

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



PROJETO DE INVESTIGAÇÃO E AVALIAÇÃO DOCUMENTAL DA INTEGRIDADE DE VASOS DE PRESSÃO

FORTALEZA

2019

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



DADOS DO CASE

Categoria:

Infraestrutura.

Autores:

- Helder Maia Torquato – Nacional Gás.
Contatos: helder.maia@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8849
- Manoel Soares de Lima Filho – Nacional Gás.
Contatos: manoel.soares@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8951
- Milton Sérgio Mendes Silva – Nacional Gás.
Contatos: milton.mendes@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8934
- Tácio Leandro Pereira Serafim – Nacional Gás.
Contatos: tacio.serafim@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8951
- Thiago Alencar Luna Ferreira – Nacional Gás.
Contatos: thiago.alencar@nacionalgas.com.br
(085) 3466.7421
- Wildenbergery Pereira Lucas – Nacional Gás.
Contatos: wildenbergery.lucas@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8921

RESUMO

A indústria de gás LP é um segmento que necessita de muita atenção quanto a segurança operacional, por se tratar de um produto inflamável, é de suma importância que todos os equipamentos envolvidos na cadeia produtiva estejam em perfeito funcionamento para que seja evitado qualquer tipo de acidente. Um dos equipamentos mais utilizados no processo produtivo é o vaso de pressão, através deste é possível armazenar todo o estoque de GLP, em fase líquida e gasosa até que seja destinado ao envase ou transporte ao consumidor final. O vaso de pressão é o equipamento que possui fluido sob pressão interna e externa e as suas condições de segurança de operação são regulamentadas no Brasil pela Norma Regulamentadora nº 13 (NR-13). A NR-13 estabelece que devem ser realizadas inspeções internas e externas periódicas para garantir a segurança e o correto funcionamento dos vasos de pressão. Durante as inspeções internas periódicas são calculadas as pressões máximas de trabalho admissíveis (PMTA) dos vasos de pressão, que utiliza valores da eficiência das juntas soldada, espessura da chapa, tensão admissível do material, raio interno e geometria do vaso para serem calculadas. Além das condições de segurança de operação dos vasos de pressão, para a indústria de GLP, grande parte destes equipamentos são construídos de acordo com a The American Society of Mechanical Engineers (ASME). Por vezes, durante o recálculo da PMTA dos vasos de pressão nas inspeções internas, é possível que os resultados estejam abaixo do valor de 17,58 kgf/cm² adotado pela indústria, neste caso as atividades deste vaso ficam limitadas ou interrompidas o que pode impactar diretamente nos custos e funcionamento das bases que o utilizam. Em alguns vasos de pressão antigos ou que não tenham sido fabricados com processos de rastreabilidade adequado é comum que não sejam encontrados os documentos originais de fabricação nos quais constam, além de outras informações importantes, o material de construção, parâmetros de inspeção, procedimentos de soldagem, eficiência de juntas soldadas e certificados de qualidade. A partir desse problema, a Nacional Gás iniciou um estudo e atividades que visam garantir a segurança na operação dos vasos de pressão e elevar a PMTA em vasos que

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



apresentaram redução desse parâmetro. Realizou-se atividades como revisão bibliográfica; inspeções internas e externas; recalculo da PMTA; ensaio de metalografia; ensaio de partículas magnéticas; ultrassom e enquadramento correto do material dos vasos de pressão segundo o código ASME. No presente trabalho utilizamos as atividades desenvolvidas em um vaso de pressão de uma das filiais da empresa, onde, se fez necessário recuperar ou realizar enquadramento das características do vaso nas referências de normas existentes. Consequentemente utilizar as propriedades mecânicas precisas e a eficiência da junta soldada do vaso de pressão, a fim de realizar o recalculo e elevação da PMTA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de execução de ensaio de ultrassom.	17
Figura 2 – Exemplo de vasos de pressão.	22
Figura 3 – Localização das áreas analisadas (casco).	31
Figura 4 – Réplica metalográfica 50 µm.	32
Figura 5 – Réplica metalográfica 25 µm.	32
Figura 6 – Remoção da tinta dos encontros soldados e soldas longitudinais.	34
Figura 7 – Lixamento completo da área a ser analisada.	35
Figura 8 – Ensaio de partícula magnética.	35
Figura 9 – Ensaio de partícula magnética no interior do vaso.	36
Figura 10 – Ensaio de ultrassom dos encontros soldados.	37

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



GRUPO
EdsonQueiroz

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos de ensaio x variáveis.....	15
Quadro 2 – Composição química de um material.	33
Quadro 3 – Resultado das análises.	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda	9
1.2 Cenário	10
2. PROBLEMAS ENCONTRADOS	12
3. OBJETIVOS	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1 Ensaio não destrutivos	14
4.1.1 Inspeção visual	15
4.1.2 Ensaio de ultrassom	16
4.2 Ensaio de partículas magnéticas	17
4.3 Metalografia	18
4.4 Dureza	19
4.5 Composição química	20
4.6 ASME	20
4.7 Vasos de pressão	22
4.7.1 Definição e uso	22
4.7.2 Inspeção em vasos de pressão	23
4.8 Temperaturas e pressões de operação, projeto e máximas de um vaso de pressão .	24
5. MÉTODOS	26
6. RESULTADOS	30
6.1 Realização das inspeções externa e interna	30
6.2 Metalografia	30

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



GRUPO
EdsonQueiroz

6.4	Ensaio de ultrassom.....	36
6.5	Recálculo da PMTA	37
7.	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda

A história da Nacional Gás se inicia em 1951, com um jovem empreendedor chamado Edson Queiroz que percebeu mudanças que estavam ocorrendo no mercado mundial na época e trouxe as mesmas para realidade dos cearenses. No início houve uma grande resistência da população devido ao receio do GLP, no entanto o jovem Edson conseguiu convencer a população de Fortaleza a deixar os antigos fogões a lenha pelos novos fogões que utilizavam o novo produto. No início a empresa teve enormes dificuldades, pois além do grande preconceito do povo nordestino com o produto, ainda era difícil a obtenção de GLP, pois o produto era importado do México e Estados Unidos e ainda existia a dificuldade de distribuição do mesmo. Para conseguir superar esses obstáculos foi preciso que o jovem empresário passasse a vender fogões, além de ter que ir pessoalmente nas casas dos clientes para fazer a instalação e informar sobre as vantagens dos novos produtos.

Em 1953, após uma ação arrojada, Edson Queiroz obteve a autorização para carregar seus botijões de gás na Refinaria Lanulfo Alves em Mataripe/BA. A partir desta concessão, a Edson Queiroz & Cia., que tinha 289 clientes e comercializava 2,9 toneladas por mês, a partir dessa ação foram reduzidos os custos para obtenção do GLP, conseguindo progressos significativos na distribuição. Por outro lado, o mercado continuava crescendo com a disruptiva do preconceito dos consumidores em Fortaleza. Foi quando a empresa iniciou um crescimento e ampliou para outros estados do Brasil, além deste fato, também se estendeu para outras atividades econômicas.

A Nacional Gás chega aos dias atuais com foco na modernidade, com destaque nacional na comercialização de envasados domiciliar e crescendo cada vez mais no setor granel, graças ao reconhecimento e preferência dos seus parceiros de negócios,

clientes e consumidores. Atuando no armazenamento, envase e distribuição de GLP, está presente em quase todo o território nacional.

1.2 Cenário

O processo de envase de GLP é realizado em terminais que armazenam, envazam e distribuem o produto. Uma das principais preocupações de um terminal como este é a segurança, tanto devido ao armazenamento temporário do GLP, realizado em vasos de pressão, quanto pela operação envolvida no processo de envase e distribuição do produto. A segurança é essencial para os colaboradores que estão inseridos na empresa e para a sociedade.

Devido a este fato, a Nacional Gás está sempre atenta para possíveis causas de insegurança em seus terminais, e utiliza de tecnologias avançadas e profissionais extremamente capacitados para prever possíveis sinistros que possam ocorrer. Uma das ações tomadas da companhia é capacitar seus colaboradores para que sempre busquem possíveis falhas que possam causar algum tipo de acidente ou anomalia.

Visto que o armazenamento do gás LP é uma atividade inerente à cadeia produtiva, é necessário garantir o correto funcionamento dos vasos de pressão, eliminando qualquer possibilidade de risco operacional. Equipamentos como vasos de pressão, que por passarem por tratamentos preventivos mantêm sua integridade e funcionalidade por muitos anos.

A Norma Regulamentadora nº 13 (NR-13) é a norma que rege as condições de segurança de operação dos vasos de pressão no Brasil. A NR-13 estabelece que devem ser realizadas inspeções internas e externas periódicas para garantir a segurança e o correto funcionamento dos vasos de pressão.

Durante as inspeções obrigatórias nos vasos de pressão é verificado a integridade do vaso, condições de operação e segurança. A pressão máxima de trabalho

admissível (PMTA), ou seja, a pressão limite que o vaso pode ser submetido às condições operacionais, necessita para seu cálculo o valor da eficiência das juntas soldada, espessura da chapa, tensão admissível do material, raio interno e geometria do vaso.

Em alguns vasos de pressão antigos ou que não tenham sido fabricados com processos de rastreabilidade adequado é comum que não sejam encontrados os documentos originais de fabricação nos quais constam além de outras informações importantes, o material de construção, parâmetros de inspeção, procedimentos de soldagem, eficiência de juntas soldadas e certificados de qualidade. Desta forma, não é possível tecnicamente garantir que o vaso possui condições de operação seguras.

Sem possibilidade de garantir condições seguras, os vasos de pressão precisam ser retirados de operação nestes casos. Além da segurança, outros pontos a serem levados em consideração são o impacto na capacidade de armazenamento de GLP e custo para substituição de um ativo com alto valor agregado.

Analisando as possibilidades técnicas para dar condições para esses vasos continuem a operar em segurança a engenharia oferece soluções para sanar essa necessidade, onde normalmente adota-se alternativas que melhor atendem ao custo e benefício.

2. PROBLEMAS ENCONTRADOS

Devido à falta de evidências documentais que os vasos de pressão foram totalmente radiografados durante a fabricação e qual foi material utilizado na sua construção, ao realizar as inspeções externa e interna e recálculo da PMTA dos mesmos, adotamos a condição mais crítica, optando por um material com baixas propriedades mecânicas e a menor eficiência de junta soldada conforme o código ASME.

Assim, quando a PMTA é reduzida à valores inferiores a 17,58 kgf/cm², iniciamos a avaliação das juntas soldadas, análise documental e do material de construção.

Após a execução das atividades propostas nesse estudo, em alguns casos, é possível elevar a eficiência da junta soldada e especificar o material, encontrando assim as suas propriedades mecânicas corretas. Através dos procedimentos citados poderá ser aumentada a PMTA do vaso de pressão, retornando o vaso às condições normais de operação.

3. OBJETIVOS

Desenvolver estudo e atividades que visam garantir a segurança na operação dos vasos de pressão e elevar a PMTA em vasos que apresentaram redução desse parâmetro.

- Obter o material de construção do vaso de pressão e suas propriedades mecânicas;
- Realizar inspeções externa e interna para analisar acessórios, padrões dimensionais, descontinuidades e defeitos;
- Executar ensaio de partícula magnética para avaliar descontinuidades e defeitos superficiais da junta soldada;
- Executar ensaio de ultrassom para avaliar e localizar descontinuidades e defeitos da junta soldada;
- Recalcular a PMTA após a realização das análises e inspeções;
- Reconstituir o prontuário dos vasos de pressão.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Ensaios não destrutivos

São técnicas utilizadas nas indústrias na análise de falhas, que possuem a finalidade de detectar características e verificar propriedades mecânicas dos materiais [7]. Caracteriza-se o ensaio não destrutivo aquele que não agride ou modifica a integridade do material, ou seja, são ensaios que, ao serem aplicados, não afetam ou causam prejuízo no funcionamento posterior da peça, total ou parcialmente [8].

Os END são bastante utilizados em inspeções de materiais metálicos, onde seu uso pode ajudar a identificar falhas e descontinuidades que não são percebidas inicialmente a olho nu.

Existem diferentes tipos de ensaios não destrutivos, como exemplo, podemos citar: ultrassom, líquido penetrante, partículas magnéticas, inspeção visual, radiografia, correntes parasitas, entre outros. Tais ensaios possuem graus de complexidade e equipamentos diferentes para serem realizados, o que acaba tornando-os específicos para cada situação que serão aplicados. O Quadro 1 estabelece algumas relações que devem ser consideradas durante a escolha do ensaio.

Quadro 1 – Métodos de ensaio x variáveis.

Variáveis	Método de ensaio				
	Ultrassom	Raios-X	Correntes parasitas	Partículas magnéticas	Líquidos penetrantes
Capital	Médio para alto	Alto	Baixa para média	Médio	Baixo
Tempo para os resultados	Imediato	Atraso	Imediato	Pequeno atraso	Pequeno atraso
Efeito da geometria	Importante	Importante	Importante	Não tão importante	Não tão importante
Problemas de acesso	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante
Tipos de defeito	Internos	Maioria	Externos	Externos	Superficiais
Sensibilidade	Alta	Média	Alta	Baixa	Baixa
Registros formais	Caros	Padrão	Caros	Não usual	Não usual
Habilidade do operador	Alta	Alta	Média	Baixa	Baixa
Treinamento dos operadores	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante
Necessidade de formação	Alta	Alta	Média	Baixa	Baixa
Portabilidade do equipamento	Alta	Baixa	Alta para média	Alta para média	Alta
Dependência da composição do material	Muito baixo	Bastante	Muito	Somente ferromagnéticos	Pouca
Capacidade de automatização	Boa	Razoável	Boa	Pouca	Pouca

Fonte: Extraída de [7].

4.1.1 Inspeção visual

Apesar da simplicidade, a inspeção visual é um importante ensaio utilizado amplamente na indústria para identificação de falhas superficiais. É uma das mais antigas atividades nos setores industriais, e o primeiro Ensaio Não Destrutivo aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, estando associado a outros ensaios de materiais.

Além disso, é um importante recurso na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial e na observação de descontinuidades superficiais visuais em materiais e produtos em geral, tais como trincas, corrosão,

deformação, alinhamento, cavidades, porosidade, montagem de sistemas mecânicos e muitos outros. [2]

Ao contrário dos demais END, a inspeção visual não possui custos elevados, visto que necessita apenas de acesso a estrutura do material e não adota grandes equipamentos para sua realização. Porém, para que esse ensaio seja feito de forma eficiente é necessário que o profissional possua habilitação e experiência na execução do mesmo.

4.1.2 Ensaio de ultrassom

O ultrassom é utilizado para detectar e descrever descontinuidades no material, pois essa falta de continuidade causa dispersão do feixe sônico, que pode ser observada no eco. Usando as propriedades de retorno do som (velocidade e tempo) é possível descrever a posição, a dimensão e a geometria da descontinuidade, o que torna possível prever a severidade e um possível dano ao componente inspecionado [9].

O método é aplicado em matérias-primas, em inspeção durante o processo de materiais em construção e para as inspeções em serviço (como parte de programas de manutenção em serviço). Embora a maioria das aplicações envolva materiais metálicos, os ensaios ultrassônicos são também vistos na inspeção de plásticos, compostos, concreto, produtos de madeira e materiais especialmente relacionados. [7]

O ultrassom é bastante utilizado também para inspeções de elementos de solda em vasos de pressão, verificando descontinuidades e falhas internas, além de prover informações como a espessura da chapa estrutural dos equipamentos. A Figura 1 ilustra como é realizado o ensaio das juntas soldadas em um vaso de pressão.

Figura 1 – Exemplo de execução de ensaio de ultrassom.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2 Ensaio de partículas magnéticas

O processo consiste em submeter a peça, ou parte desta, a um campo magnético. Na região magnetizada da peça, as descontinuidades existentes, ou seja, a falta de continuidade das propriedades magnéticas do material, irão causar um campo de fuga do fluxo magnético. Com a aplicação das partículas ferromagnéticas, ocorrerá a aglomeração destas nos campos de fuga, uma vez que serão por eles atraídas devido ao surgimento de polos magnéticos. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e da extensão da descontinuidade [2].

Algumas das características da técnica são [4]:

- Capacidade de detectar descontinuidades superficiais e subsuperficiais;
- É um método portátil e os procedimentos para análise das peças é simples e fácil;
- Possível de ser realizado em peças de geometrias complexas;

- É uma técnica relativamente de baixo custo.

As limitações do ensaio por partículas magnéticas são:

- A técnica é aplicável somente em materiais ferromagnéticos;
- Baixa sensibilidade para descontinuidades esféricas;
- Só pode ser automatizado com sucesso nas etapas manuais;
- A interpretação dos resultados deve ser realizada por pessoal qualificado;
- Apesar da existência de especificações e padrões fotográficos, sempre existirá o elemento subjetivo na interpretação dos resultados;
- Normalmente o ensaio é limitado a áreas com fácil acesso.

4.3 Metalografia

A metalografia, se for encarada como o uso de aspectos visuais do metal para o controle de suas propriedades, surge no Oriente por volta de 800 d.C. Nesta época, metalurgistas usavam materiais compósitos (aço alto carbono altamente segregado ou uma combinação de aço e ferro) para produção do aço por forjamento, produzindo uma microestrutura visível a olho nu [3].

O primeiro ensaio de investigação metalográfica em metal foi realizado pelo inglês Henry Sorby em 1863 [3]. Sorby adaptou o microscópio óptico para trabalhar com a luz refletida na pesquisa da microestrutura de meteorito de ferro (já estudado em 1820 por Widmanstätten e Scribers, usando o ataque com ácido nítrico na superfície polida). Sorby foi o primeiro pesquisador a estudar como a microestrutura do aço (tratado como um meteorito artificial) variava com a sua composição química, tratamento térmico e processo de manufatura, sendo reconhecido como o pai da metalografia [3].

A metalografia consiste na preparação de uma superfície plana e polida, devidamente atacada por um reativo adequado, observação e interpretação da estrutura e obtenção de um documento que reproduza os resultados obtidos no exame. A estrutura dos metais pode ser abordada em três níveis: estrutura cristalina, microestrutura e macroestrutura. A metalografia convencional estuda os metais no nível de suas microestrutura e macroestrutura, enquanto a metalografia moderna atua no nível das estruturas cristalina e sub-microscópica. [6]

A macrografia consiste na preparação de uma superfície plana, através do lixamento sucessivo da amostra e do ataque desta superfície por um reativo adequado e na interpretação dos resultados, enquanto a micrografia, apesar de semelhante na preparação da amostra, o lixamento será conduzido até uma lixa mais fina (número 600). E em seguida, a amostra deve ser polida de forma especular e então atacada pelo reativo. [6]

4.4 Dureza

Existe uma grande variedade de métodos usados para determinar a dureza de um material, os mais comuns são Brinell e Rockwell.

O ensaio de dureza Brinell, utiliza uma máquina de mesa para aplicar uma carga especificada através de um indentador esférico de um diâmetro especificado. O número de dureza Brinell, O ensaio Brinell é usado para determinar a dureza de peças forjadas e fundidas que apresentam uma estrutura de grãos maiores. [10]

Assim como o ensaio Brinell o ensaio Rockwell utiliza uma máquina para aplicar uma carga específica e, em seguida, mede-se a profundidade da impressão resultante. O indentador pode ser uma esfera de aço de diâmetro específico ou um cone esférico com ponta de diamante. Nesse ensaio, uma pré-carga de 10 kg é aplicada, causando uma pequena impressão inicial para acomodar o penetrador e remover os efeitos de quaisquer irregularidades superficiais. [10]

Para fins de conhecimento do material, a propriedade mecânica dureza também é importante, está também auxilia a caracterizar o material, pois cada material possui uma dureza característica, dessa forma usa-se a dureza para reafirmar evidências do tipo de material que está sendo analisado.

4.5 Composição química

A análise química dosa os elementos que intervêm na composição do material. Através dessa análise é possível identificar a quantidade de cada elemento o que interfere diretamente nas propriedades do material. As propriedades mecânicas dependem do controle da composição química e dos parâmetros de processamento termomecânico controlado. [12]

Através da combinação das quantidades de elementos químicos obtêm-se diferentes propriedades mecânicas e físicas, podendo assim serem manipuladas para as mais diversas aplicações ou adequar melhor as necessidades.

4.6 ASME

ASME (The American Society of Mechanical Engineers) atende a uma ampla comunidade de engenharia através do aprendizado da qualidade, desenvolvimento de códigos e normas, certificações, pesquisa, conferências e publicações, relações governamentais e outras formas de divulgação.

A ASME é uma organização sem fins lucrativos que permite colaboração, compartilhamento de conhecimento, enriquecimento na carreira e desenvolvimento de habilidades em todas as disciplinas de engenharia, com o objetivo de ajudar a comunidade global de engenharia a desenvolver soluções para beneficiar vidas e meios de subsistência. Fundada em 1880 por um pequeno grupo de industriais líderes, a ASME

creceu ao longo das décadas para incluir mais de 100.000 membros em mais de 140 países. Trinta e dois mil desses membros são estudantes [1].

Os padrões e normas de projetos estabelecidos pela organização em questão é aceita mundialmente e seguida para quase todos os padrões de fabricação de componentes e equipamentos.

Como exemplo de padrões seguidos podemos citar o código ASME Boiler & Pressure Vessel Code - BPVC que regulamenta o projeto e construção de caldeiras e vasos de pressão. Sua documentação é escrita e mantida por voluntários escolhidos de acordo com sua capacidade profissional.

O código ASME citado possui 12 seções:

- Seção I – Construção Caldeiras de Energia
- Seção II – Materiais
- Seção III – Construção de Componentes Nucleares
- Seção IV – Construção Caldeiras de Aquecimento
- Seção V – Ensaios Não Destrutivos
- Seção VI – Operação com Caldeiras de Aquecimento
- Seção VII – Operação com Caldeiras de Energia
- Seção VIII – Construção de Vasos de Pressão
- Seção IX – Qualificação para Soldagem, Brasagem e Fusão
- Seção X – Construção de Vasos Plásticos Reforçados com Fibra de Vidro
- Seção XI – Inspeção em Componentes Nucleares
- Seção XII – Construção de Vasos de Pressão em Veículos

4.7 Vasos de pressão

4.7.1 Definição e uso

Define-se vaso de pressão o equipamento que possui fluido sob pressão interna ou externa, definido no anexo III da Norma Regulamentadora número 13 (NR-13) [6].

No Brasil as condições de operação e trabalho desse equipamento é regido pela NR-13, onde define-se todas as condições de segurança as quais devem ser seguidas para garantir a integridade física das pessoas e bens envolvidos no processo.

Figura 2 – Exemplo de vasos de pressão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Vasos de pressão podem ser construídos de materiais e formatos geométricos variados em função do tipo de utilização a que se destinam. Desta forma existe vasos de pressão esféricos, cilíndricos, cônicos etc. Construídos em aço carbono, alumínio, aço inoxidável, fibra de vidro e outros materiais.

Os vasos de pressão podem conter líquido, gases ou misturas destes. Algumas aplicações são: armazenamento final ou intermediário, amortecimento de pulsação, troca de calor, contenção de reações, filtração, destilação, separação de fluidos, criogenia etc. Por serem equipamentos pressurizados existe a preocupação em caso de rompimento, causando a descompressão explosiva podendo gerar perdas materiais e humanas.

Para a indústria de gás LP os vasos de pressão são equipamentos utilizados no armazenamento de líquidos e gases e tal armazenamento é executado temporariamente até que sejam utilizados nos processos.

4.7.2 Inspeção em vasos de pressão

A inspeção em vasos de pressão tem por função garantir a qualidade, integridade e a segurança tanto da parte estrutural onde está instalado como dos envolvidos em sua operação. Com isso foi necessário determinar critérios, normatizar e fiscalizar para que se tenha um controle e posterior garantia da execução da inspeção.

A NR-13 foi criada em 08 de junho de 1978 pelo Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, tem como objetivo regulamentar a inspeção de segurança em caldeiras, vasos de pressão e tubulações. A norma prevê que os vasos de pressão deverão ser expostos a inspeções de segurança extraordinária, inspeção inicial e inspeção periódica. Essas inspeções deverão conter o exame externo e exame interno considerando o acesso interno, revestimento interno e local de instalação.

Essas inspeções indicam se os vasos de pressão estão aptos a operar ou possuem não conformidades, que deverão ser corrigidas para que o equipamento volte a operar normalmente. Todas as não conformidades são listadas e informadas as recomendações, onde poderemos ter desde a reconstituição de documentos a reparos com solda na estrutura do vaso de pressão.

4.8 Temperaturas e pressões de operação, projeto e máximas de um vaso de pressão

A temperatura e pressão de operação de um vaso são aquelas o qual o mesmo irá operar em condições normais. Durante seu ciclo de vida, um vaso raramente opera em uma única pressão e temperatura e pode ocorrer variações de menor e maior amplitude [1].

Considera-se pressão e temperatura de projeto os valores nas condições de projeto do vaso de pressão, ou seja, valores considerados em cálculos utilizados no projeto do vaso. Adota-se a pressão de projeto a pressão correspondente às condições mais severas de pressão e temperatura coincidentes que possam ser previstas em serviço normal [1].

Segundo TELLES (2009), no caso de vasos projetados para pressão interna, é usual adotar-se para a pressão de projeto a maior dos seguintes valores:

- Pressão máxima de operação, acrescida de 5%, quando o dispositivo de alívio de pressão for operado por válvula piloto e 10% nos demais casos;
- 1,5 kg/cm², manométricos.

A pressão máxima de trabalho admissível pode se referir a cada uma das partes de um vaso, ou ao vaso considerado como um todo [11].

As equações que calculam a PMTA são regidas pela mesma norma de projeto adotada para cálculo do vaso. Pela definição do código ASME, Seção VIII, Divisão 1 o cálculo da PMTA deve ser feito em função das espessuras corroídas. Existem equações para diferentes tipos de geometria de vasos, podendo citar como exemplo a equação 1, referente para cálculo para casco cilíndrico e a equação 2, referente ao cálculo de tampos semiesféricos.

$$P_c = \frac{SEt}{R+0,6t} \quad (1)$$

$$P_t = \frac{2SEt}{R+0,2t} \quad (2)$$

Onde,

E = coeficiente de eficiência de solda;

S = tensão admissível básica do material;

R = raio interno do cilindro;

T = espessura mínima para pressão interna;

P_c = PMTA de casco cilíndricos;

P_t = PMTA de tampos semiesféricos.

5. MÉTODOS

Etapa 01 – Revisão bibliográfica

Tomando como referência base para construção e reparos; inspeção e qualificação de processo de soldagem, foram consultados os ASME Boiler and Pressure Vessel Section V - Nondestructive Examination (ASME V), ASME Boiler and Pressure Vessel Section VIII Div.1 – Rules for Construction of Pressure Vessels (ASME VIII div.1), ASME ASME Boiler and Pressure Vessel Section Section IX – Welding and Brazing Qualifications (ASME IX) e a API 510 Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, And Alteration.

Também serão pesquisados artigos científicos publicados em revistas qualificadas na área do assunto em questão, para investigarmos a comprovação ou explanação de teorias sobre o assunto.

Etapa 02 – Realização das inspeções externa e interna

As inspeções externas e internas periódicas são obrigatórias segundo a NR-13, pois garantem o funcionamento adequado dos vasos de pressão.

Nessas inspeções teremos que realizar no mínimo as atividades abaixo:

1. Nos bocais verificar regiões da solda descontinuidades ou se será necessário a realização de ensaios não destrutivos
2. Verificar estojos e portas;
3. Analisar corrosão interna e perda de espessura;
4. Analisar pontos de concentração de tensão e presença de defeitos;
5. Analisar dispositivos de proteção;
6. Verificar revestimentos internos e externos;
7. Analisar tubos, bocais e outros componentes internos;
8. Realizar medição de espessura nos tampos e casco;

9. Verificar vias de acesso;
10. Verificar fundações e suportação;
11. Verificar chumbadores;
12. Verificar dispositivos de aterramento;
13. Verificar identifica o, categoria e placa

Etapa 03 – Rec culo da PMTA inicial

A rec culo da PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível)   importante para constar se os vasos de pressão poderão continuar operando dentro dos mesmos padrões de projeto. Para recalculer a PMTA serão necessárias as seguintes informa es:

- Geometria (casco e tampos);
- Dimensões;
- Tipo das juntas soldadas;
- Tensão do material de constru o;
- Espessura.

  após essa etapa que será constatada se o vaso de pressão poderá permanecer operando com a mesma PMTA ou se a esta terá que ser reduzida.

Etapa 04 – Metalografia

O objetivo desta atividade   identificar o material que foi utilizado para constru o dos vasos de pressão, com seu determinado enquadramento na norma.

Atividades realizadas durante a metalografia:

- Ensaio de dureza;
- Composição química;
- Metalografias por réplica.

Etapa 05 – Ensaio de partícula magnética

O ensaio de partícula magnética (PM) será realizado em 50% dos cruzamentos das juntas soldadas conforme código ASME, para verificação de descontinuidades e defeitos de forma superficial. Esse ensaio será executado tanto na parte interna quanto na parte externa, nos tampos e casco.

Etapa 06 – Ensaio de ultrassom

O ensaio de ultrassom (UT) também foi realizado em 50% dos cruzamentos da junta soldada conforme código ASME, para verificação de defeitos e descontinuidades com suas determinadas dimensões e localizações. Esse ensaio será executado tanto na parte interna quanto na parte externa, nos tampos e casco.

Etapa 07 – Recálculo da PMTA final

Após a realização dos ensaios e inspeções já subsídios para recalcular a PMTA e tecnicamente assegurar as condições operações do vaso de pressão. Para cada formato de vaso de pressão existe um determinado cálculo, onde todos os vasos deste estudo possuem casco cilindro e tampos semiesférico e desta forma serão utilizadas as equações abaixo.

- PMTA casco cilíndrico

$$P_c = \frac{SEt}{R+0,6t} \quad (1)$$

- PMTA tampos semiesféricos

$$P_t = \frac{2SEt}{R+0,2t} \quad (2)$$

6. RESULTADOS

6.1 Realização das inspeções externa e interna

Durante a inspeção interna de NR-13, a PMTA do vaso é calculada novamente utilizando os valores de espessura medidos.

Para demonstrar os resultados desse estudo foi utilizado o processo aplicado ao vaso TQ-08 de uma das nossas filiais.

Neste processo, considerando o aço com características mais críticas (ASTM A 285 Gr C) e eficiência de juntas soldadas para vaso não radiografado (0,7), foi encontrada uma PMTA de 13,19 kgf/cm², conforme demonstrado abaixo.

$$P_c = \frac{108 \times 0,7 \times 23,96}{1.374 + 0,6 \times 23,96} \quad P_c = 13,19 \text{ kgf/cm}^2$$

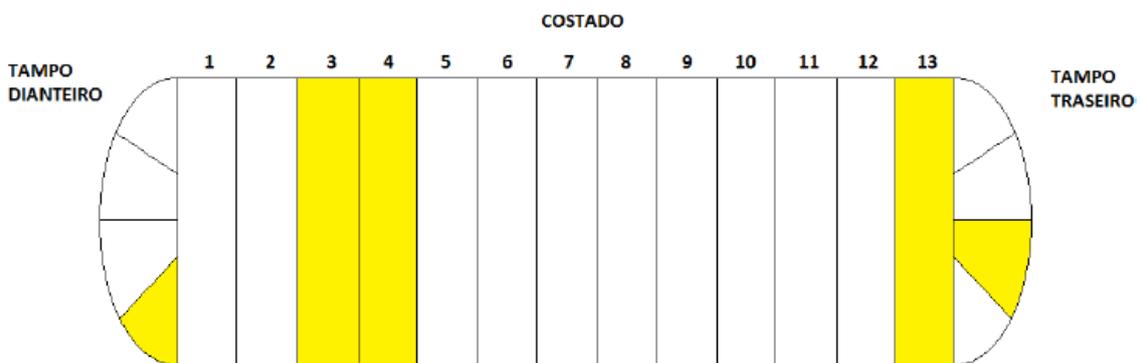
$$P_t = \frac{2 \times 108 \times 0,7 \times 16,76}{1.374 + 0,2 \times 16,76} \quad P_t = 17,02 \text{ kgf/cm}^2$$

6.2 Metalografia

Conforme requerido, foram feitos exames e testes dos materiais do corpo e tampos de cada vaso, por amostragem, pelo Laboratório Tork, em 5 regiões do vaso, sendo 3 no corpo e 2 nos tampos semiesféricos. Foram realizados exames de metalografia (por réplica), medição da dureza e análise química, de forma a classificar os materiais em uma especificação técnica de material conforme o ASME Code Section II – Part A – 2017 – Ferrous Materials.

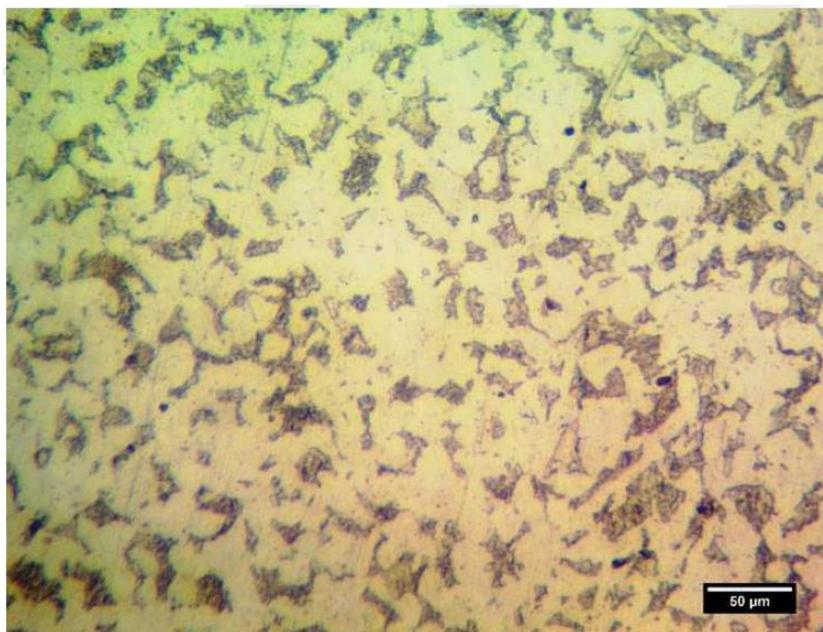
As regiões foram preparadas com lixamento mecanizado e foram removidas as limalhas da chapa para análise química por absorção atômica através de lima rotativa. A área selecionada para esta análise foi delimitada em 100 mm². As regiões foram preparadas metalograficamente e submetidas a ataque químico com Nital 5% e obtida a réplica pelo método de acetato. O micro ataque e a retirada das lâminas de réplica foram realizadas de acordo com a ASTM E 1351, ed. 01.

Figura 3 – Localização das áreas analisadas (casco).



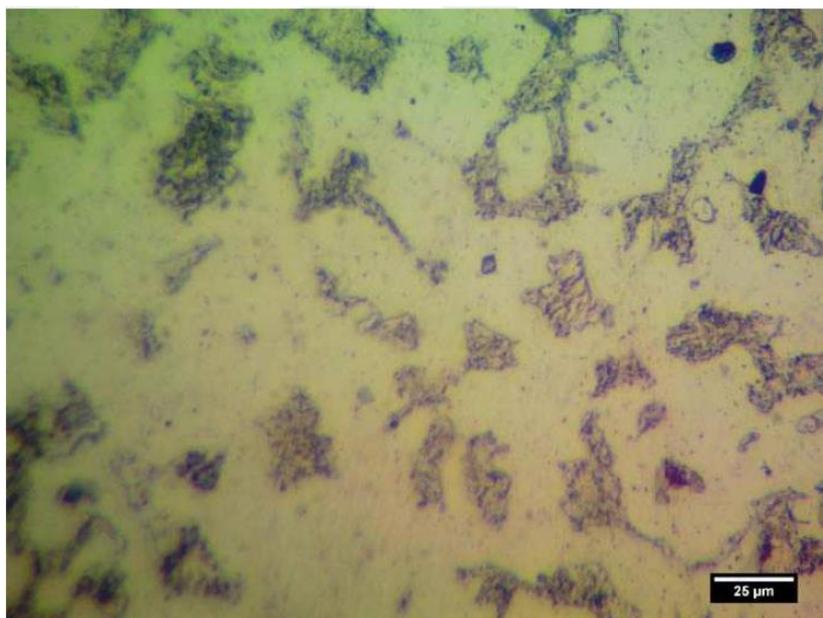
Fonte: Relatório Tork nº 17041074MESP [5].

Figura 4 – Réplica metalográfica 50 μm .



Fonte: Relatório Tork nº 17041074MESP [5].

Figura 5 – Réplica metalográfica 25 μm .



Fonte: Relatório Tork nº 17041074MESP [5].

Para o ensaio de dureza, as condições de preparo da superfície, de polimento e medições, foram realizadas na escala Brinell. Este ensaio foi realizado de acordo com ASTM A 956, ed. 12.

A dureza Brinell média encontrada foi de 159 HB para o material analisado.

A análise química utilizou o cavaco removido da chapa, de acordo com a norma ASTM A 751, ed. 2014a e o resultado está descrito no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Composição química de um material.

Carbono (C)	Silício (Si)	Manganês (Mn)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)	Molibdênio (Mo)	Cobre (Cu)
0,21	0,20	0,36	0,018	0,015	< 0,01	0,01	0,01	0,01

Fonte: Relatório Tork nº 17041074MESP [5].

Para coleta do material analisado, foi realizada medição de espessura por ultrassom antes e após a remoção do cavaco da chapa. A espessura inicial e final na área de remoção é, respectivamente, de 25,0 mm e 24,6 mm.

Os dados foram analisados conforme ASTM E 112 – Plate I e ASTM A 370 – Tabela 3 e satisfazem as especificações descritas no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 – Resultado das análises.

TAMPO DIANTEIRO	ASTM A 516, Gr 60
3ª VIROLA	ASTM A 516, Gr 60
4ª VIROLA	ASTM A 516, Gr 60
13ª VIROLA	ASTM A 516, Gr 60
TAMPO TRASEIRO	ASTM A 516, Gr 60

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após resultados de réplica metalográfica, dureza e análise química, para avaliarmos a qualidade da fabricação, e conseqüentemente a eficiência das juntas soldadas, foram executados ensaios não destrutivos (END), de Partículas Magnéticas (PM) e de Ultrassom (UT).

6.3 Ensaio de partícula magnética

Realizado exame com PM em 50% dos cruzamentos das soldas longitudinais das virolas do corpo cilíndrico com as soldas circunferenciais, e 50% dos cruzamentos das soldas dos tampos semi-esféricos, dos lados interno e externo dos vasos.

Os resultados apresentados de PM foram satisfatórios, não apresentaram indicações relevantes e foram aprovados.

O ensaio de PM foi realizado de acordo com ASME VIII Div. 1 – 2015 – Appendix 6.

Figura 6 – Remoção da tinta dos encontros soldados e soldas longitudinais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 7 – Lixamento completo da área a ser analisada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 8 – Ensaio de partícula magnética.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 9 – Ensaio de partícula magnética no interior do vaso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.4 Ensaio de ultrassom

O ensaio de ultrassom foi realizado de acordo com ASME V – 2015 – Article 4 – Ultrasonic Examination Methods for Welds e critérios de aceitação ASME VIII Div. 1 – 2015 – Appendix 12 e ASME Code Section V – Ed. 2017 – NDE, para os métodos de ensaios.

Realizados exames com UT em 50 % das soldas longitudinais do corpo cilíndrico e 50% das soldas dos tampos, acesso pelo lado externo dos vasos.

Os resultados apresentados de UT foram satisfatórios, não apresentaram indicações relevantes e foram aprovados.

Figura 100 – Ensaio de ultrassom dos encontros soldados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.5 Recálculo da PMTA

Os relatórios dos exames realizados foram verificados e após a requalificação dos materiais foram considerados satisfatórios e os materiais classificados como SA-516 Gr. 60 para o corpo e SA-516 Gr. 60 para os tampos. Desta forma foi possível determinar a tensão admissível no ASME Code Section II Part D, sendo adotado para corpo e tampos a tensão de 118 Mpa e 60 °C para temperatura de projeto.

Através do estudo para qualificação dos materiais, da verificação da integridade das juntas soldadas e dos exames visuais do vaso interno e externo, pudemos criar uma base técnica sólida para determinar a PMTA conforme o código de projeto e fabricação, ASME Code VIII Div.1 – 2017, obtendo-se os resultados da pressão máxima

admissível e a adoção da PMTA 17,58 kgf/cm², conforme demonstrada na equação abaixo.

$$P_c = \frac{118 \times 1,0 \times 23,96}{1.374 + 0,6 \times 23,96} \quad P_c = 20,77 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_t = \frac{2 \times 118 \times 1,0 \times 16,76}{1.374 + 0,2 \times 16,76} \quad P_t = 29,28 \text{ kgf/cm}^2$$

Por recomendação normativa a PMTA adotada para o vaso foi de 17,58 kgf/cm², embora as PMTA calculadas tenham sido superiores a esse valor.

7. CONCLUSÃO

O vaso de pressão é um dos equipamentos mais críticos no processo de armazenamento de GLP, seja pela necessidade de garantia de segurança, seja pela representatividade na capacidade de estocagem ou pelo alto valor patrimonial agregado. Isso leva à necessidade de uma gestão de ativo eficiente que possibilite uma operação sem riscos e uma vida útil longa.

A preservação das informações relativas à fabricação, inspeções, intervenções ou alterações destes equipamentos é de fundamental importância para que sua operação ocorra dentro dos requisitos normativos vigentes, pois são nestes documentos que se encontram as propriedades, características e recomendações de trabalho.

Conforme descrito neste estudo, quando as informações originais não estão mais disponíveis, se faz necessário recuperar ou realizar enquadramento das características do vaso nas referências de normas existentes para que seja autorizada a sua operação em segurança.

O método de análise de materiais através da metalografia, dureza e análise química, bem como a análise de juntas soldadas através da realização de END com partícula magnética e ultrassom, se apresentam como uma forma eficiente e confiável para este fim. Além disso, o custo para realização destes processos é relativamente baixo, se comparado com outros procedimentos.

Desta forma, as atividades propostas neste estudo foram realizadas através de inspeções internas e externas; ensaios de réplica metalográfica, dureza, composição química; END de partícula magnética e ultrassom e o recálculo da PMTA, obtendo-se informações do material de construção do vaso de pressão e suas propriedades mecânicas (inicialmente era o aço SA 285 Gr C e foi alterado para o aço SA 516 Gr 60); eficiência da junta soldada (inicialmente era de 0,7 e foi alterado para 1,0); reconstituição do prontuário do vaso de pressão com todas as informações necessárias e por fim conseguiu-se elevar a PMTA para 17,58 kgf/cm² do vaso estudado que garante a segurança de operação; mantém a capacidade de armazenagem e evita a necessidade investimento em novos ativos.

REFERÊNCIAS

- [1] **AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEER.**, ASME VIII divisão 1 e divisão 2. New York, 2017 e Site ASME disponível em <www.asme.org> Acesso: 23 de setembro de 2019.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (Brasil). **Ensaios Não Destrutivos**. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br>>. Acesso em: 20 set. 2019.
- [3] AZEVEDO, Cesar R. F.; CAMPOS, Beatriz A. Breve história da metalografia. **Metalurgia e Materiais**, November 2007, Vol.63(583), pp.567-572
- [4] CAVALCANTE, Daniel Cesar de Macedo. **ESTUDO DA INTERAÇÃO DAS LINHAS DE CAMPO SOBRE UMA AMOSTRA DE AÇO SAE 1020 POR MEIO DE MEDIDAS DE TENSÃO HALL**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.
- [5] LEOPOLDO ROSALIN DE OLIVEIRA (São Paulo). **Relatório Tork nº 17041074MESP**. São Paulo: Tork Controle Tecnológico de Materiais Ltda., 2017.
- [6] MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. 201 p.
- [7] OLIVEIRA, Márcio Jardim de. **INDICAÇÃO DE DESCONTINUIDADES EM MATERIAIS METÁLICOS E COMPÓSITOS: UMA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS**. 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- [8] PAULA LEITE, P. G. de. **Curso de Ensaios não destrutivos**. Associação Brasileira de Metais (ABM). 4ª edição. São Paulo, 1973.
- [9] SHULL, P. J. **Ndestructive Evaluation Theory, Techniques, And Applications**, p. 63, 2002. 843 p.
- [10] SIMÊNCIO, Éder Cícero Adão. **Materiais de construção mecânica**. Londrina: Educacional S.a., 2017. 200 p.

[11] TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Vasos de Pressão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009. 320 p.

[12] ZHAO, M. C.; YANG, K.; SHAN, Y. The Effects of Thermo-mechanical Control Process on Microstructures and Mechanical Properties of a Commercial Pipeline Steel. **Materials Science and Engineering A**, v. 335, p. 14 – 20, 2002.