação de válvulas de ventilação nos pontos V3 e V2 é essencial para evitar a presença de ar nas ramificações do sistema, que muitas vezes funcionam como amortecedores, afectando a precisão dos testes. A utilização de manómetros adicionais nesses pontos permite cumprir a exigência normativa de, no mínimo, dois manómetros de leitura por vaso de pressão.

Com a leitura da pressão de 15750 kPa nos manómetros instalados em V2 e V3, pode-se garantir que todos os pontos do vaso atendam ao requisito normativo de que a pressão de teste seja alcançada em todas as partes do sistema. No gráfico a baixo apresenta-se o cenário da distribuição de pressão quando os manómetros nos pontos V2 e V3 terem uma leitura de 15750kPa.

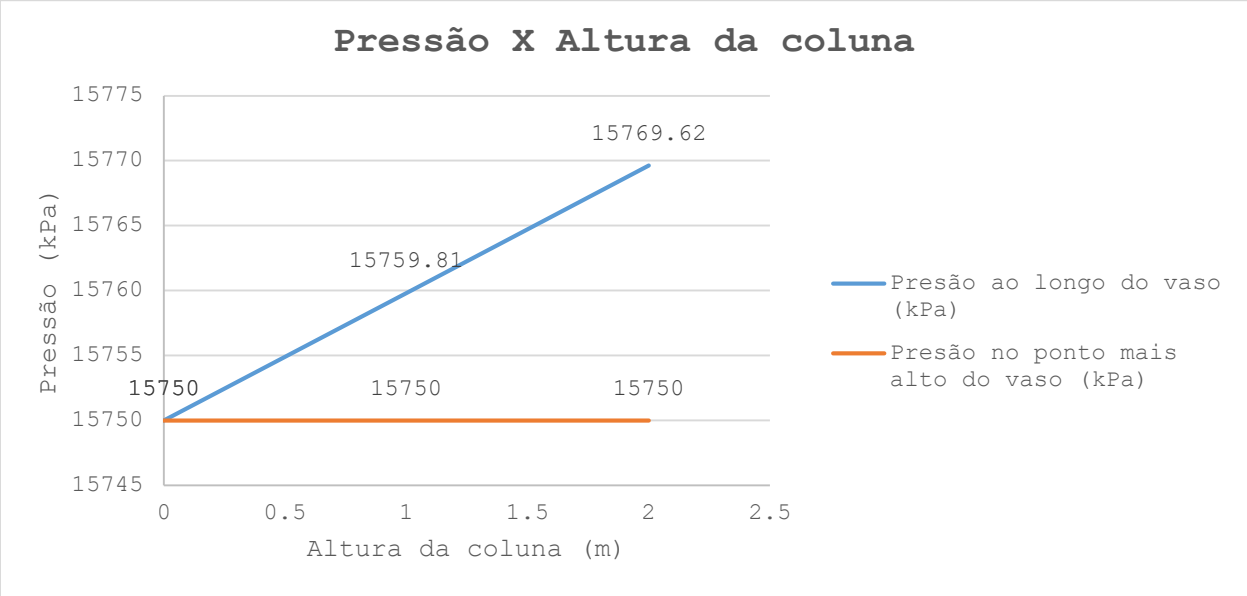


Gráfico 15:Relação entre a pressão no ponto mais alto e pressão ao longo do vaso depois da proposta de solução no trocador de calor (*tubeside*) – Fonte: Autor

Como se pode observar, se a leitura dos 15750kPa fosse feita no manómetro acoplado ao vaso de pressão nos pontos V2 e V3 cumprir-se os requisitos da norma (ASME, 2023).

5.3.1. Trocador de calor (*shellside)*

No lado do casco do trocador de calor, a proposta inclui o uso da entrada de água A1 e V4 para a instalação de uma válvula de ventilação acoplada a um manómetro de leitura. Devido ao diâmetro do tubo, este ponto também permite a instalação de um manómetro de leitura, melhorando a precisão em relação ao uso de apenas um manómetro acoplado directamente à bomba de teste.

Neste arranjo com a leitura de 780 kPa nos manómetros posicionados em A1 e V4 ter-se-á a seguinte distribuição de pressão no vaso atendendo desse jeito as exigências da norma (ASME, 2023).

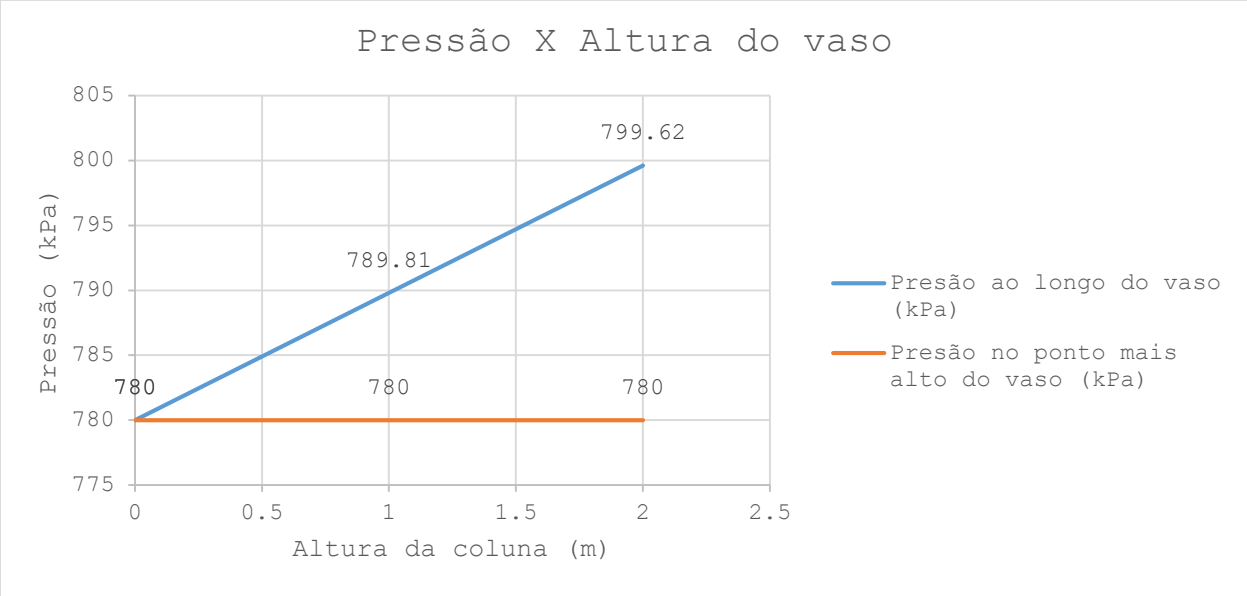


Gráfico 16: Relação entre a pressão no ponto mais alto e pressão ao longo do vaso depois da proposta de solução no trocador de calor (*shellside)* – Fonte: Autor

5.4. Escolha dos manómetros e válvulas de ventilação

Para garantir que os manómetros e as válvulas de ventilação possam ser instalados no mesmo ponto de conexão de 2 polegadas, a escolha dos componentes deve seguir as especificações técnicas adequadas:

❖ **Manómetros**

- Recomenda-se o uso de manómetros com rosca de conexão NPT de 1/2 polegada ou NPT de 1/4 polegada. Estes tamanhos permitem a instalação dos manómetros numa saída secundária da válvula de ventilação, que estará conectada ao tubo principal de 2 polegadas.
- A faixa de leitura deve cobrir pressões até 16000 kPa (160 bar), assegurando que os manómetros sejam capazes de medir a pressão máxima especificada para o teste hidrostático.
- É importante que os manómetros possuam precisão de 1% da escala total e tenham marcação CE ou equivalente para garantir a conformidade com os requisitos de segurança.
- Manómetros digitais ou de coluna líquida são recomendados, pois proporcionam maior precisão na leitura durante testes críticos.

❖ **Válvulas de Ventilação:**

- Recomenda-se a utilização de válvulas de ventilação com conexão principal de 2 polegadas NPT, compatível com os pontos de teste especificados. A válvula deve possuir uma saída secundária de 1/2 ou 1/4 polegada para permitir a conexão directa do manómetro.
- O material recomendado é o aço inoxidável 316, resistente à corrosão e adequado para ambientes agressivos.
- As válvulas devem ser de fácil operação, com um mecanismo de abertura suave para facilitar a remoção completa do ar residual antes do teste.
- É essencial que as válvulas sejam capazes de suportar pressões elevadas sem vazamentos, garantindo a segurança e a precisão do teste hidrostático

Figura 22: Válvula de ventilação e manómetro de teste - Fonte: Autor

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E RECOMENSAÇÕES

6.1. Conclusões

Este estudo atingiu com sucesso os objectivos estabelecidos, analisando criticamente o procedimento de teste hidrostático aplicado aos trocadores de calor da subestação termoeléctrica de Chókwè. A pesquisa identificou falhas significativas no processo original, relacionadas principalmente ao uso de um único manómetro localizado no ponto mais baixo do vaso de pressão e à ausência de válvulas de ventilação adequadas. Essas deficiências comprometiam a precisão das leituras de pressão, que é fundamental para assegurar a integridade e a segurança dos sistemas. A compressibilidade do ar residual foi um factor crítico, levando a subestimações de pressão que poderiam resultar numa avaliação incorreta da integridade estrutural dos vasos de pressão.

Com base nas análises realizadas, propuseram-se melhorias no procedimento de teste, incluindo o reposicionamento dos manómetros para pontos mais estratégicos e a instalação de válvulas de ventilação que permitem a eliminação completa do ar antes do início do teste. As simulações efectuadas demonstraram que essas modificações aumentaram significativamente a precisão das medições e garantiram a conformidade com as normas internacionais. O estudo reforçou a importância de procedimentos padronizados e rigorosos, ajustados às especificidades de cada equipamento, para assegurar a segurança operacional e a confiabilidade dos resultados. Assim, a pesquisa contribui para a optimização das práticas de controlo de qualidade e segurança na avaliação de sistemas pressurizados.

6.2. Recomendações

Para assegurar a continuidade dos avanços alcançados e promover a melhoria constante nos procedimentos de teste hidrostático, recomenda-se:

Utilização de Múltiplos Manómetros: instalar manómetros adicionais em diferentes pontos do vaso de pressão, especialmente no ponto mais alto, para garantir que todas as partes do sistema alcancem a pressão mínima especificada pelas normas.

Instalação de Válvulas de Ventilação Adequadas: equipar os pontos mais altos do sistema com válvulas de ventilação eficazes, permitindo a remoção completa do ar residual antes do teste, minimizando assim o risco de leituras incorrectas.

Desenvolvimento de Procedimentos Padronizados: criar e documentar procedimentos detalhados que abordem todas as etapas do teste hidrostático, incluindo o posicionamento correcto dos instrumentos de medição, a calibração dos equipamentos e a metodologia de remoção do ar.

6.3. Limitações da pesquisa

Durante a realização desta pesquisa, algumas limitações foram encontradas:

Instrumentação Limitada: A utilização inicial de um único manómetro restringiu a capacidade de medir a pressão uniformemente ao longo do vaso de pressão.

Condições de Teste Controladas: A pesquisa foi realizada em condições de teste controladas, não considerando variações operacionais reais, como flutuações de temperatura e vibração, que podem afectar o desempenho do equipamento.

6.4. Sugestões para trabalhos futuros

Com o intuito de aprofundar a análise e melhorar ainda mais os procedimentos de testes hidrostáticos, sugere-se que futuros estudos explorem:

Estudar a nível de cálculos o impacto da presença de ar residual nos vasos durante o texto e fazer uma avaliação económica da implementação da solução.

Modelagem Computacional Detalhada: utilizar softwares de simulação para modelar a distribuição de pressão ao longo de vasos de pressão complexos, identificando áreas críticas que possam não ser adequadamente avaliadas por métodos tradicionais.

Testes em Condições Operacionais Reais: realizar ensaios sob condições reais de operação, incluindo variações de temperatura, vibração e a utilização de diferentes tipos de fluídos, para obter uma avaliação mais precisa da durabilidade dos sistemas.

Estudo de Impacto de Diferentes Tipos de Fluídos de Teste: investigar a influência de fluídos alternativos no desempenho dos testes hidrostáticos, considerando como diferentes propriedades físicas e químicas podem afectar a precisão das medições e a segurança dos equipamentos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Anderson, J. (1984). *Boiler Explosion Analysis.* New York: McGraw-Hill.

API. (1920). *Pressure Vessel Inspection Code.* API.

ASME. (2023). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels.* New York: The American Society of Mechanical Engineers.

BRUNETTI, F. (2008). *MECÂNICA DOS FLUIDOS* . São Paulo: Pearson Prentice Hall.

Fox, R. w. (2023). *FLUID MECHANICS* . United States of America: JOHN WILEY & SONS, INC.

Fry, R. (2015). *Sultana: Surviving the Civil War, Prison, and the Worst Maritime Disaster in American History.* New York: Taylor Trade Publishing.

JOSÉ, D. R. (2010). *TIPOS DE TROCADOR DE CALOR.* Santa Rosa: Instituto Federal Catarinese.

LOSITO, R. M. (2015). *ANÁLISE DE COMPORTAMENTO* . RIO DE JANEIRO: CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGIA CELSO SUCKOW DA FONSECA.

McGuire, D. (2011). *The ASME Code: A Historical Perspective.* ASME Press.

MUNSON, B. R. (2013). *Fundamentals of fluid mechanics.* John Wiley & Sins.

PEREIRA, J. d. (2024). *ANÁLISE DE EFEITOS DE TESTE HIDROSTÁTICO DE VASO DE PRESSÃO.* FLORIANÓPOLIS: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

Prof. Dr. BOHORQUEZ, W. O. (s.d.). *Trocador de Calor* . Juiz de Fora: UFJF.

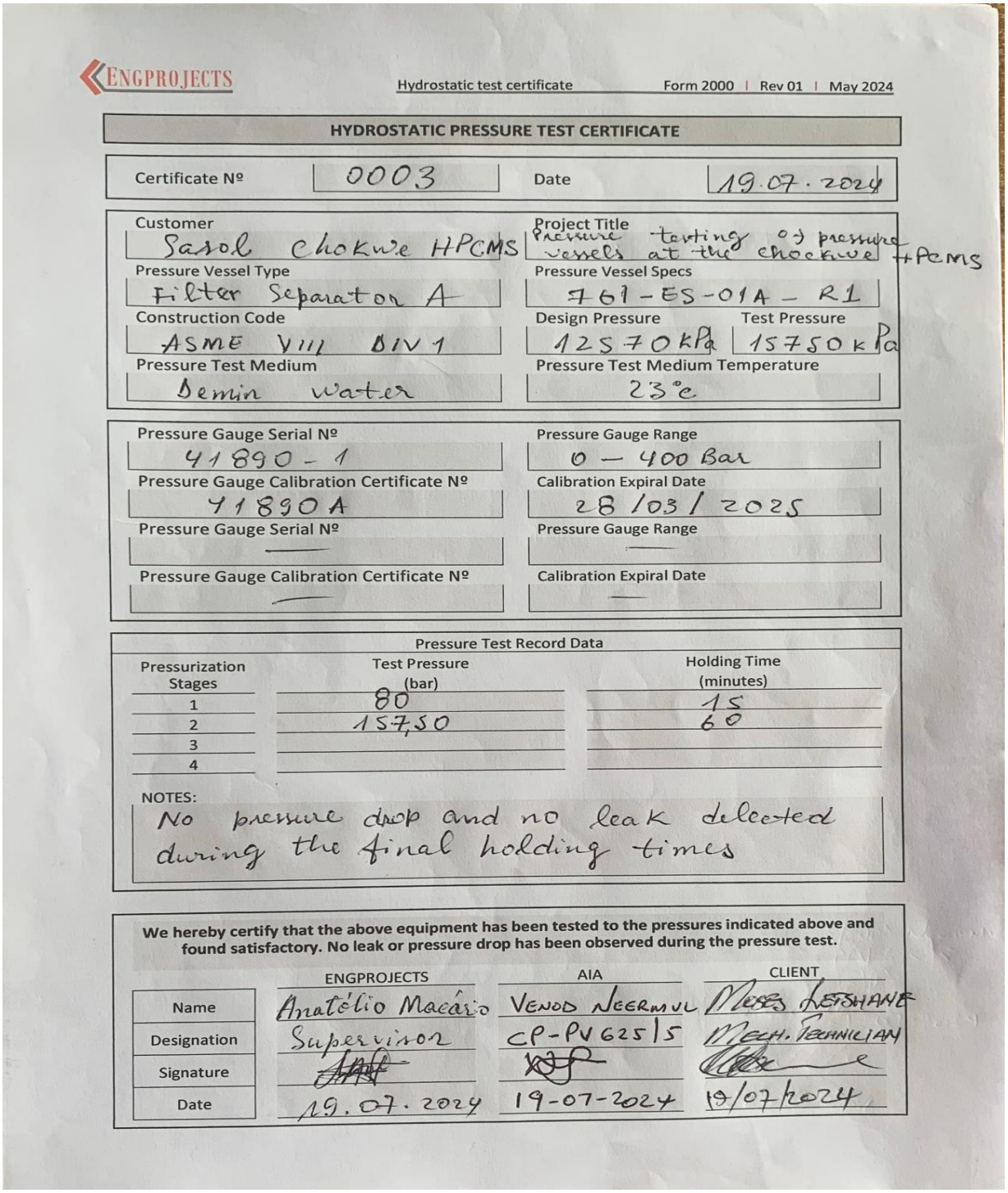
Roberto, F. (2021). *A História dos Vasos de Pressão e a Criação da Norma ASME.* ABERKO Vasos de pressão LTDA.

SASOL GÁS SOW. (2024). *Scope of work for pressure testing of Pressure Vessels at the Chokwe.* Maputo: Sasol Gás.

WHITE, F. M. (2011). *FLUID MECHANICS.* New York: McGraw-Hill.

ANEXOS

ANEXO 1: Certificado do Teste Hidrostático do Filtro



ENGPROJECTS — Hydrostatic test certificate — Form 2000 | Rev 01 | May 2024

HYDROSTATIC PRESSURE TEST CERTIFICATE

Certificate Nº: 0003	Date: 19.07.2024
Customer: Sasol Chokwe HPCMS	Project Title: Pressure testing of pressure vessels at the chokwe HPCMS
Pressure Vessel Type: Filter Separator A	Pressure Vessel Specs: 761-ES-01A - R1
Construction Code: ASME VIII DIV 1	Design Pressure: 12570 kPa / Test Pressure: 15750 kPa
Pressure Test Medium: Demin water	Pressure Test Medium Temperature: 23°c

Pressure Gauge Serial Nº: 41890 - 1	Pressure Gauge Range: 0 – 400 Bar
Pressure Gauge Calibration Certificate Nº: 41890A	Calibration Expiral Date: 28/03/2025
Pressure Gauge Serial Nº: —	Pressure Gauge Range: —
Pressure Gauge Calibration Certificate Nº: —	Calibration Expiral Date: —

Pressure Test Record Data

Pressurization Stages	Test Pressure (bar)	Holding Time (minutes)
1	80	15
2	15750	60
3		
4		

NOTES: No pressure drop and no leak detected during the final holding times

We hereby certify that the above equipment has been tested to the pressures indicated above and found satisfactory. No leak or pressure drop has been observed during the pressure test.

	ENGPROJECTS	AIA	CLIENT
Name	Anatólio Macário	VENOD NEERMUL	MOSES KEITSHANE
Designation	Supervisor	CP-PV625/5	MECH. TECHNICIAN
Signature			
Date	19.07.2024	19-07-2024	19/07/2024

ANEXO 2: Certificado do teste hidrostático do Trocador de Calor (*Tubeside*)

ENGPROJECTS

Hydrostatic test certificate — Form 2000 | Rev 01 | May 2024

HYDROSTATIC PRESSURE TEST CERTIFICATE

Certificate Nº	0004	Date	21/07/2024

Customer: Sasol chockwe HPCMS	Project Title: Pressure testing of pressure vessels at the chockwe HPCMS
Pressure Vessel Type: Gas Heat Exchanger A - Tubeside	Pressure Vessel Specs: 763-ES-001A
Construction Code: ASME VIII DIV I	Design Pressure: 12570 kPa — Test Pressure: 15750 kPa
Pressure Test Medium: Demin water	Pressure Test Medium Temperature: 23°C

Pressure Gauge Serial Nº: 41890-1	Pressure Gauge Range: 0 – 400 bar
Pressure Gauge Calibration Certificate Nº: 41890A	Calibration Expiral Date: 28/03/2025
Pressure Gauge Serial Nº: —	Pressure Gauge Range: —
Pressure Gauge Calibration Certificate Nº: —	Calibration Expiral Date: —

Pressure Test Record Data

Pressurization Stages	Test Pressure (bar)	Holding Time (minutes)
1	80	15
2	157,5	60
3		
4		

NOTES:
No pressure drop and no leaks detected during all phases of the test

We hereby certify that the above equipment has been tested to the pressures indicated above and found satisfactory. No leak or pressure drop has been observed during the pressure test.

	ENGPROJECTS	AIA	CLIENT
Name	Anatólio Macário	VENOD NEERMUL	V. MABULANDI
Designation	Supervisor	CPPV 625/5	FORZBRAND
Signature	[signature]	[signature]	[signature]
Date	21/07/2024	21/07/2024	26.07.2024

ANEXO 3: Certificado do teste hidrostático do Trocador de Calor (*Shellside*)

ENGPROJECTS

Hydrostatic test certificate Form 2000 | Rev 01 | May 2024

HYDROSTATIC PRESSURE TEST CERTIFICATE

Certificate Nº	0005	Date	21.07.2024

Customer: Sasol Chockwe HPCMS	Project Title: Pressure testing of pressure vessels at the Chockwe HPCMS
Pressure Vessel Type: Gas Heat Exchanger B-Shellside	Pressure Vessel Specs: 763-ES-01A
Construction Code: ASME VIII DIV 1	Design Pressure: 600 kPa / Test Pressure: 780 kPa
Pressure Test Medium: Demin water	Pressure Test Medium Temperature: 23 °C

Pressure Gauge Serial Nº: ENG 001	Pressure Gauge Range: 0 – 25 bar
Pressure Gauge Calibration Certificate Nº: 01240150	Calibration Expiral Date: 18.07.2025
Pressure Gauge Serial Nº: —	Pressure Gauge Range: —
Pressure Gauge Calibration Certificate Nº: —	Calibration Expiral Date: —

Pressure Test Record Data

Pressurization Stages	Test Pressure (bar)	Holding Time (minutes)
1	4	15
2	7,8	60
3		
4		

NOTES:
No pressure drop and no leaks detected during all phases of the test

We hereby certify that the above equipment has been tested to the pressures indicated above and found satisfactory. No leak or pressure drop has been observed during the pressure test.

	ENGPROJECTS	AIA	CLIENT
Name	Anatólio Macário	Vinod Neerumul	V. Mabelane
Designation	Supervisor	CPPV 625/5	[illegible]
Signature	[signature]	[signature]	[signature]
Date	21.07.2024	21-07-2024	26.07.2024

ANEXO 4: Certificado de calibração do manómetro 41890-1

SARUM HYDRAULICS
ISSUED ENG PROJECTS
DATE 10/5/24
Uncontrolled Copy
SN · 41890-1
Pump . 247265

Certificate of Calibration

ASHFORD INSTRUMENTS
0044 (0) 1233 730999

Ashford Instrumentation Ltd
Units 2 & 3 Fairview Ind Park
Hamstreet Road
Ruckinge, Ashford
Kent, TN26 2PL
Tel: 0044 (0)1233 730999
Email: sales@ashinst.com

Pressure Gauge Calibration Certificate

Product:	Pressure Gauge	Certificate Number:	41890A
Instrument Range	0-6000 PSI	Serial Number:	41890-1
Accuracy % FSD	1.60%	Sales Order	41890
Maximum Error	96.0 PSI	Calibration Date:	28/03/2024
Test Units	PSI	Calibration Medium:	WATER
Calibration Temp:	20C (+/-2C)	Recommended Cal. Due	28/03/2025

	RISING PRESSURE		FALLING PRESSURE	
Test Reading	Master Reading	Error	Master Reading	Error
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1028.8	28.8	1015.2	15.2
2000	2033.0	33.0	2000.3	0.3
3000	3004.7	4.7	2945.6	54.4
4000	3992.1	7.9	3916.8	83.2
5000	4973.0	27.0	4950.5	49.5
6000	5982.8	17.2		

The above instrument has been tested against the master test equipment below in accordance with the requirements of EN837-1 and our Workshop Procedure WT031.

Comments:
Instrument found to be within the manufacturers stated accuracy class.

MASTER TEST EQUIPMENT DETAILS

Standard:	SPMK700-400 Bar	Accuracy:	0.05%
Serial Number:	700206200213	Certificate Number:	114690
Calibration Date:	20/02/2024	Calibration Due:	20/02/2025

This Calibration Equipment Is Traceable To UKAS Laboratory 0822

Signed (On Behalf Of Ashford Instrumentation Ltd)

P:\CALIBRATION\Customer Calibrations Copies\Customer Certs 2024\41890A SARUM.xlsm

ANEXO 5: Certificado de calibração do manómetro ENG 001

EMETRO
Metrologia, Calibração e Certificação

Certificado credenciamento INNOQ – MI002
Decreto-lei nº2/2020

Certificado de Calibração

ME 03.1

Certificado n.º 01240150 **Rev.** 0 **Data** 18/07/2024

CLIENTE

Nome ENGPROJECTS, S.A
Morada Beluluane industrial park, parcel 113 Boane
Maputo - Moçambique

EQUIPAMENTO

Designação Manómetro 0 -25 bar , 1/4" Vertical, S/ Glicerina
Referência **N.º série** "---

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Temperatura 26,6ºC **Humidade Relativa** 49,7%

DATA DE CALIBRAÇÃO 18/07/2024

PROCEDIMENTO PTE 02.1

RASTREABILIDADE

Os resultados apresentados neste certificado são rastreados a padrões nacionais ou internacionais que realizam as unidades de medição de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI).

INCERTEZA

A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo facto de expansão k=2, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.
A estabilidade a longo prazo do equipamento não foi considerada.

Bairro do Tchumene II
Parcela 3380/21/A
Matola – Maputo
Moçambique

+258 857 734 270
geral@emetro-mz.com

EMETRO
Metrologia, Calibração e Certificação

www.emetro-mz.com

Certificado de Calibração

ME 03.1

Certificado n.º 01240150 **Rev.** 0 **Data** 18/07/2024

RESULTADOS

Leitura no Padrão (bar)	Leitura no Equipamento Ascendente (bar)	Leitura no Equipamento Descendente (bar)	Leitura no Equipamento Média (bar)	Leitura no Equipamento Erro Médio (bar)	Incerteza (bar)	k
5,000	4,810	4,770	4,790	-0,210	0,284	1,960
10,000	9,670	9,640	9,655	-0,345	0,284	1,960
15,000	14,630	14,610	14,620	-0,380	0,283	1,960
20,000	19,760	19,620	19,690	-0,310	0,300	1,961
22,500	22,210	22,130	22,170	-0,330	0,289	1,960

Erro Máximo de Histerese = 0,140 bar

Gama: 0 a 350 bar

Resolução: 0,01 bar

Posição: Vertical

CALIBRADO POR:

Ricardo Manjate

APROVADO POR:

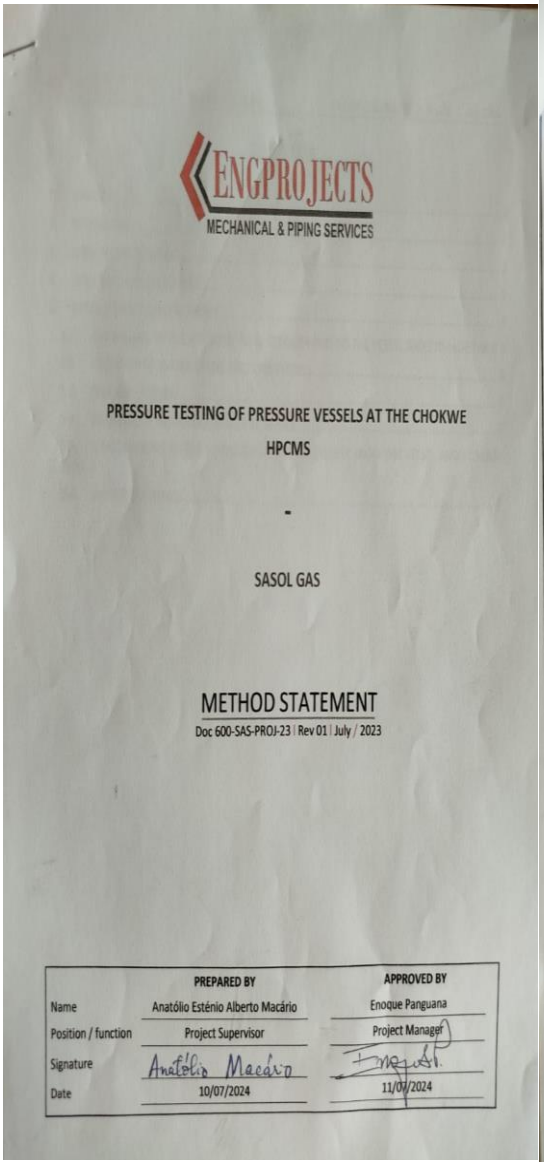
Nelson Fortes

NOTA: Está proibido a reprodução deste documento, no todo ou em parte, sem autorização por escrito da EMETRO.

Bairro do Tchumene II
Parcela 3380/21/A
Matola – Maputo
Moçambique

+258 857 734 270
geral@emetro-mz.com

ANEXO 7: Capa e lista de conteúdo do *Method statement*



ENGPROJECTS
MECHANICAL & PIPING SERVICES

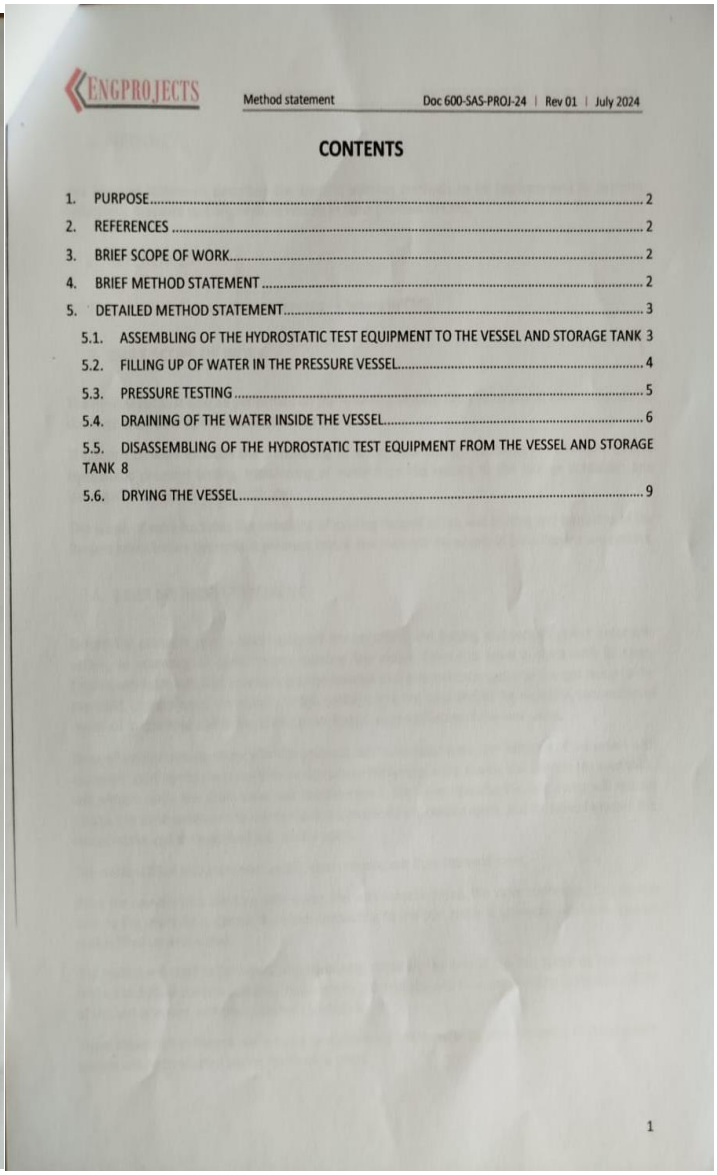
PRESSURE TESTING OF PRESSURE VESSELS AT THE CHOKWE HPCMS

-

SASOL GAS

METHOD STATEMENT
Doc 600-SAS-PROJ-23 | Rev 01 | July / 2023

	PREPARED BY	APPROVED BY
Name	Anatólio Esténio Alberto Macário	Enoque Panguana
Position / function	Project Supervisor	Project Manager
Signature	Anatólio Macário	
Date	10/07/2024	11/07/2024



CONTENTS

1. PURPOSE 2
2. REFERENCES 2
3. BRIEF SCOPE OF WORK 2
4. BRIEF METHOD STATEMENT 2
5. DETAILED METHOD STATEMENT 3
5.1. ASSEMBLING OF THE HYDROSTATIC TEST EQUIPMENT TO THE VESSEL AND STORAGE TANK 3
5.2. FILLING UP OF WATER IN THE PRESSURE VESSEL 4
5.3. PRESSURE TESTING 5
5.4. DRAINING OF THE WATER INSIDE THE VESSEL 6
5.5. DISASSEMBLING OF THE HYDROSTATIC TEST EQUIPMENT FROM THE VESSEL AND STORAGE TANK 8
5.6. DRYING THE VESSEL 9